



KAYU REKLAMASI DAN BAHAYA INKLUSI FERUS: MENGAPA KAYU GUNA ULANG, KAYU LUMBUNG, DAN KAYU REKLAMASI INDUSTRI GUGUR SECARA MAGNETIK SEBAGAI BAHAN PENYANGGA AUDIO



Kayu Reklamasi dan Bahaya Inklusi Ferus: Mengapa Kayu Guna Ulang, Kayu Lumbung, dan Kayu Reklamasi Industri Gugur Secara Magnetik sebagai Bahan Penyangga Audio

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstrak

Kayu reklamasi memperoleh harga premium dari pemasaran yang bertumpu pada provenans: ek lumbung yang telah satu abad dilapukkan cuaca, pinus bergetah yang diambil dari gudang yang dibongkar, jati yang diselamatkan dari kapal penyapu ranjau yang dinonaktifkan atau meja laboratorium yang dipensiunkan. Romantisemnya nyata dan argumen keberlanjutannya tidak remeh. Namun, bahan penyangga dipilih berdasarkan apa yang dilakukannya terhadap kabel yang bertumpu di atasnya, bukan berdasarkan biografinya, dan kayu reklamasi membawa cacat yang secara aktif dijamin oleh provenansnya, bukan sekadar dimungkinkan: logam feromagnetik tertanam. Paku potong, sekrup, kokot, kokot pagar, baut, fragmen kawat berduri, peluru timbal dan baja yang tertanam, serta geram gergaji pita dan gergaji bundar merupakan kelengkapan biasa setiap kayu yang telah menjalani masa kerja. Ini bukan peristiwa kontaminasi langka; justru inilah alasan penggergajian kayu menjalankan detektor ferus industri di depan gergaji utama dan alasan tempat penjualan kayu reklamasi mengiklankan stok sebagai "telah dideteksi logam" sejak awal.

Kami melaporkan studi penyaringan terhadap 96 balok reklamasi dari empat kelas provenans -- ek lumbung, pinus dan fir gudang industri, jati reklamasi dari sumber kelautan dan laboratorium, serta ek tong anggur -- yang dilewatkan melalui gradiometer fluxgate dan, untuk setiap hasil positif, melalui tomografi terkomputasi sinar-X guna memetakan inklusi. Inklusi feromagnetik terdeteksi pada 71 dari 96 balok (74 persen), dengan ek lumbung gagal pada 19 dari 20. Satu paku baja tertanam merupakan inklusi berpermeabilitas tinggi yang permanen: dengan mu_r baja lunak pada kisaran ratusan hingga ribuan rendah, paku itu menjadi diskontinuitas medan lokal yang berada beberapa milimeter dari konduktor, dan kebersihan dielektrik sebanyak apa pun pada kayu di sekelilingnya tidak dapat mengimbangnya. Kami selanjutnya mengarakterisasi halo korosi -- noda besi-tanat paramagnetik yang menyebar dan dirembeskan benda ferus tertanam ke dalam ek selama puluhan tahun, menghadirkan volume terkontaminasi yang beberapa orde besaran lebih besar daripada logam itu sendiri -- serta menunjukkan mengapa stok yang sekalipun "telah dideteksi logam" hanya lolos ambang industri kasar, bukan kelas audio submiligram yang ditetapkan Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026). Blok Elevasi Ekuatorial digiling secara eksklusif dari stok perkebunan yang belum pernah digunakan dan tidak pernah dari kayu reklamasi; alasan keberlanjutan bagi reklamasi dijawab dengan perkebunan ekuatorial terkelola, yang kami bahas secara langsung.

1. PENDAHULUAN

Studi pendamping dalam jurnal ini (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) menetapkan skala netralitas kelas-N untuk kayu struktural, yang didefinisikan berdasarkan kandungan paramagnetik residual dan suseptibilitas magnetik volume yang dihasilkannya, serta menunjukkan bahwa jati perkebunan ekuatorial mencapai 5N saat diterima. Studi itu menilai kayu bersih yang belum pernah digunakan. Kayu reklamasi hanya disebut sepintas -- sebagai kategori yang "secara rutin" gagal dalam pemindaian inklusi ferus -- lalu pembahasan berlanjut. Makalah ini mengembangkan kalimat sepintas tersebut menjadi rincian lengkap yang menggugurkan, karena pertanyaan mengenai kayu reklamasi bukan catatan kaki bagi pembeli. Inilah tantangan tunggal yang paling sering kami terima: jika jati ekuatorial terkelola langka dan mahal, sementara lumbung dan gudang tua penuh dengan kayu tua yang indah, rapat, dan stabil secara dimensi yang jika tidak dimanfaatkan akan dibakar, mengapa tidak menggiling penyangga dari bahan itu?

Jawabannya bersifat metalurgis, dan selisihnya tidak tipis. Kayu reklamasi didefinisikan oleh riwayat pemakaian struktural sebelumnya, dan pemakaian struktural berarti alat pengencang. Balok lumbung pernah dipaku, ditancapi paku besar, dibaut, dan dikokot; balok lantai gudang pernah dibaut tembus dan dipasang sekrup lag; kayu kapal pernah diikat dengan baut drift besi dan pasak kayu yang disemat besi; meja laboratorium mengenakan braket baja dan tepi paku potong selama satu abad. Sebagian besar logam itu dicabut saat reklamasi. Sebagiannya tidak, karena patah di bawah permukaan, karena ditanam terlalu dalam dan dibenamkan, karena terkorosi menjadi gumpalan yang tidak lagi dikenali, atau karena sejak awal tidak pernah tampak dari luar. Pelaku reklamasi membuang logam yang dapat dilihatnya. Gradiometer menemukan logam yang tidak dapat dilihatnya.

Kami memperlakukan alat pengencang tertanam bukan sebagai cacat kosmetik yang perlu diisi dan disembunyikan, melainkan sebagaimana adanya secara elektromagnetik: inklusi permanen berpermeabilitas tinggi yang ditempatkan, oleh geometri penyangga kabel, dalam jarak beberapa milimeter dari konduktor sinyal. Bahan penyangga hadir untuk menahan kabel berkategori dalam lingkungan medan dekat yang terkendali. Bahan penyangga dengan paku baja di dalamnya adalah cacat magnetik yang kebetulan sedang menahan kabel.

2. ARGUMEN SATU PAKU

Pertimbangan kontaminasi paling tidak dramatis yang dapat dibayangkan: satu paku potong, patah rata dan tak terlihat, terkubur dalam balok ek reklamasi yang selain itu sempurna. Kasus ini layak diuraikan sepenuhnya, sebab jika kasus paling tidak dramatis saja menggugurkan, statistik survei berikutnya semata-mata merupakan pembukuan.

Kayu bersih dan kering berada di dekat suseptibilitas magnetik volume $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- diamagnetik secara lemah dan seragam, kondisi yang diinginkan bagi bahan yang diminta menempati medan statis tanpa mengganggunya. Sebuah paku baja lunak memiliki permeabilitas relatif μ_r dalam kisaran ratusan hingga ribuan rendah. Dengan demikian, rasio permeabilitas melintasi batas kayu-ke-baja bukan beberapa persen; rasionya tiga hingga enam orde besaran. Batas tersebut merupakan diskontinuitas medan: garis fluks statis dan kuasistatis yang melewati kayu diamagnetik dengan mulus dihimpun, dipusatkan, dan dipancarkan kembali oleh inklusi, sehingga menghasilkan gradien medan lokal yang terukur dalam puluhan hingga ratusan nT pada permukaan tepat di atasnya -- yang pada penyangga kabel persis menjadi tempat duduk dan kabel berada.

Tidak seperti muatan logam renik paramagnetik yang tersebar merata di seluruh curah, inklusi tersebut juga merupakan sumber titik yang berstruktur. Ia membawa remanensi: alat pengencang baja yang berada dalam medan Bumi selama puluhan tahun memperoleh momen magnetik permanen, sehingga inklusi itu bukan sekadar gangguan permeabilitas pasif, melainkan magnet permanen kecil dengan sumbu dipol tetapnya sendiri, tidak peduli pada penyelarasan ekuatorial yang hendak dicapai seluruh instalasi lainnya. Tidak ada sifat kayu di sekelilingnya -- bukan suseptibilitas 7N, bukan konstanta dielektrik serendah rekor, bukan penggilingan serat-ujung-vertikal yang sempurna -- yang dapat mengimbangi dipol permanen yang berada di jalur beban. Balok dinilai berdasarkan titik terburuknya, bukan nilai rata-ratanya, dan titik terburuknya adalah paku tersebut.

3. SURVEI: KELAS PROVENANS DAN TINGKAT TEMUAN

Sembilan puluh enam balok reklamasi diperoleh dari empat kelas provenans, sebanyak 20 hingga 28 per kelas, dari tempat penjualan kayu reklamasi mapan di Amerika Utara dan Eropa; semuanya dijual sebagai telah dicabuti alat pengencangnya dan, pada tiga kelas, sebagai "telah dideteksi logam". Setiap balok dilewatkan melalui gradiometer fluxgate tiga sumbu (Bartington Grad-13, resolusi 1 nT) pada landasan bermotor dengan kecepatan 20 mm/s -- instrumen dan protokol yang sama dengan yang digunakan untuk menyaring jati produksi dalam studi pendamping. Setiap balok yang menghasilkan anomali diskret di atas 5 nT dari latar diamagnetiknya ditandai dan dikirim untuk tomografi terkomputasi sinar-X (sumber fokus-mikro 225 kV, voksel 90 μ m) guna melokalisasi serta mengidentifikasi inklusi.

Tingkat temuan agregat adalah 71 dari 96 (74 persen). Menurut kelas: ek lumbang gagal pada 19 dari 20 balok, menjadi yang berkinerja terburuk, dengan inklusi didominasi paku potong, paku kawat, dan kokot pagar, serta median tiga inklusi diskret per balok yang gagal. Pinus dan fir gudang industri gagal pada 22 dari 28, dengan batang sekrup lag, baut mesin, dan -- pada empat balok -- peluru timbal dan baja tertanam dari riwayat sebelumnya yang tidak kami selidiki. Jati reklamasi dari sumber kelautan dan laboratorium gagal pada 21 dari 25: kayu kapal membawa fragmen baut drift besi dan sisa pintel, sedangkan jati meja laboratorium membawa sekrup kayu baja benam dan, dalam dua kasus, kuningan yang diloloskan gradiometer tetapi gugur atas dasar lain. Ek tong anggur merupakan yang terbaik dari keempatnya dan tetap gagal pada 9 dari 23, terutama akibat fragmen paku keling lingkaran dan kawat kokot dari lingkaran yang telah dibongkar.

Dua temuan dari peta CT patut ditekankan. Pertama, sebagian besar inklusi yang terdeteksi berada di bawah permukaan dan tidak tampak pada sisi jadi -- tepat populasi yang selamat dari pembuangan alat pengencang secara visual. Kedua, beberapa balok yang akan diloloskan oleh detektor genggam kelas reklamasi menunjukkan beberapa inklusi kecil (jejak geram dari penggergajian ulang dengan gergaji pita sebelumnya, mahkota kokot), masing-masing berada di bawah ambang detektor kasar tetapi secara kolektif membentuk muatan ferus terdistribusi. Detektor industri menjawab "apakah ada paku yang cukup besar untuk merusak mata gergaji saya"; detektor itu tidak menjawab "apakah balok ini bersih secara magnetik", dan memang tidak pernah dirancang untuk itu.

4. HALO KOROSI

Benda ferus yang tertanam dalam kayu bukanlah inklusi stabil dan tertutup. Benda itu terkorosi, mengekspos produk korosinya ke jaringan di sekelilingnya, dan pada ek hal tersebut terjadi melalui kimia yang secara termodinamik giat dan telah dikenal berabad-abad.

Kayu teras ek kaya akan tanin yang dapat dihidrolisis. Besi yang bersentuhan dengan ek lembap teroksidasi, dan ion fero serta feri yang dihasilkan bermigrasi mengikuti gradien kelembapan ke dalam kayu lalu membentuk kompleks dengan tanin tersebut menjadi besi tanat -- senyawa biru-hitam tinta besi-empedu, sekaligus reaksi yang sama dengan yang menodai ek menjadi hitam di sekitar setiap alat pengencang baja yang tertinggal di dalamnya. Karena itu, selama puluhan tahun di lumbang atau ruang bawah tanah, paku tertanam tidak tetap menjadi masalah seukuran paku. Paku merembeskan halo besi-tanat yang menyebar ke dalam volume kayu yang menurut CT dan ICP-MS satu hingga dua orde besaran lebih besar daripada benda itu sendiri. Inti logamnya feromagnetik; halo di sekelilingnya paramagnetik; dan karena halo tersebut besar, tidak teratur, serta menembus permukaan yang menghadap kabel, dalam beberapa hal ia menjadi pencemar yang lebih buruk, sebab tidak dapat dicabut dengan tang dan sama sekali tidak mengumumkan dirinya kepada detektor logam.

Kami membelah empat balok ek lumbang di sekitar inklusi yang diketahui dan memetakan Fe dengan ICP-MS pada transek radial. Konsentrasi besi turun dari tingkat persen pada batas logam menjadi dataran paramagnetik 60 hingga 240 ppm di sepanjang halo yang membentang 15 hingga 40 mm dari benda tersebut -- nada yang jauh melampaui batas atas 4N sebesar 100 ppm pada volume yang cukup besar untuk menelan seluruh duduk kabel. Inilah mekanisme yang membuat satu alat pengencang historis

mencemari bukan satu titik, melainkan suatu kawasan, dan mekanisme ini khusus berlaku pada kayu keras aktif-tanin (terutama ek) yang paling dihargai pemasaran kayu reklamasi. Provenans yang membuat ek lumbang romantis -- satu abad pemakaian struktural lembap di sebelah besi -- adalah riwayat yang persis sama dengan yang menjamin halo tersebut.

5. MENGAPA "TELAH DIDETEKSI LOGAM" BUKAN SEBUAH KELAS

Tempat penjualan kayu reklamasi yang mengiklankan stok "telah dideteksi logam" bersikap jujur mengenai proses yang nyata, dan penting untuk menyatakan dengan jelas apa yang diberikan dan tidak diberikan proses tersebut, karena frasa itu secara rutin dibaca sebagai surat keterangan bersih, padahal bukan.

Deteksi logam kayu industri hadir untuk melindungi mesin. Detektor ferus pada lini gergaji ulang disetel agar terpicu oleh benda yang cukup besar untuk meretakkan gigi karbida atau memecahkan mata gergaji pita -- paku, sekrup, baut. Ambangnya sengaja ditetapkan tinggi: lini yang berhenti pada setiap jejak besi submiligram tidak akan pernah memotong papan. Detektor itu merupakan interlok keselamatan produksi yang dikalibrasi dalam mata uang kerusakan perkakas, dan secara sengaja meloloskan tepat populasi yang menggugurkan balok untuk penggunaan audio: geram submilimeter, fragmen kawat kokot, butir peluru, dan terutama halo paramagnetik terlarut, yang tidak mengandung benda diskret untuk ditemukan detektor. Sebuah balok dapat lolos bersih dari detektor industri dan tetap membawa noda besi 200 ppm menembus sisi yang menghadap kabel.

Kelas netralitas audio merupakan pengukuran berbeda yang menjawab pertanyaan berbeda. Kelas itu ditetapkan bukan berdasarkan risiko terhadap perkakas, melainkan berdasarkan batas Fe + Mn 100 ppm (4N), 10 ppm (5N), dan 1 ppm (6N) dari Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026), yang diverifikasi menggunakan gradiometri fluxgate untuk inklusi diskret serta VSM bersama ICP-MS untuk suseptibilitas curah dan halo. Kedua ambang berbeda beberapa orde besaran. "Telah dideteksi logam" berarti "tidak ada benda yang cukup besar untuk mematahkan gergaji". "Netral 5N" berarti "Fe + Mn pada atau di bawah 10 ppm, di mana pun, baik diskret maupun terlarut". Pelaku reklamasi dapat memasok yang pertama dengan iktikad baik dan sama sekali tidak dapat memasok yang kedua, karena yang kedua memerlukan magnetometri per balok dan pengujian logam renik yang tidak dilakukan tempat reklamasi mana pun dan yang tetap akan digagalkan sebagian besar balok reklamasi seberapa pun kehati-hatiannya, semata-mata karena riwayatnya.

6. PERTANYAAN KEBERLANJUTAN, DIJAWAB DENGAN CARA BERBEDA

Argumen terkuat bagi kayu reklamasi bukanlah akustik, melainkan lingkungan. Menggunakan kembali kayu berusia seabad menghindari panen baru, menjauhkan bahan sehat dari tumpukan bakar, dan menghormati kerja yang terkandung dalam pertumbuhan awalnya. Kami menanggapi argumen itu dengan serius, dan menjawabnya bukan dengan menyangkal, melainkan dengan memenuhi tujuannya melalui pasokan yang tidak membawa bahaya ferus ataupun biaya lingkungan.

Blok Elevasi Ekuatorial digiling dari jati perkebunan terkelola yang ditanam dalam jarak 5 deg dari ekuator geomagnetik pada perkebunan sewaan dan bersertifikat di bawah tata kelola tanam-kembali-setelah-panen. Perbandingan keberlanjutan yang relevan bukan kayu reklamasi melawan pembalakan hutan tua -- itu pilihan palsu -- melainkan kayu reklamasi melawan perkebunan terkelola yang pohonnya ditanam khusus untuk ditebang, menyerap karbon selama berdiri, dan digantikan dalam rotasi tetap. Perkebunan ekuatorial terkelola memberikan manfaat lingkungan yang dihargai pada reklamasi (tanpa tekanan pada hutan tua, siklus terbarukan), sekaligus memberikan satu hal yang secara struktural tidak dapat diberikan reklamasi: riwayat tanpa alat pengencang. Kayu perkebunan yang belum pernah digunakan tidak pernah memegang paku, tidak pernah merembeskan halo besi-tanat, dan tidak pernah melewati gergaji ulang yang menaburinya dengan geram. Kayu itu tiba dengan keadaan magnetik yang bersih, satu-satunya kondisi awal yang memungkinkan tercapainya kelas 5N.

Terakhir, tidak ada jalan untuk memulihkan balok reklamasi hingga memenuhi kelas. Inklusi diskret terkadang dapat digali, tetapi penggalian meninggalkan rongga dan tidak dapat menjangkau halo terlarut; halo hanya dapat dibuang dengan memotong volume bernoda, yang pada balok lumbang bernoda berat merupakan sebagian besar kayu yang dapat digunakan. Ekonomi dan fisiknya menunjuk ke arah yang sama. Lebih murah, lebih bersih, dan andal secara metrologis untuk memulai dengan kayu yang tumbuh bersih daripada mengejar besi keluar dari kayu yang tumbuh, lalu hidup, dalam keadaan kotor.

7. KESIMPULAN

Kayu reklamasi, kayu yang diselamatkan, kayu lumbang, dan kayu reklamasi industri gugur sebagai bahan penyangga audio bukan karena preferensi estetis dan bukan karena kelemahan kayunya, melainkan karena riwayat alat pengencangnya. Pemakaian struktural berarti besi tertanam, besi tertanam berarti inklusi permanen berpermeabilitas tinggi dalam jalur beban kabel, dan pada kayu keras aktif-tanin berarti halo korosi paramagnetik menyebar yang satu orde besaran lebih besar daripada logam yang menghasilkannya. Survei penyaringan kami menemukan inklusi feromagnetik pada 74 persen balok reklamasi dari empat kelas provenans, dengan ek lumbang -- kelas yang paling diromantisasi -- gagal pada 19 dari 20. Argumen satu paku menunjukkan bahwa satu inklusi semacam itu pun menggugurkan dengan sendirinya, sehingga tingkat survei justru mengecilkan, bukan melebih-lebihkan, masalahnya.

Jaminan "telah dideteksi logam" yang ditawarkan pemasaran kayu reklamasi merupakan ambang perlindungan mesin yang



beberapa orde besaran lebih kasar daripada kelas netralitas audio, dan secara sengaja meloloskan tepat kontaminasi submiligram dan terlarut yang hendak ditangkap oleh kelas Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026). Itu pengukuran nyata dan berguna yang menjawab pertanyaan yang bukan pertanyaan audio. Karena alasan ini, Blok Elevasi Ekuatorial digiling secara eksklusif dari stok perkebunan yang belum pernah digunakan dan tidak pernah dari kayu reklamasi berprovenans apa pun. Alasan lingkungan bagi reklamasi itu sah dan dijawab sepenuhnya oleh perkebunan ekuatorial terkelola yang ditanam untuk dipanen dan diganti -- kayu yang membawa manfaat keberlanjutan tanpa besi, dan yang memulai, sebagaimana harus dilakukan setiap balok berkategori, dengan keadaan magnetik yang bersih.

REFERENSI

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Penilaian netralitas magnetik kayu struktural: klasifikasi kemurnian kelas-N untuk bahan penyangga audio. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Korosi besi arkeologis hasil ekskavasi dengan rincian mengenai perembesan dan akaganeit. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Distribusi besi dan belerang beserta spesiasinya dalam kaitannya dengan proses degradasi pada kayu. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Oksidasi karbohidrat kayu yang dikatalisis besi. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Panduan praktik terbaik untuk deteksi logam ferus dan nonferus pada kayu struktural yang diselamatkan. RWC Technical Bulletin TB-07, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Gradiometri fluxgate dan tomografi terkomputasi untuk penyaringan inklusi feromagnetik pada balok kayu. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.