The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Rekod fosil New Mexico merumitkan bab terakhir dinosaur

Satu kajian Science menarikhkan semula Naashoibito Member di New Mexico kepada beberapa ratus ribu tahun terakhir sebelum hentaman asteroid. Itu penting kerana kebanyakan bukti dinosaur penghujung Kapur terbaik datang dari lebih jauh ke utara. Rekod selatan baharu mencadangkan barat Amerika Utara masih mempunyai fauna dinosaur yang berbeza mengikut wilayah dekat penghujung, bukannya satu komuniti seragam yang sedang memudar. Ia tidak membuktikan setiap ekosistem dinosaur di seluruh dunia berkembang maju sehingga hentaman; ia menunjukkan mengapa rekod fosil wilayah boleh menjadikan cerita global terlalu licin.

Written by Cinzia Vaglio · Cross-checked by Lucio Vaglio and Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Lucio Vaglio and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Late-surviving New Mexican dinosaurs illuminate high end-Cretaceous diversity and provinciality*, Andrew G. Flynn, Stephen L. Brusatte, Alfio Alessandro Chiarenza, Jorge Garcia-Giron, Adam J. Davis, C. Will Fenley IV, Caitlin E. Leslie, Ross Secord, Sarah Shelley, Anne Weil, Matthew T. Heizler, Thomas E. Williamson, and Daniel J. Peppe, Science 390, 400-404 (2025) · DOI: 10.1126/science.adw3282

Saksi dari selatan yang hampir dengan penghujung

Cerita tentang dinosaur terakhir sering diceritakan melalui Great Plains di utara: Montana, Dakota, dunia Hell Creek. Rekod itu cukup baik hingga menjadi biasa, dan perkara yang biasa mudah menyamar sebagai lengkap. Fosil tidak tersebar sama rata kerana sejarah tidak cukup baik hati untuk memfailkan dirinya bagi kita.

Satu kertas Science baharu menambah saksi dari selatan. Para penulis mengkaji Naashoibito Member di Lembangan San Juan, New Mexico, satu unit batuan yang mengandungi fosil dan usianya diperdebatkan selama beberapa dekad. Jika fosil itu lebih tua, ia tidak banyak menceritakan tentang saat akhir sebelum hentaman asteroid. Jika ia benar-benar dari penghujung Kapur, ia sangat penting.

Jawapan kertas itu ialah yang kedua. Dengan geokronologi baharu dan magnetostratigrafi, pasukan berhujah bahawa horizon utama yang mengandungi dinosaur dalam Naashoibito Member berada dalam kira-kira **340,000 tahun** daripada sempadan Kapur-Paleogen. Itu meletakkan dinosaur New Mexico cukup dekat dengan penghujung untuk bercakap kepada soalan lama: adakah dinosaur sudah lama merosot, atau adakah banyak ekosistem masih beraneka secara wilayah ketika hentaman tiba?

Jawapan berhati-hati bukan “semua dinosaur baik-baik saja, kemudian boom.” Ayat itu sedap bunyinya dan kurang sopan terhadap data. Jawapan lebih baik lebih sempit dan lebih berguna: di barat Amerika Utara, rekod selatan yang bertarikh baik menyokong gambaran fauna dinosaur akhir yang masih berbeza mengikut wilayah, bukan satu komuniti berdiversiti rendah yang memudar di mana-mana serentak.

Itu sudah cukup. Ia tidak memerlukan topi yang lebih bising.

Bisti/De-Na-Zin Wilderness di New Mexico, landskap tanah tandus dalam kawasan Lembangan San Juan yang lebih luas. Imej ini ialah konteks, bukan bukti daripada kertas Science: hujah kajian bersandar pada strata berfosil yang ditarikhkan, bukan pada pemandangan.

Bob Wick / BLM California CC BY 2.0

Apakah maksud “dalam 340,000 tahun” di sini?

Hentaman asteroid dan sempadan Kapur-Paleogen ditarikhkan sekitar **66.052 juta tahun lalu**. Soalannya ialah di mana batuan berfosil itu berada berbanding garis tersebut.

Para penulis tidak menarikhkan tulang dinosaur secara langsung lalu menganggap persoalan selesai. Mereka menarikhkan butiran mineral gunung berapi, khususnya sanidine, daripada batu pasir dalam bahagian Naashoibito menggunakan **geokronologi $^{40}Ar/^{39}Ar$**, dan menggabungkan tarikh itu dengan **magnetostratigrafi**: rekod pembalikan medan magnet Bumi yang terpelihara dalam batuan.

Versi pendek: satu sampel memberikan usia pemendapan maksimum **66.87 ± 0.04 juta tahun**, satu lagi sampel berfosil dinosaur memberikan **66.38 ± 0.08 juta tahun**, dan corak magnet meletakkan bahagian atas seksyen dalam selang kekutuban terbalik terakhir zaman Kapur. Bersama-sama, kekangan ini meletakkan horizon utama yang mengandungi dinosaur sangat dekat dengan sempadan. Ia jam geologi, bukan jam randik, tetapi cukup dekat untuk mengubah hujah.

Apa yang dilakukan oleh para penulis

Pasukan menggabungkan dua jenis kerja yang saling memerlukan. Pertama, mereka memperketat usia Naashoibito Member. Unit itu berada di atas batuan Campanian yang lebih tua dan di bawah batuan Paleosen awal, tetapi usia tepatnya dipertikaikan: beberapa tafsiran terdahulu meletakkannya sekitar 70–69 juta tahun lalu, yang lain berhujah untuk usia Kapur paling akhir, dan beberapa dakwaan malah menolak sebahagian rekod ke Paleosen. Para penulis mengukur seksyen, mengambil sampel dari lokaliti berfosil dinosaur, menarikhkan butiran sanidine detrital dengan kaedah $^{40}Ar/^{39}Ar$, dan mengikat seksyen kepada selang kekutuban magnet yang diketahui.

Kedua, mereka bertanya bagaimana rupa fauna itu dalam konteks. Mereka mengumpulkan data kejadian vertebrata daratan dan air tawar dari barat Amerika Utara merentasi Campanian, Maastrichtian dan Paleosen awal, kemudian menggunakan kaedah ekologi dan biogeografi untuk menguji sama ada fauna bersifat wilayah atau seragam. Kata kuncinya ialah **provinsialiti**: sama ada wilayah berlainan mempunyai komuniti berbeza, dan bukannya haiwan yang sama di mana-mana.

Ini penting kerana satu versi sejarah dinosaur akhir mengatakan bahawa barat Amerika Utara menjadi lebih homogen dalam Maastrichtian, dengan lebih sedikit perbezaan wilayah dan fauna yang lebih kosmopolitan. Sistem yang lebih seragam dan berdiversiti rendah mungkin lebih mudah dibayangkan sebagai rapuh sebelum asteroid. Sistem yang berstruktur secara wilayah menceritakan cerita berbeza.

Apa yang mereka temui

Pentarikhan ialah engselnya. Dua sampel Naashoibito yang mengandungi dinosaur membawa kekangan Maastrichtian akhir. Satu sampel batu pasir, H08-Sand-08, memberikan usia pemendapan maksimum **66.87 ± 0.04 juta tahun**. Sampel dari "34-Bone Site", yang mengandungi rangka separa hadrosaur lambeosaurine, memberikan usia pemendapan maksimum **66.38 ± 0.08 juta tahun**. Digabungkan dengan rekod kekutuban magnet, para penulis meletakkan horizon utama Naashoibito yang mengandungi dinosaur dalam kira-kira **340,000 tahun** daripada sempadan K-Pg.

Itu menjadikan rekod Lembangan San Juan secara kasar sezaman dengan fauna Hell Creek yang lebih terkenal di utara. Ia juga memisahkan dinosaur Naashoibito daripada fauna Nacimiento Paleosen paling awal sekitar **700,000 tahun**, yang penting kerana tiada siapa mahu secara tidak sengaja meletakkan dinosaur bukan burung di sisi yang salah daripada sempadan kepupusan. Itu akan berserabut, dan juga salah.

Hasil ekologi ialah separuh lagi. Merentasi selang Kapur paling akhir yang mereka analisis, para penulis menemui bukti bagi **dua bioprovinsi** di barat Amerika Utara. Dinosaur, apabila dianalisis sendiri, terpisah kepada dua bioprovinsi merentasi semua selang masa Kapur paling akhir dalam kajian. Kertas berhujah bahawa perbezaan wilayah ini tidak sekadar runtuh menjadi satu fauna seragam sebelum hentaman asteroid.

Pemacunya bukan sekadar garis dari utara ke selatan. Analisis mereka menunjuk kepada **suhu**

sebagai faktor utama yang membentuk bioprovinsi itu dalam zaman Kapur, dengan geografi memainkan peranan sekunder. Wilayah selatan yang lebih panas mungkin menguntungkan sesetengah haiwan seperti sauropod, sementara wilayah utara yang lebih sejuk menguntungkan yang lain seperti hadrosaurine. Intinya bukan setiap provinsi lebih sihat daripada provinsi lain. Intinya ialah peta Kapur akhir masih mempunyai struktur.

Apa yang *tidak* dibuktikan oleh kajian ini

- Ia **tidak** membuktikan dinosaur di seluruh Bumi sedang berkembang maju sehingga asteroid menghentam. Para penulis jelas bahawa ini masih sebahagian besarnya gambaran Amerika Utara.
- Ia **tidak** memadam bukti kemerosotan dalam sesetengah kumpulan, wilayah atau analisis. Ia menentang cerita yang terlalu licin pada skala benua, bukan setiap kemungkinan versi tekanan sebelum kepupusan.
- Ia **tidak** menunjukkan asteroid tidak penting. Hentaman kekal peristiwa utama di sempadan; kertas ini bertanya jenis ekosistem apa yang terkena.
- Ia **tidak** menjadikan New Mexico tingkap sempurna kepada seluruh planet. Ia menambah titik data selatan yang hilang daripada rekod yang didominasi tapak utara.
- Ia **tidak** menjadikan “berkembang maju sehingga hentaman” tajuk yang selamat. Itu dakwaan pada tahap paling luas, bukan hasil pada tahap paling bersih.

Sejauh mana kukuh buktinya?

Bagi usia horizon Naashoibito yang mengandungi dinosaur, bukti dalam teks utama cukup kuat untuk penting. Para penulis menggabungkan tarikh radioisotop daripada butiran sanidine detrital dengan magnetostratigrafi, dan tarikh utama sepadan dengan tafsiran Kapur paling akhir. Kertas juga berhadapan terus dengan kontroversi lama sama ada fosil ini jauh lebih tua, dari Kapur paling akhir, atau malah Paleosen.

Masih ada satu peringatan teknikal. Geokronologi terperinci, tafsiran magnet dan jadual data berada dalam bahan tambahan Science. Kertas utama memberi dakwaan dan nombor yang diperlukan, tetapi satu pusingan penerbitan akhir patut menyemak lampiran sebelum menganggap setiap perincian metodologi sebagai tertutup.

Bagi dakwaan ekologi yang lebih luas, buktinya sugestif dan berguna, tetapi lebih bergantung pada model. Para penulis menggunakan set data kejadian, pengelompokan dan pensampelan semula untuk membuat inferens bioprovinsi. Itu alat yang sesuai untuk soalan tersebut, tetapi juga bermaksud hasil bergantung pada pensampelan fosil, penetapan taksonomi, pembahagian masa dan cara ketiadaan dikendalikan. Rekod fosil ialah data yang kehilangan beberapa gigi.

Jadi bacaan paling selamat terbahagi dua: rekod New Mexico ialah rekod selatan Kapur akhir yang nyata dan penting; kesimpulan bahawa barat Amerika Utara mengekalkan struktur fauna wilayah

dekat penghujung disokong dengan baik oleh analisis penulis; lompatan daripada itu kepada kesihatan dinosaur global patut ditahan.

Mengapa ia penting

Perdebatan lama tentang kemerosotan dinosaur bukan hanya tentang dinosaur. Ia tentang berapa banyak berat yang boleh dipikul oleh satu rekod fosil.

Jika rekod Kapur akhir terbaik datang dari Great Plains utara, mudah untuk membiarkan rekod itu mewakili benua, kemudian membiarkan benua mewakili dunia. Itu cekap. Ia juga cara pola wilayah berubah menjadi cerita global dengan menaiki lif tanpa tiket.

Hasil New Mexico menjadikan cerita kurang licin. Ia berkata: lihat ke selatan. Di sini ada unit berfosil dinosaur dekat dengan sempadan. Di sini ada fauna yang tidak sekadar menduplikasi fauna utara. Di sini ada bukti bahawa suhu dan ekologi wilayah masih penting di penghujung permainan.

Itu tidak menjadikan asteroid kurang dahsyat. Jika ada, ia menjadikan bencana lebih tajam. Hentaman tidak tiba pada penghujung satu ekosistem tunggal yang telah dipermudah. Ia melanda satu set dunia wilayah yang masih mempunyai susunan mereka sendiri.

Ada juga pelajaran lebih senyap dalam kertas. Pentarikhan yang baik mengubah naratif. Himpunan fosil tanpa usia selamat boleh menjadi khabar angin dengan tulang. Letakkan ia pada bahagian jam yang betul, dan fosil yang sama menjadi bukti.

Ringkasan utama

Satu kajian Science mengkaji semula Naashoibito Member di New Mexico, unit yang mengandungi dinosaur dan usianya lama diperdebatkan. Menggunakan pentarikhan sanidine detrital $^{40}Ar/^{39}Ar$ dan magnetostratigrafi, para penulis mengehadkan horizon utama berfosil dinosaur kepada dalam kira-kira 340,000 tahun daripada sempadan Kapur-Paleogen, menjadikannya antara dinosaur bukan burung terakhir yang diketahui di Amerika Utara dan secara kasar sezaman dengan fauna Hell Creek di utara. Mereka kemudian menggunakan analisis ekologi dan biogeografi kejadian vertebrata barat Amerika Utara untuk berhujah bahawa fauna Kapur akhir mengekalkan struktur wilayah: dinosaur terpisah kepada dua bioprovinsi, dan suhu nampaknya pemacu utama perbezaan tersebut. Hasil ini menentang idea satu fauna dinosaur berdiversiti rendah di seluruh benua yang merosot seragam sebelum hentaman asteroid. Ia tidak membuktikan kesihatan dinosaur global, menyelesaikan semua perdebatan kemerosotan atau menunjukkan semua dinosaur berkembang maju sehingga penghujung. Ia menunjukkan bahawa rekod selatan yang ditarikhkan dengan lebih baik menjadikan cerita akhir Amerika Utara lebih wilayah, lebih berstruktur dan kurang licin.

Semakan tanpa gembar-gembur

Apa yang ditunjukkan oleh kertas ini: Horizon Naashoibito Member yang mengandungi dinosaur di New Mexico berasal daripada Kapur paling akhir, mungkin dalam kira-kira 340,000 tahun daripada sempadan K-Pg, dan rekod vertebrata barat Amerika Utara menyokong bioprovinsi wilayah yang kekal dekat penghujung.

Apa yang munasabah tetapi belum dibuktikan: Bahawa banyak ekosistem dinosaur masih teguh sejurus sebelum hentaman asteroid; bahawa suhu membantu mengekalkan dunia fauna utara dan selatan yang berbeza; bahawa idea lama tentang kemerosotan mudah di seluruh benua terlalu licin.

Apa yang tidak ditunjukkannya: Bahawa dinosaur di mana-mana sedang berkembang maju; bahawa tiada kumpulan atau wilayah yang merosot; bahawa asteroid bukan pencetus utama kepupusan; bahawa New Mexico sahaja menulis semula penghujung Kapur secara global.

Had utama: Rekod fosil wilayah; analisis provinsialiti bergantung pada model; bias pensampelan fosil; geokronologi terperinci dan kaedah kejadian masih perlu semakan akhir terhadap bahan tambahan Science.

Sejauh mana pembaca umum patut yakin? Tinggi bahawa New Mexico kini menyediakan rekod dinosaur Kapur akhir selatan yang penting. Baik bahawa barat Amerika Utara mengekalkan struktur fauna wilayah dekat penghujung. Rendah bahawa ini boleh dimampatkan menjadi “dinosaur baik-baik saja di mana-mana sehingga asteroid.” Hasil sebenar lebih baik: bab terakhir bukan satu cerita rata di seluruh benua.

Sumber

Flynn et al., Late-surviving New Mexican dinosaurs illuminate high end-Cretaceous diversity and provinciality, Science 390, 400-404 (2025)
https://doi.org/10.1126/science.adw3282