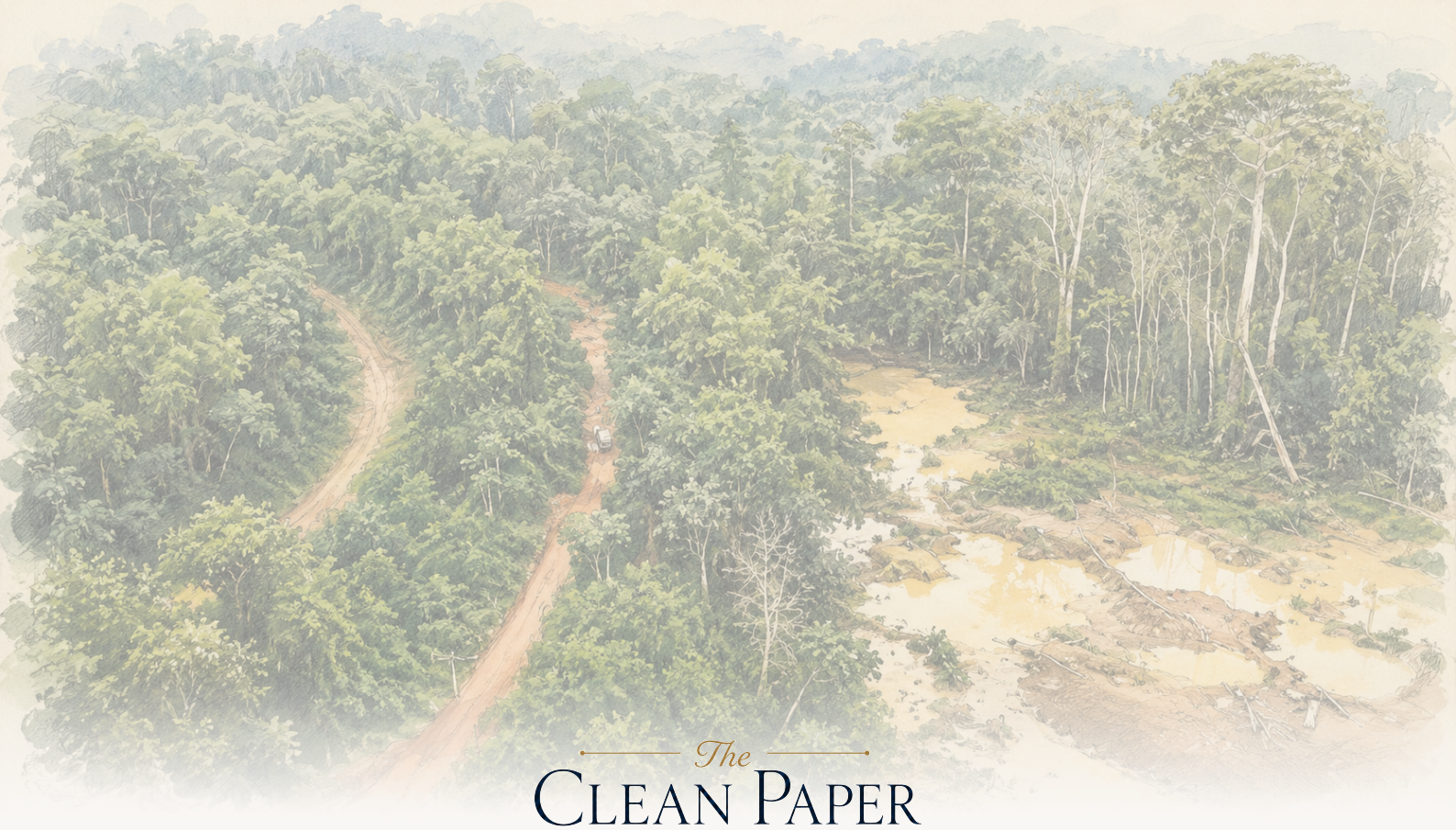

The Clean Paper

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

Perlombongan membersihkan lebih daripada tapak lombong — kehilangan hutan tersembunyi di sekitar pengekstrakan

Satu kajian Nature terhadap 16,627 kelompok lombong di Afrika sub-Sahara mendapati bahawa perlombongan dalam hutan tebal menyebabkan kira-kira 187,000 hektar penebangan hutan langsung dari 2001 hingga 2020, tetapi cerita yang lebih besar berlaku di luar tapak. Berbanding kawasan tidak dilombong, penebangan hutan adalah 8 mata lebih tinggi pada skala 0 hingga 100 dalam 1 km daripada lombong selepas sepuluh tahun, dan kesan berterusan sehingga 20 km. Secara purata, setiap hektar yang dibersihkan secara langsung oleh lombong dikaitkan dengan 33.9 hektar tambahan kehilangan hutan di luar tapak dalam lima tahun. Itu tidak bermaksud peralihan tenaga itu buruk. Ia bermaksud rantaian bekalan mineral mempunyai geografi, dan kos hutannya sering lebih besar daripada lubang lombong.

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

Paper: *Mining triggers extensive additional deforestation in sub-Saharan Africa*, Oscar Morton, Christopher G. Bousfield, Prince Dégny Valé, Ieuan Lamb, Victor Maus, Robert G. Bryant, and David P. Edwards, Nature (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10551-2

Jejaknya bukan sekadar lubang di dalam hutan

Sebuah lombong mempunyai bentuk yang jelas. Lubang galian, kolam tailing, timbunan sisa, jalan yang dibelah masuk ke hutan. Itulah tanda yang boleh dilihat satelit dan boleh dilukis sempadannya oleh pengawal selia.

Tetapi pengekstrakan juga mengubah tanah di sekelilingnya. Orang datang. Jalan menjadikan hutan lebih mudah dicapai. Petempatan berkembang. Pertanian meluas. Lombong bukan hanya parut pada peta; ia boleh menjadi pusat graviti baharu.

Satu kertas Nature meletakkan nombor pada perbezaan itu di seluruh Afrika sub-Sahara. Para penulis menganggarkan penebangan hutan langsung yang didorong perlombongan dalam hutan tebal dari 2001 hingga 2020, kemudian bertanya berapa banyak kehilangan hutan tambahan muncul di sekitar lombong berbanding tempat serupa yang belum dilombong. Kesimpulannya mudah dan tidak selesa: jejak langsung lombong hanyalah bahagian yang kelihatan.

Imej Landsat warna semula jadi menunjukkan parut perlombongan emas berskala besar dan artisanal dalam jalur emas Ashanti di Ghana. Kajian yang dibincangkan di sini bertanya sejauh mana kehilangan hutan berkaitan perlombongan meluas melepasi jejak lombong itu sendiri.

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

Itu hasil yang berguna untuk politik iklim dan biodiversiti kerana ia mengekalkan dua pemikiran dalam bingkai yang sama. Infrastruktur moden dan peralihan tenaga memerlukan mineral. Tetapi mineral tidak datang dari ketiadaan. Soalan yang bersih bukan sama ada perlombongan baik atau buruk sebagai slogan. Soalannya ialah sama ada kos penuh kepada hutan diukur dengan jujur.

Apa yang dilakukan oleh para penulis

Kajian ini menggabungkan data hutan dan guna tanah berskala benua dengan reka bentuk inferens kausal. Para penulis memetakan **16,627 kelompok lombong** dalam kawasan berhutan di Afrika sub-Sahara antara 2001 dan 2020. Mereka memisahkan dua jenis kehilangan hutan.

Yang pertama ialah **penebangan hutan langsung akibat perlombongan**: pembukaan di dalam jejak lombong itu sendiri, termasuk lubang galian, kolam tailing, timbunan sisa, syaf dan ciri lain yang berkaitan terus dengan operasi perlombongan.

Yang kedua ialah **penebangan hutan di luar tapak**: kehilangan hutan di sekitar lombong yang bukan lubang lombong itu sendiri, tetapi mungkin dicetuskan oleh pembukaan lombong melalui aktiviti sampingan — pertanian, petempatan, jalan dan akses lain.

Untuk menganggarkan bahagian kedua, para penulis menggunakan rangka kerja *difference-in-differences*. Dalam bahasa mudah, mereka membandingkan kehilangan hutan di sekitar lombong sebelum dan selepas perlombongan bermula dengan kehilangan hutan di sekitar tempat yang serupa tetapi belum dilombong. Kemudian mereka melihat jarak sepusat dari pusat lombong: dalam 1 km, 1–5 km, 5–10 km dan 10–20 km.

Reka bentuk ini penting kerana kertas tersebut bukan sekadar mengira kehilangan hutan berhampiran lombong. Ia cuba menganggarkan kehilangan tambahan yang boleh dikaitkan dengan pembukaan lombong, berbanding trend kontrafaktual di kawasan yang tidak dilombong.

Apa yang mereka temui

Kehilangan langsung akibat perlombongan besar. Di seluruh hutan tebal Afrika sub-Sahara, para penulis menganggarkan **187,070 hektar** penebangan hutan langsung yang disebabkan perlombongan antara 2001 dan 2020. Republik Demokratik Congo, Ghana dan Côte d'Ivoire bersama-sama menyumbang **45%** daripada kehilangan langsung itu.

Kehilangan di sekeliling lebih besar daripada jejaknya. Selepas lombong dibuka, penebangan hutan kumulatif dalam 1 km adalah **8 mata lebih tinggi pada skala 0 hingga 100** selepas sepuluh tahun berbanding kawasan yang tidak dilombong. Itu jurang mutlak dalam kadar penebangan hutan, bukan peningkatan relatif 8%. Kesan menjadi lebih lemah dengan jarak, tetapi tidak hilang: selepas sepuluh tahun kajian menganggarkan jurang tambahan 3.6 mata pada 1–5 km, 1.9 mata pada 5–10 km dan 1.1 mata pada 10–20 km.

Nombor-nombor ini khusus kepada masa. Ia kesan selepas sepuluh tahun, bukan kehilangan serta-merta.

Nisbah luar tapak/langsung sangat besar. Dalam pengiraan berasingan, para penulis menganggarkan bahawa bagi setiap hektar yang dibersihkan secara langsung oleh jejak lombong, tambahan **33.9 hektar** hutan tebal hilang di luar tapak dalam masa lima tahun. Kebanyakan kehilangan tambahan di luar tapak itu dikaitkan dengan pengembangan pertanian yang dicetuskan oleh pembukaan

lombong, dengan pertumbuhan petempatan juga penting dan jalan menyumbang bahagian lebih kecil dalam pecahan mereka.

Nombor itu juga khusus kepada masa: ia nisbah luar tapak/langsung lima tahun. Ia tidak patut dicampur dengan kesan skala 0 hingga 100 selepas sepuluh tahun.

Kesannya tidak sama di semua tempat. Kajian melaporkan kebimbangan serius bagi Republik Demokratik Congo kerana negara itu menggabungkan jejak perlombongan langsung yang besar dengan kehilangan luar tapak tambahan yang besar. Negara lain menunjukkan kesan luar tapak relatif yang tinggi, tetapi dengan jejak langsung lebih kecil. Pada peringkat komoditi, lombong yang mengekstrak kobalt dan tembaga — mineral penting bagi bateri, infrastruktur elektrik dan peralihan tenaga — menyebabkan jumlah penebangan hutan tambahan tertinggi dalam anggaran kajian.

Mengapa bahagian luar tapak penting

Penilaian alam sekitar sering bermula dengan sempadan langsung projek. Itu boleh difahami. Lubang lombong kelihatan, permit mempunyai perimeter, dan syarikat boleh menerangkan infrastruktur yang hendak dibina.

Tetapi hutan tidak hanya bertindak balas kepada sempadan undang-undang. Hutan bertindak balas kepada akses dan insentif. Sebuah lombong boleh membawa jalan, pekerja, wang, petempatan dan permintaan terhadap makanan. Itu boleh menjadikan hutan berdekatan sebagai tanah yang lebih mudah, lebih menguntungkan atau lebih perlu dibuka.

Inilah sebabnya idea terkuat kertas ini bukan satu nombor. Ia perbezaan antara kehilangan **langsung** dan kehilangan **yang dicetuskan**.

Jika rantaian bekalan hanya mengira jejak lombong, ia mungkin mengurangkan kiraan perubahan guna tanah yang disebabkan oleh pengekstrakan. Jika penilaian impak alam sekitar berhenti pada sempadan pajakan, ia mungkin terlepas kehilangan hutan yang dibuat lebih mungkin oleh projek. Dan jika sesuatu produk dipasarkan sebagai bersih kerana menyokong tenaga boleh baharu, itu tidak secara automatik menjadikan rantaian bahannya bersih.

Apa yang *tidak* dibuktikan oleh kajian ini

- Ia **tidak** menunjukkan bahawa peralihan tenaga itu buruk. Ia menunjukkan bahawa mineral yang digunakan dalam infrastruktur moden, termasuk mineral peralihan tenaga, boleh membawa kos guna tanah yang besar.
- Ia **tidak** bermaksud setiap lombong menyebabkan tepat 33.9 hektar kehilangan luar tapak bagi setiap hektar kehilangan langsung. Itu anggaran purata merentasi set besar kelompok lombong, bukan ramalan bagi satu projek tertentu.
- Ia **tidak** membuktikan bahawa setiap pokok yang hilang berhampiran lombong ditebang kerana lombong tersebut. Kajian menggunakan reka bentuk kuasi-eksperimen untuk menganggarkan

kehilangan tambahan pada skala populasi.
- Ia **tidak** mengagihkan tanggungjawab kepada syarikat, permit atau pembeli individu. Itu memerlukan penjejakan peringkat projek yang melampaui artikel ini.
- Ia **tidak** meliputi semua kesan perlombongan. Pencemaran air, keadaan buruh, pemecahan habitat biodiversiti, konflik hak dan perpindahan sosial berada di luar pengukuran utama kehilangan hutan di sini.
- Ia **tidak** meliputi seluruh dunia. Analisis tertumpu pada hutan tebal di Afrika sub-Sahara.

Sejauh mana kukuh buktinya?

Bagi anggaran penebangan hutan langsung, buktinya kuat pada skala benua. Kajian menggunakan set data guna tanah dan litupan hutan yang diterbitkan untuk mengenal pasti kehilangan hutan yang berkaitan langsung dengan ciri perlombongan.

Bagi kehilangan tambahan di luar tapak, buktinya juga kukuh, tetapi berasaskan model. *Difference-in-differences* direka untuk menganggarkan kesan kausal daripada data pemerhatian, khususnya apabila eksperimen rawak mustahil. Para penulis menggunakan kaedah terkini yang teguh terhadap heterogeniti dan menguji keteguhan dengan penganggar alternatif. Itu amalan yang baik.

Namun hasil perlu dibaca pada skala yang betul. Kertas ini ialah bukti kuat bahawa pembukaan lombong dikaitkan dengan penebangan hutan tambahan di luar jejak lombong merentasi sistem kajian. Ia bukan pengakuan satelit daripada setiap pokok individu.

Jadi bacaan awam yang paling berguna bukan panik atau penolakan. Ia disiplin pengukuran: jika perlombongan membuka sesuatu landskap, penilaian impak perlu melihat melepasi pagar.

Mengapa ia penting

Frasa “tenaga bersih” boleh menyembunyikan dunia material. Panel solar, bateri, talian penghantaran, kenderaan elektrik dan pusat data semuanya memerlukan bahan yang dilombong. Sebahagian bahan itu datang dari tempat dengan hutan dan biodiversiti yang penting secara global.

Itu tidak menjadikan penyahkarbonan satu kesilapan. Alternatifnya — meneruskan kebergantungan kepada bahan api fosil — mempunyai kos tanah, udara, air dan iklimnya sendiri yang sangat besar. Tetapi ia bermaksud sesuatu peralihan boleh lebih bersih daripada sistem fosil dan tetap tidak bersih secara automatik.

Nilai kertas ini ialah ia menjadikan geografi tersembunyi lebih sukar diabaikan. Ia berkata: jangan kira lubang lombong sahaja. Kira perubahan hutan di sekelilingnya. Kira jalan, ladang dan petempatan yang mengikuti pengekstrakan. Masukkan penebangan hutan luar tapak dalam penilaian impak alam sekitar, dakwaan tiada kehilangan bersih dan rantaian bekalan sifar penebangan hutan.

Itu cerita yang lebih matang daripada “mineral hijau itu baik” atau “mineral hijau itu buruk.” Cer-

itanya ialah: asas material peralihan mempunyai akibat, dan akibat itu perlu kelihatan sebelum rantaian bekalan menamakan dirinya bersih.

Ringkasan utama

Satu kajian Nature menganalisis 16,627 kelompok lombong dalam hutan tebal di seluruh Afrika sub-Sahara dari 2001 hingga 2020. Ia menganggarkan **187,070 hektar** penebangan hutan langsung akibat perlombongan daripada ciri seperti lubang, kolam tailing dan timbunan sisa. Menggunakan rangka kerja *difference-in-differences*, para penulis turut menganggarkan penebangan hutan tambahan di sekitar lombong berbanding kawasan yang tidak dilombong: selepas sepuluh tahun, penebangan hutan kumulatif adalah **8 mata lebih tinggi pada skala 0 hingga 100** dalam 1 km dan kekal tinggi sehingga 20 km. Dalam pengiraan lima tahun yang berasingan, setiap hektar penebangan hutan langsung akibat perlombongan dikaitkan dengan purata **33.9 hektar** kehilangan tambahan hutan tebal di luar tapak, kebanyakannya melalui pengembangan pertanian dan petempatan. Lombong yang mengekstrak kobalt dan tembaga menyumbang jumlah penebangan hutan tambahan tertinggi dalam kajian. Hasil ini tidak menunjukkan bahawa peralihan tenaga itu buruk. Ia menunjukkan bahawa rantaian bekalan mineral mempunyai kos guna tanah yang melampaui jejak lombong.

Semakan tanpa gembar-gembur

Apa yang ditunjukkan oleh kertas ini: Perlombongan dalam hutan tebal di seluruh Afrika sub-Sahara menyebabkan kehilangan hutan langsung yang besar dari 2001 hingga 2020; pembukaan lombong diikuti penebangan hutan tambahan di sekitar lombong berbanding kawasan tidak dilombong; kehilangan luar tapak boleh jauh melebihi jejak langsung lombong; dan sesetengah mineral peralihan tenaga dikaitkan dengan jumlah penebangan hutan tambahan yang tinggi dalam set data ini.

Apa yang munasabah tetapi belum dibuktikan: Bahawa banyak lombong individu mempunyai kesan luar tapak yang lebih besar daripada yang dicadangkan jejak permit mereka; bahawa penilaian impak alam sekitar dan peraturan rantaian bekalan yang lebih ketat boleh mengurangkan sebahagian kehilangan ini; bahawa kesan luar tapak tersembunyi serupa mungkin penting di kawasan perlombongan tropika lain.

Apa yang tidak ditunjukkannya: Bahawa semua perlombongan sama merosakkan; bahawa setiap kejadian kehilangan hutan berdekatan disebabkan oleh lombong tertentu; bahawa peralihan tenaga itu buruk; bahawa syarikat atau pembeli individu bertanggungjawab terhadap kehilangan tertentu tanpa penjejakan peringkat projek; atau bahawa kehilangan hutan ialah satu-satunya kos alam sekitar atau sosial yang penting.

Had utama: Inferens kausal pemerhatian dan bukannya bukti rawak; anggaran skala benua dan bukannya atribusi peringkat projek; tumpuan pada hutan tebal di Afrika sub-Sahara; kesan langsung dan luar tapak bergantung pada kualiti data, pengesanan lombong dan andaian model.

Sejauh mana pembaca umum patut yakin? Tinggi bahawa penebangan hutan langsung akibat perlombongan di rantau kajian adalah besar. Baik bahawa pembukaan lombong berkait dengan penebangan hutan tambahan di luar tapak pada skala populasi. Lebih rendah untuk menggunakan purata nisbah 33.9:1 kepada mana-mana lombong tunggal. Sikap yang sesuai: rantaian bekalan mineral boleh diperlukan dan tetap memerlukan perakaunan jujur melepasi lubang lombong.

Sumber

Nature (2026)
https://doi.org/10.1038/s41586-026-10551-2

White Rose Research Online — published version
https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/241799/

Processed outputs and analysis code — GitHub
https://github.com/OMorton/AFR_MiningForestLoss

Post-deforestation land-use dataset — Zenodo
https://doi.org/10.5281/zenodo.11065705