

**ANALISIS KANDUNGAN FLUORINE (F) DI DALAM FOSIL TULANG DAN GIGI:
KASUS DARI GUA PAWON, SANGIRAN, DAN KALITIDU**
*Analysis of Fluorine (F) Content in Fossilized Bone and Teeth:
Cases from Pawon Cave, Sangiran, and Kalitidu*

Johan Arif dan Darwin Siregar

Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung -
Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132 - Jl. Diponegoro No. 57, Bandung 40122
Email: johan@gc.itb.ac.id; darwinalijasa@yahoo.com

Naskah diterima: 17-07-2014; direvisi: 29-08-2014; disetujui: 30-10-2014

Abstract

Bones will undergo diagenesis process when buried in soil which will decrease organic content and increase inorganic content coming from outside, such as F (fluorine). This research discusses about F (fluorine) content in fossilized bones and teeth coming from Pawon Cave in West Java, Sangiran in Central Java, and Kalitidu in East Java, which are in situ and not in situ. The content of F (fluorine) in fossilized bones and teeth can be used to determine their origin which are not in situ and lacking of stratigraphy information. The result of this research can be described as follows. F (fluorine) content in materials coming from Pawon Cave are varied. Materials coming from Kalitidu which are in situ have relatively the same F (fluorine) content, while material which is not in situ has the highest F (fluorine) content. Materials coming from Sangiran have different relation between F (fluorine) content and formation age, compared to materials coming from Pawon Cave and Kalitidu, that is the lesser the content of F (fluorine), the older the age of material. One of the fossilized materials, namely the molar of Homo erectus (JA-41), is the youngest tooth fossil of Homo erectus ever found in Sangiran.

Keywords: fluorine method, fossil, subfossil, in situ, pawon cave, sangiran, kalitidu.

Abstrak

Tulang akan mengalami proses diagenesa ketika terkubur dalam tanah yang menyebabkan unsur organik makin berkurang dan unsur anorganik makin bertambah kadarnya karena masuknya unsur kimia anorganik dari luar, salah satunya adalah unsur F (fluorine). Penelitian ini membahas tentang kandungan F (fluorine) pada fosil-fosil tulang dan gigi yang bersifat insitu dan tidak insitu yang berasal dari Gua Pawon di Jawa Barat, Sangiran di Jawa Tengah, dan Kalitidu di Jawa Timur. Kandungan F (fluorine) pada fosil tulang dan gigi dapat digunakan untuk menentukan sumber asal fosil yang berstatus tidak insitu dan tidak diketahui kedudukan stratigrafinya. Hasil yang diperoleh adalah material yang berasal dari Gua Pawon mempunyai kadar F (fluorine) yang bervariasi. Material fosil dari Kalitidu yang berstatus insitu mempunyai kadar F (fluorine) yang relatif sama, sedangkan material fosil yang berstatus tidak insitu mempunyai kadar F (fluorine) paling tinggi. Material fosil dari Sangiran memiliki hubungan kandungan F (fluorine) dengan usia formasi yang berbeda dengan Gua Pawon dan Kalitidu, yaitu semakin kecil kadar F (fluorine) pada fosil tulang dan gigi, maka semakin tua umur fosil. Salah satu material fosil, yaitu gigi geraham Homo erectus (JA-41), merupakan fosil gigi Homo erectus termuda yang pernah ditemukan di Sangiran.

Kata kunci: metode fluorine, fosil, subfosil, insitu, gua pawon, sangiran, kalitidu.

PENDAHULUAN

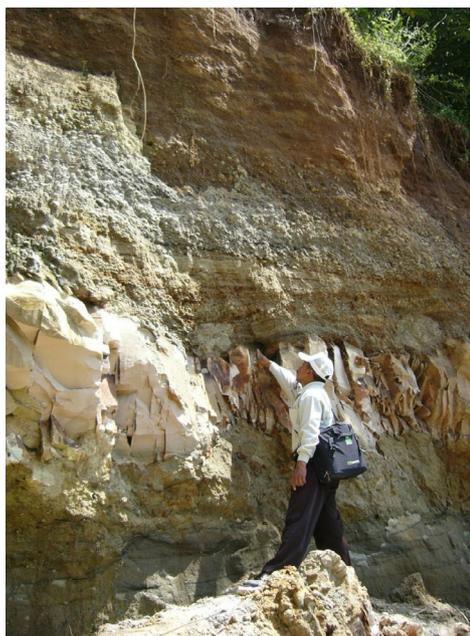
Salah satu masalah yang sering dihadapi oleh ahli paleontologi dan paleo-antropologi adalah ketika mereka menemukan serpihan-serpihan fosil tulang dan gigi manusia atau hewan vertebrata di permukaan tanah, dengan kata lain tidak insitu. Dalam konteks stratigrafi, masalahnya adalah ketika harus menentukan dari lapisan sedimen mana fosil-fosil tersebut berasal. Berbeda halnya jika temuan itu ditemukan secara insitu yang biasanya melalui prosedur ekskavasi dimana kita dapat mengetahui informasi sumber lapisan sedimen pengandung fosil-fosil tersebut. Tetapi sekarang ada suatu cara yang relatif mudah dan murah sebagai jalan keluar untuk masalah ini yaitu dengan melakukan analisis kandungan unsur F (*fluorine*) yang terdapat di dalam fosil tulang atau gigi yang kita temukan itu. Adanya unsur F (*fluorine*) dalam fosil tulang pertama kali dikemukakan oleh dua peneliti dari Prancis pada tahun 1806, yaitu Fourcroy dan Vanbquelin (Matsu'ura 1982, 7).

Sekarang penelitian kandungan unsur F atau *fluorine* dalam fosil tulang telah banyak dilakukan oleh para ahli arkeo-geologi. Beberapa kegunaan analisis kandungan unsur F (*fluorine*) pada fosil tulang atau gigi, antara lain (1) melihat pengaruh proses diagenesa pada tulang yang telah terkubur lama di dalam tanah, (2) membedakan antara tulang hewan liar dengan tulang hewan piaraan atau yang didomestikasi, dan (3) menentukan umur relatif fosil tulang.

Pada tahun 2000, sejumlah (sub)fosil tulang *Presbytis* dan babi ditemukan secara insitu pada kedalaman 60 cm di dalam Gua Pawon, Jawa Barat. Lapisan sedimen pengandung (sub)fosil tersebut berupa lempung pasir berwarna coklat muda. Selain itu dalam lapisan ini, terdapat juga fragmen batu gamping, fosfat, butiran arang, serpihan tulang hewan, dan beberapa alat batu. Pada tahun 2003, terdapat penemuan lagi berupa potongan tulang-tulang beserta gigi manusia yang diberi nama Manusia Pawon. Temuan ini berada di kedalaman 120

cm dari permukaan tanah. Berdasarkan analisis karbon-14 atau C-14, Manusia Pawon hidup pada zaman Holosen sekitar 5.000-9.000 tahun yang lalu (Arif et al. 2009, 40).

Dalam penelitian tahun 2005 di Sangiran, Jawa Tengah, kami menemukan fosil tulang hewan yang bersifat insitu yang kemudian diberi kode atau label JA-25 di Desa Grogolwetan. Fosil tulang ini berasal dari lapisan di atas *Upper Tuff* Formasi Kabuh yang terdiri dari batu pasir berukuran kasar sampai dengan kerikil (gambar 1). Lapisan *Upper Tuff* terdiri dari lempung tukaan berwarna putih keunguan (Yoshikawa dan Suminto 1985, 101).



Gambar 1. Lokasi temuan JA-25 di Desa Grogolwetan yang berasal dari lapisan di atas *Upper Tuff* Formasi Kabuh berwarna putih.
(Sumber: Dokumen pribadi)

Pada tahun 2007, terdapat penemuan dari wilayah Kalitidu Jawa Timur berupa fosil-fosil yang bersifat insitu, yaitu JA-19 dan JA-46 di Desa Ngantru, sekitar 8 km di sebelah selatan Sungai Bengawan-Solo, serta JA-48.1 di Desa Nglingsi-kidul yang berjarak 3 km di sebelah utara Desa Ngantru. JA-19 dan JA-46 berasal dari lapisan aluvium Sungai Tidu yang terletak secara tidak selaras di atas Formasi Lidah yang berumur Plio-Pleistosen (gambar 2). Formasi ini dicirikan oleh batu lempung



Gambar 2. Lokasi temuan JA-19 dan JA-46 di Desa Ngantru yang berasal dari lapisan aluvial berupa kerikil-pasir Sungai Tidu.
(Sumber: Dokumen pribadi)

gampingan berwarna biru kehitaman hingga abu-abu yang disisipi oleh batu pasir berwarna abu-abu coklat kemerahan. Analisis karbon C-14 yang dilakukan oleh Darwin Siregar terhadap material sisa kayu yang diperoleh dari lapisan aluvium sungai Tidu di Desa Ngantru menunjukkan umur 3.910 tahun yang lalu atau sekitar 1960 SM, sedangkan JA-48.1 adalah fosil gigi buaya yang berasal dari batu lempung Formasi Lidah.

Penelitian ini akan membahas hasil analisis kandungan F (*fluorine*) yang terdapat di dalam fosil tulang dan gigi tersebut yang masing-masing yang berasal dari Gua Pawon, Sangiran, dan Kalitidu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi di masing-masing tempat yang berpengaruh terhadap kandungan F (*fluorine*).

Secara kimiawi, tulang terdiri dari 30% unsur organik dan 70% unsur anorganik. Unsur organik terdiri dari protein dan unsur anorganik disusun oleh mineral *hydroxyapatite* (*carbonated calcium phosphate*) dengan rumus kimia $Ca_{10}(CO_3, PO_4)_6(OH)_2$. Ketika terkubur di dalam tanah, tulang akan mengalami proses diagenesa. Seiring dengan perubahan waktu, proses tersebut akan mengakibatkan unsur organik hilang, sedangkan unsur anorganik lambat laun akan bertambah kadarnya karena masuknya unsur kimia anorganik dari luar,

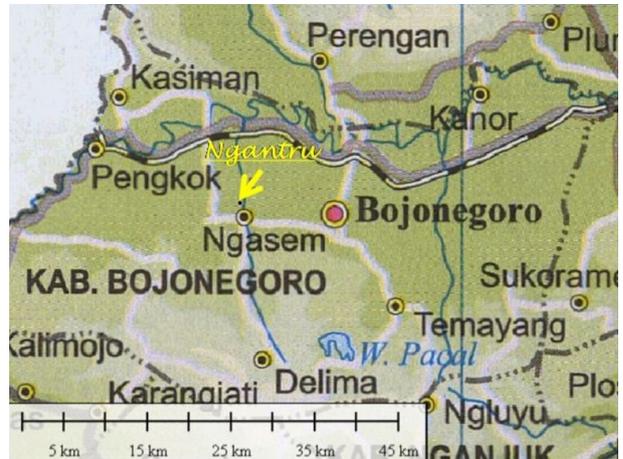
salah satunya adalah unsur F (*fluorine*). Dengan demikian, komposisi kimia tulang yang telah mengalami proses diagenesa akan berbeda sama sekali keadaannya dibandingkan dengan komposisi kimia sebelumnya. Komposisi tulang setelah mengalami diagenesa dapat seluruhnya terdiri dari *apatite* atau *calcit* (Sighinolfi et al. 1993, 59).

Pemakaian unsur F (*fluorine*) untuk menentukan umur relatif dari suatu fosil dilakukan pertama kali oleh Middleton pada tahun 1844. Pada prinsipnya, kandungan F (*fluorine*) di dalam fosil akan semakin bertambah, berbanding lurus dengan makin tuanya atau makin lamanya fosil tersebut tertimbun di dalam tanah. Dengan kata lain, kandungan F (*fluorine*) fosil-fosil yang berumur tua akan lebih banyak dibandingkan fosil-fosil yang berumur relatif lebih muda. Hal ini terjadi karena fosil-fosil yang tertimbun lebih lama di dalam tanah akan menyerap lebih banyak unsur F (*fluorine*) dari sekitarnya (Matsu'ura 1985, 359; Schurr 1989, 281).

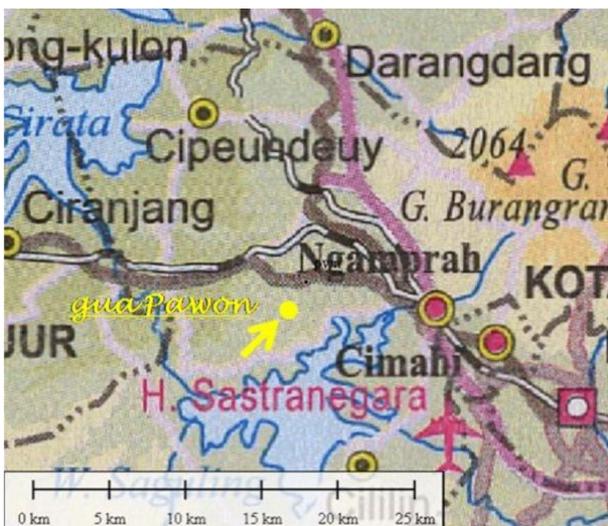
METODE

Fosil-fosil yang dipakai sebagai bahan penelitian terdiri dari tulang dan gigi yang berasal dari Gua Pawon di Jawa Barat, Sangiran di Jawa Tengah, dan Kalitidu di Jawa Timur. Gua Pawon berlokasi di sekitar perbukitan kapur di

Padalarang, Jawa Barat. Jaraknya sekitar 20 km di sebelah barat laut Kota Bandung dengan posisi geografis 6°49'20.4" Lintang Selatan (LS) dan 107°26'16.7" Bujur Timur (BT). Sangiran terletak di wilayah Jawa Tengah yang berjarak sekitar 15 km di sebelah utara Kota Solo dengan posisi geografis 7°27'20" LS dan 110°50'4.8" BT. Ngantru terletak di Kecamatan Kalitidu, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Ngantru berjarak sekitar 12 km di sebelah barat Bojonegoro dengan posisi geografis 7°13'25.4" LS dan 111°45'43.8" BT. Sementara itu, Desa Nglingsi-kidul memiliki posisi sekitar 3 km di sebelah utara dari Desa Ngantru (gambar 3-5).



Gambar 5. Peta Lokasi Ngantru.
(Sumber: Diolah dari peta Atlas Indonesia)



Gambar 3. Peta Lokasi Gua Pawon.
(Sumber: Diolah dari peta Atlas Indonesia)



Gambar 4. Peta Lokasi Sangiran.
(Sumber: Diolah dari peta Atlas Indonesia)

Pada umumnya, bahan penelitian terdiri dari (sub)fosil dan fosil tulang, akar gigi, serta lapisan enamel yang berstatus insitu dan tidak insitu (tabel 1). Perbedaan antara fosil dan subfosil dilihat dari keantikannya. Pada umumnya, suatu sisa makhluk hidup, seperti tulang, yang berumur lebih dari 10.000 tahun yang lalu dikatakan sebagai fosil, sedangkan yang kurang dari umur itu disebut sebagai subfosil.

Pengukuran kandungan F (*fluorine*) menggunakan alat *Ion Selective Electrode* yang dilakukan oleh Johan Arif. Sebelum pelaksanaan pengukuran, beberapa tahapan harus dilakukan terlebih dulu terhadap contoh atau material yang akan diukur kadarnya. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut. (1) Sampel dipersiapkan dengan berat maksimum 50 mg. (2) Setiap sampel tersebut kemudian dicuci dengan air suling atau destilasi, lalu dimasukan ke dalam oven untuk dikeringkan selama 48 jam. (3) Setiap sampel kemudian digerus hingga berukuran pasir sedang-halus. Kemudian, setiap sampel dibagi menjadi 3 subsampel dengan berat masing-masing $5 \pm 0,5$ milligrams atau 4,5-5,5 mg. Adapun, bahan kimia yang diperlukan adalah (1) 0,5 M HClO_4 (*perchloride acid*), (2) empat larutan standar F dengan konsentrasi masing-masing 0,4 ppm, 1 ppm, 4 ppm, dan 10 ppm, (3) air suling atau *deionized water*, dan (4) TISAB *buffer*. Prosedur

Tabel 1. Daftar fosil tulang dan gigi sebagai bahan penelitian dari Gua Pawon, Sangiran, dan Kalitidu.

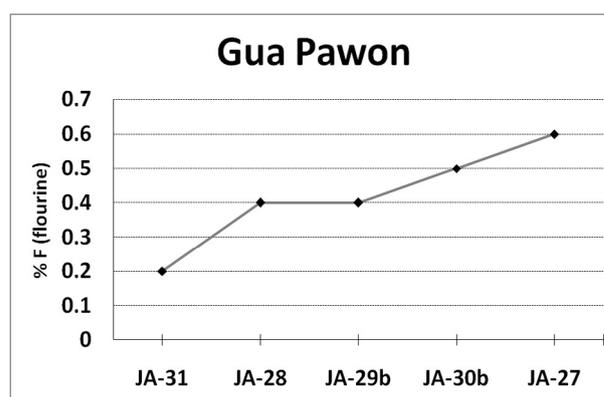
No	Kode	Keterangan	Bagian yang Dianalisa	Status	Lokasi
1.	JA-27	Rahang atas kiri dan gigi UP3-UM3 <i>Presbytis</i>	Tulang	insitu	Pawon Cave
2.	JA-28	Rahang bawah kiri dan gigi LP4-LM3 <i>Presbytis</i>	Tulang	insitu	Pawon Cave
3.	JA-29b	Rahang bawah kanan dan gigi LM2-3 <i>Presbytis</i>	Tulang	insitu	Pawon Cave
4.	JA-30b	Rahang bawah kanan <i>Presbytis</i>	Tulang	insitu	Pawon Cave
5.	JA-31	Rahang atas kiri dan gigi UP4-UM2 babi	Tulang	insitu	Pawon Cave
6.	JA-25	Potongan tulang rusuk hewan	Tulang	insitu	Sangiran
7.	JA-40	Gigi hewan	Akar gigi	tidak insitu	Sangiran
8.	JA-41	Gigi molar UM2 <i>Homo erectus</i>	Tulang	tidak insitu	Sangiran
9.	JA-54	Gigi babi	Akar gigi	tidak insitu	Sangiran
10.	JA-19	Potongan tulang panjang hewan	Tulang	insitu	Site-1, Kalitidu
11.	JA 32a	Potongan tulang paha	Tulang	tidak insitu	Site-1, Kalitidu
12.	JA-46	Potongan tulang hewan	Tulang	insitu	Site-1, Kalitidu
13.	JA-48.1	Gigi buaya	Enamel	insitu	Site-2, Kalitidu

(Sumber: Dokumen pribadi)

pengukuran F (*fluorine*) dengan memakai *Ion Selective Electrode* dijelaskan secara rinci oleh Schurr (1989, 266).

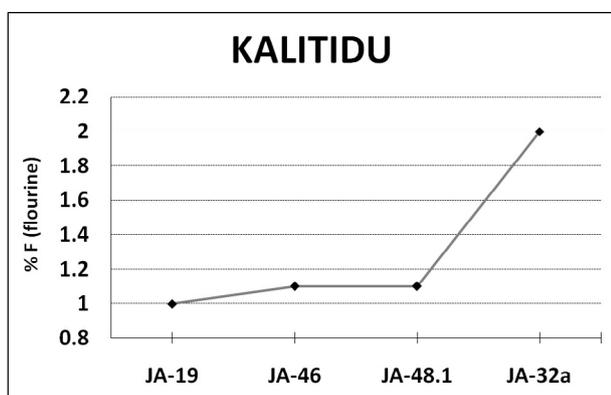
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengukuran kandungan F (*fluorine*) ditampilkan pada gambar 6 sampai 8. Keseluruhan material dari Gua Pawon berasal dari lapisan yang sama, tetapi kandungan F (*fluorine*) dari masing-masing material tersebut bervariasi antara 0,2-0,6% (gambar 6). Tanah pengandung material dari Gua Pawon ini merupakan hasil pelapukan dari batu gamping Formasi Rajamandala.



Gambar 6. Kisaran kandungan F (*fluorine*) pada beberapa material fosil dari Gua Pawon yang bervariasi. (Sumber: Dokumen pribadi)

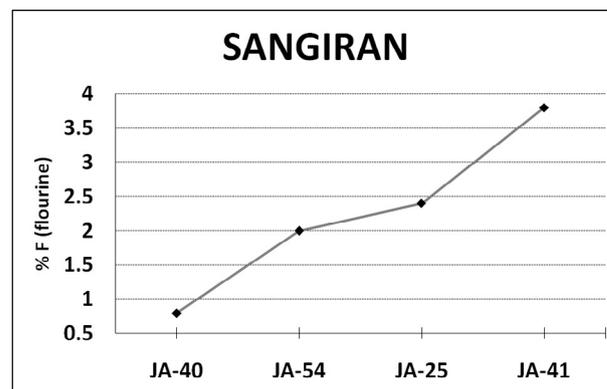
Sampel dari Kalitidu, Jawa Timur menunjukkan bahwa kandungan F (*fluorine*) JA-19 dan JA-46 yang berasal dari lapisan yang sama adalah sekitar 1%, tetapi untuk JA-32a yang berstatus tidak insitu menunjukkan kandungan F (*fluorine*) lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa JA-32a kemungkinan berasal dari lapisan yang lebih tua, mungkin dari Formasi Kabuh yang tersingkap di sebelah selatan Kalitidu. Analisis kandungan F (*fluorine*) pada enamel dilakukan terhadap material JA-48.1 yang merupakan material insitu dari lapisan batu lempung Formasi Lidah yang mempunyai kadar F (*fluorine*) yang relatif sama dengan JA-19 dan JA-46 (gambar 7). Oleh karena itu, kami berkesimpulan bahwa JA-19 dan JA-46 yang berasal dari endapan aluvial Sungai Tidu yang relatif lebih muda umurnya daripada Formasi Lidah merupakan juga material fosil yang berasal dari Formasi Lidah yang kemudian terendapkan kembali di endapan aluvial Sungai Tidu.



Gambar 7. Kisaran kandungan F (*fluorine*) pada beberapa material fosil dari Kalitidu yang diposisikan urutannya dari muda ke tua. (Sumber: Dokumen pribadi)

Analisis material fosil dari Sangiran mengacu kepada hasil analisis F (*fluorine*) dari Matsu'ura (1982) untuk menempatkan posisi stratigrafi dari ketiga fosil dari Sangiran yang tidak insitu, yaitu JA-40, JA-54, dan JA-41. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, Matsu'ura (1982, 29, 32) berkesimpulan bahwa untuk fosil-fosil dari Sangiran, fosil-fosil vertebrata yang berasal dari formasi yang lebih tua, yaitu

Formasi Pucangan, mempunyai kandungan F (*fluorine*) yang lebih rendah dibandingkan dengan fosil-fosil yang berasal dari formasi yang lebih muda, yaitu Formasi Kabuh. JA-41 mempunyai kandungan F (*fluorine*) yang tinggi dibandingkan material fosil lainnya, sedangkan JA-25 dan JA-54 kemungkinan berasal dari lapisan yang sama, yaitu *Upper Tuff* Formasi Kabuh (gambar 8).



Gambar 8. Kisaran kandungan F (*fluorine*) pada beberapa material fosil dari Sangiran yang diposisikan urutannya dari tua ke muda. (Sumber: Dokumen pribadi)

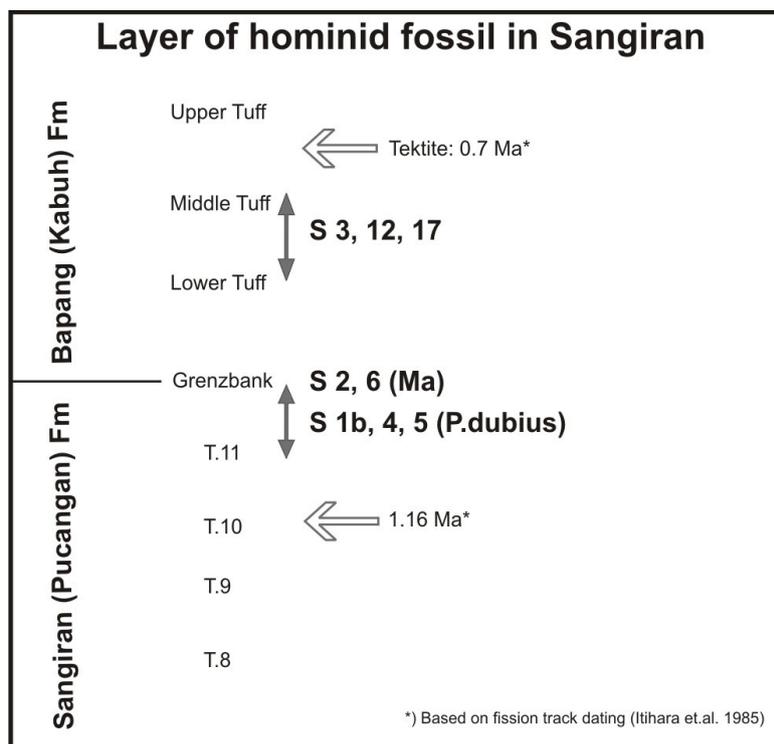
Mengacu kepada hal ini, kami berkesimpulan bahwa urutan umur dari tua ke muda terhadap material fosil yang diteliti yang bersifat tidak insitu adalah sebagai berikut: JA-40 → JA-54 → JA-41. JA-40 kemungkinan berasal dari lapisan tufa T4-T3 Formasi Pucangan, JA-54 dari lapisan *Grenzbank* Formasi Kabuh, JA-25 dari lapisan di atas *Upper Tuff* Formasi Kabuh, dan JA-41 dari lapisan di atas *Upper Tuff* Formasi Kabuh (tabel 2 dan gambar 9).

T3 merupakan singkatan dari *Tuff-3*, begitu juga dengan T4, T5, dan seterusnya, sedangkan GB adalah singkatan dari *Grenzbank*, LT dari *Lower Tuff*, MT dari *Middle Tuff*, dan UT dari *Upper Tuff*. Formasi Sangiran dan Bapang merupakan nama lain dari Formasi Pucangan dan Kabuh. Nama-nama tersebut diusulkan oleh Itihara et al. (1985, 369) untuk formasi sedimen berumur Pleistosen yang tersingkap di Sangiran saja. Formasi Pucangan atau Sangiran memiliki umur lebih tua daripada Formasi

Tabel 2. Penempatan material fosil Sangiran yang diteliti dengan mengikuti penelitian Matsu'ura (1982).

Stratigrafi	Matsu'ura (1982)	Kandungan F (%) fosil dari Sangiran			
	Kisaran kandungan F(%)	JA-25	JA-40	JA-41	JA-54
Kabuh (Bapang) Fm: di atas UT				3.8	
Kabuh (Bapang) Fm: UT-MT	2.31-2.98	2.37			
Kabuh (Bapang) Fm: MT-LT	2.63-2.9				
Kabuh (Bapang) Fm: bawah LT	2.33-3.03				
Kabuh (Bapang) Fm: GB	1.65-2.77				1.96
Pucangan (Sangiran): di atas T11	1.27-1.92				
Pucangan (Sangiran): T10-T9	0.92-1.64				
Pucangan (Sangiran): bawah T5	0.92-1.11				
Pucangan (Sangiran) Fm: T4-T3	0.82-1.29		0.85		

(Sumber: Dokumen pribadi)



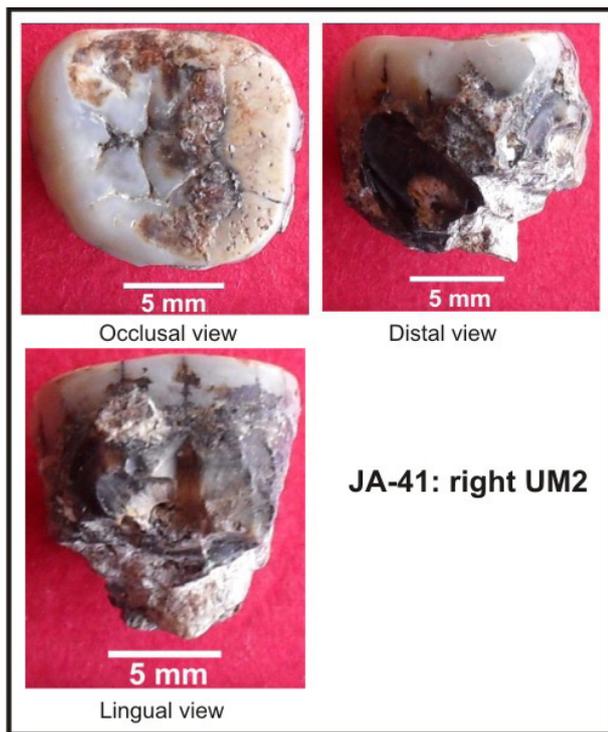
Gambar 9. Penempatan tulang atau tengkorak *Homo erectus* di Sangiran berdasarkan analisa F (*fluorine*) menurut Matsu'ura (1982).

(Sumber: Diolah dari Ithihara et al. 1985, 372; 1994, 125)

Kabuh atau Bapang. Lapisan yang mengandung fosil hominid *Homo erectus* terletak di antara bagian atas Formasi Pucangan dan bagian tengah Formasi Kabuh dengan rentang umur antara 0,7-1,16 juta tahun yang lalu.

Salah satu dari material fosil yang diteliti, yaitu gigi geraham atau molar *Homo erectus* (JA-41), yang bersifat tidak insitu kemungkinan merupakan fosil gigi *Homo erectus* yang paling muda yang pernah ditemukan di Sangiran.

Salah satu alasan JA-41 mempunyai kadar F (*fluorine*) yang tinggi karena lapisan-lapisan tufa mempunyai kandungan yang tinggi akan unsur asam fluorida (HF) (Symonds et al. 1994, 50). Jika demikian, JA-41 kemungkinan berasal dari *Upper Tuff* Formasi Kabuh sendiri (gambar 10).



Gambar 10. JA-41 adalah gigi geraham atau molar atas kedua kepunyaan *Homo erectus* yang ditemukan di Sangiran dan berstatus tidak insitu. (Sumber: Dokumen pribadi)

Fenomena hubungan kandungan F (*fluorine*) dengan usia formasi yang berlaku di Sangiran tersebut bisa disebabkan karena adanya perbedaan dalam proses diagenesa yang terjadi di setiap formasi batuan. Sebagai contoh, proses diagenesa yang terjadi di dalam Formasi Pucangan berbeda dengan yang terjadi di dalam Formasi Kabuh. Penyebab lainnya adalah adanya perbedaan permeabilitas air dan jumlah unsur F (*fluorine*) yang ada di setiap formasi batuan sedimen. Kemungkinan lain adalah hadirnya mineral-mineral lain di dalam fosil dari Formasi Pucangan sehingga menghalangi masuknya unsur F (*fluorine*) (Matsu'ura 1985, 355). Pendapat ini kemudian

didukung oleh Schurr dan Gregory (2002, 281) yang berpendapat bahwa hasil pertanggalan relatif dengan memakai metode *fluorine* ini tidak bersifat global atau universal karena kecepatan dan besarnya unsur F (*fluorine*) yang diserap selama proses diagenesa sangat bergantung kepada kondisi lingkungan dan geologi setempat.

KESIMPULAN

Hasil penelitian terhadap kandungan F (*fluorine*) dalam (sub)fosil tulang dari Gua Pawon, Jawa Barat hanya mendapatkan gambaran bahwa dalam satu lapisan sedimen, kandungan *fluorine*-nya bervariasi. Analisis kandungan F (*fluorine*) dari material tulang atau gigi yang berasal dari lapisan di atas atau di bawahnya belum dilakukan untuk digunakan sebagai bahan perbandingan. Dengan demikian, fenomena hubungan yang menunjukkan bahwa semakin besar kadar F (*fluorine*) berkaitan dengan makin tuanya umur material tersebut belum diketahui.

Fenomena hubungan makin besarnya kadar F (*fluorine*) berkaitan dengan makin tuanya umur material diperoleh dari hasil analisis terhadap material dari Kalitidu, Jawa Timur. JA-32a yang berstatus tidak insitu mempunyai kandungan F (*fluorine*) paling tinggi sehingga diduga bahwa material ini berasal dari formasi batuan yang lebih tua yang kemungkinan berasal dari Formasi Kabuh yang tersingkap di sebelah selatan, kemudian terbawa arus hingga ke Kalitidu. Adapun, material lain yang mempunyai kandungan F (*fluorine*) yang lebih kecil berasal dari Formasi Lidah yang umurnya lebih muda daripada Formasi Kabuh.

Berdasarkan hasil penelitian Matsu'ura yang telah melakukan analisis F (*fluorine*) terhadap fosil-fosil tulang yang berstatus insitu dari Sangiran, penelitian ini menyimpulkan bahwa salah satu material yang diteliti, yaitu gigi molar *Homo erectus* JA-41 boleh jadi merupakan fosil gigi *Homo erectus* yang paling muda yang pernah ditemukan di Sangiran. Gigi molar *Homo erectus* JA-41 ini kemungkinan

berasal dari lapisan di atas atau dari *Upper Tuff* Formasi Kabuh sendiri karena tingginya kadar F (*fluorine*) di dalamnya bisa disebabkan oleh banyaknya unsur asam florida (HF) di dalam lapisan tufa.

Pemakaian metode analisis F (*fluorine*) terhadap fosil-fosil tulang dan gigi yang berstatus tidak insitu sangat membantu untuk menentukan sumber asal dari fosil-fosil yang tidak diketahui kedudukan stratigrafinya. Kendati demikian, keterbatasan yang ditemui adalah hasil pertanggalan relatif dengan memakai metode *fluorine* (F) ini tidak bersifat global atau universal karena kecepatan dan besarnya unsur F (*fluorine*) yang diserap selama proses diagenesa sangat bergantung kepada kondisi lingkungan dan geologi setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, J., H. Baba, M.E. Suparka, Y. Zaim, dan T. Setoguchi. 2001. "Preliminary Study of Homo Erectus Skull IX (Tjg-1993.05) from Sangiran, Central Java, Indonesia." *Bulletin of Natural Science Museum Series D: Anthropology* 27:1-17.
- Arif, J., L. Yondri, dan R. Kapid. 2009. "Perbandingan Ukuran Gigi Molar Manusia Pawon dengan Manusia Mesolitik, Neolitik, dan Manusia Sekarang: Studi Pendahuluan." Dalam *Arkeologi: Manusia-Ruang-Aktivitas*, disunting oleh Mahirta, 32-42. Jatinangor: Alqaprint.
- Itihara, H., D. Kadar, dan N. Watanabe. 1985. "Concluding remarks." Dalam *Quaternary Geology of The Hominid Fossils Bearing Formations in Java*, disunting oleh N. Watanabe dan D. Kadar, 367-378. Geological Research and Development Centre, Special Publication No. 4.
- Itihara, M., N. Watanabe, D. Kadar, dan H. Kumai. 1994. "Quaternary Stratigraphy of The Hominid Fossil Bearing Formations in The Sangiran Area, Central Java." Dalam *100 Years of Pithecanthropus: The Homo Erectus Problem*, disunting oleh J.L. Frunzen, 123-128. Frankfurt: Courier Forschungs-Institut Senckenberg.
- Matsu'ura, S. 1982. "A Chronological Framing for The Sangiran Hominids." *Bulletin of the National Science Museum Series D: Anthropology* 8:1-53.
- _____. 1985. "A Consideration of The Stratigraphic Horizons of Hominid Finds from Sangiran by the Fluorine Method." Dalam *Quaternary Geology of The Hominid Fossils Bearing Formations in Java*, disunting oleh N. Watanabe dan D. Kadar, 359-366. Geological Research and Development Centre, Special Publication No. 4.
- Middleton, J. 1844. "On Fluorine in Bones, Its Source, and Its Application to The Determination of The Geological Age of Fossil Bones." *Proceedings of the Geological Society* 4:431-433.
- Pringgoprawiro, H. 1983. "Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara: Suatu Pendekatan Baru." Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Schurr, M.R. 1989. "Fluoride Dating of Prehistoric Bones by Ion Selective Electrode." *Journal of Archaeological Science* 16:265-270.
- Schurr, M.R., dan D.A. Gregory. 2002. "Fluoride Dating on Faunal Materials by Ion-Selective Electrode: High Resolution Relative Dating at An Early Agricultural Period Site in The Tuason Basin." *American Antiquity* 67:282-299.
- Sighinolfi, G.P., S. Sartono, dan G. Artioli. 1993. "Chemical and Mineralogical Studies on Hominid Remains from Sangiran, Central Java (Indonesia)." *Journal of Human Evolution* 24:57-68.
- Suzuki, M., Wikarno, Budisantoso, I. Saefudin, dan M. Itihara. 1985. "Fission Track Ages of Pumice Tuff, Tuff Layers and Javites of Hominid Fossil Bearing Formations in Sangiran Area, Central Java." Dalam *Quaternary Geology of The Hominid Fossils Bearing Formations in Java*, disunting oleh N. Watanabe dan D. Kadar, 309-331. Geological Research and Development Centre, Special Publication No. 4.

Symonds, R.B., W .I. Rose, G. Bluth, dan T.M. Gerlach. 1994. "Volcanic Gas Studies: Methods, Results, and Applications." Dalam "Volatiles in Magmas," disunting oleh M.R. Carroll dan J.R. Holloway, *Reviews in Mineralogy* 30:1-66.

Yoshikawa, Y. dan Suminto. 1985. "Tuff Layers and Pumice Tuff Beds of The Pliocene and Pleistocene Sediments in The Sangiran Area." Dalam *Quaternary Geology of The Hominid Fossils Bearing Formations in Java*, disunting oleh N. Watanabe dan D. Kadar, 97-104. Geological Research and Development Centre, Special Publication No. 4.