



**PENILAIAN NETRALITAS
MAGNETIK KAYU STRUKTURAL:
KLASIFIKASI KEMURNIAN
KELAS-N UNTUK BAHAN
PENYANGGA AUDIO, DENGAN
KARAKTERISASI
PARAMAGNETIK-RENIK JATI
EQUATORIAL**

Penilaian Netralitas Magnetik Kayu Struktural: Klasifikasi Kemurnian Kelas-N untuk Bahan Penyangga Audio, dengan Karakterisasi Paramagnetik-Renik Jati Ekuatorial

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstrak

Konduktor audio secara rutin ditetapkan menurut kelas kemurnian metalurgis -- 4N (99,99%), 6N (99,9999%), dan seterusnya -- tetapi bahan struktural yang menyangga, mengangkat, dan menambatkan konduktor tersebut, walaupun ditentukan, ditentukan berdasarkan penampilan. Ini merupakan asimetri tanpa pembenaran: bahan penyangga yang terus bersentuhan dengan kabel sinyal berpartisipasi dalam lingkungan elektromagnetik medan dekat kabel, sehingga sifat magnetik dan dielektriknya merupakan masukan terukur bagi instalasi, bukan sifat dekoratif. Kami mengusulkan klasifikasi kemurnian kelas-N untuk kayu struktural, yang sepadan dengan skala kelas-N bagi logam tetapi didefinisikan berdasarkan besaran yang penting bagi nonkonduktor: kandungan paramagnetik residual. Kelas kayu ditetapkan oleh suseptibilitas magnetik volumenya dan, secara ekuivalen, oleh fraksi massa gabungan pencemar paramagnetik dominan besi dan mangan, yang ditentukan dengan spektrometri massa plasma terdanginduksi setelah digesti asam gelombang mikro. Kami mengarakterisasi 11 spesies kandidat dan menunjukkan bahwa sebagian besar kayu keras furnitur -- terutama ek putih, dengan besi 41 hingga 190 ppm -- berada di bawah netralitas 4N, sedangkan jati perkebunan (*Tectona grandis*) yang ditanam dalam jarak 5 deg dari ekuator geomagnetik mencapai 5N (netral secara magnetik 99,999 persen, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) saat diterima dan 6N melalui seleksi balok tunggal. Kami melaporkan instrumentasi, batas kelas, konsekuensi dielektrik orientasi serat dan kadar air, serta klasifikasi ulang kayu netral menjadi "terkompromi secara magnetik" yang mengikuti penerapan lapisan akhir berkatalis logam apa pun.

1. PENDAHULUAN

Pasar konduktor audiofil diatur berdasarkan kemurnian. Tembaga bebas oksigen dijual sebagai 4N (99,99 persen), 5N, 6N, dan -- di batas yang dapat diberikan pemurnian elektrolitik -- 7N. Setiap sembilan tambahan dipahami menyingkirkan satu situs hamburan, pengotor batas-butir, dan inklusi paramagnetik. Apakah manfaat audibel dari sembilan terakhir bertahan dalam uji dengar terkendali merupakan pertanyaan terpisah yang dibahas di tempat lain dalam jurnal ini; pokoknya di sini adalah bahwa industri memiliki kosakata yang ketat, kuantitatif, dan dipahami secara universal bagi kemurnian konduktor.

Industri tidak memiliki kosakata semacam itu untuk apa pun yang lain. Kabel diberi kelas hingga tujuh angka sembilan, lalu diletakkan di lantai, dijepit ke dinding, atau dibentangkan pada penyangga yang komposisinya sama sekali tidak ditentukan. Penyangga dipilih berdasarkan warnanya. Inilah kedudukan kayu dalam sistem audio: menanggung beban secara struktural, terus bersentuhan secara fisik dengan konduktor sinyal, dan tidak terlihat secara metrologis.

Kami menilai hal ini tidak dapat dipertahankan. Bahan penyangga yang bersentuhan dengan kabel merupakan bagian dari lingkungan dielektrik dan magnetik langsung kabel. Jika bahan tersebut membawa inklusi feromagnetik -- fragmen geram gergaji pita, kokot patah, besi yang diserap pohon dari tanah dan diikat ke dalam kayu teras -- ia menghadirkan diskontinuitas permeabilitas lokal sepanjang bentangan. Jika bersifat higroskopis dan polar, bahan itu menghadirkan kapasitansi terdistribusi yang bergantung kelembapan. Besaran ini sama dengan besaran yang hendak dikendalikan kelas kemurnian konduktor sendiri. Tidak konsisten menetapkan satu bahan hingga enam angka sembilan dan menyerahkan yang lain kepada pembuat kabinet.

Makalah ini mengusulkan klasifikasi kelas-N untuk kayu struktural, yang didefinisikan bukan berdasarkan kemurnian kimia dalam pengertian curah -- kayu terdiri kira-kira setengah karbon dan tidak akan pernah menjadi "99,999 persen kayu" dengan pengertian yang bermakna -- melainkan berdasarkan satu sifat yang mengopel kayu ke jalur sinyal audio: kandungan paramagnetik residualnya, serta suseptibilitas magnetik volume yang dihasilkan kandungan tersebut.

2. KELAS NETRALITAS DAN SKALA-N

Kayu kering bersifat diamagnetik. Selulosa, lignin, dan air terikat masing-masing membawa suseptibilitas magnetik volume negatif yang kecil, dan kayu bersih tanpa pencemar berada di sekitar $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, suseptibilitas volume tanpa dimensi), yang bersesuaian dengan permeabilitas relatif μ_r sebesar 0,999994 -- tidak dapat dibedakan dari satu, dan bahkan sangat sedikit di bawahnya. Dengan demikian, kayu netral sempurna bukan sekadar nonmagnetik; kayu itu secara lemah dan berulang bersifat diamagnetik, kondisi yang tepat dan diinginkan bagi bahan yang diminta berada dalam medan statis dan kuasistatis tanpa mengganggu.

Penyimpangan dari garis dasar ini hampir seluruhnya merupakan akibat pencemar logam transisi paramagnetik, yang didominasi besi dan disusul jauh oleh mangan. Pohon adalah pompa mineral: ia menarik ion logam dari air tanah dan mengendapkannya secara tidak merata dalam jaringannya. Kandungan besi yang dihasilkan berkisar dari beberapa bagian per juta pada kayu keras perkebunan bersih hingga ratusan bagian per juta pada spesies dengan kimia tanin yang secara aktif mengelat besi. Setiap bagian per juta besi menambahkan kenaikan positif kecil pada suseptibilitas, menarik kayu naik dari lantai diamagnetiknya menuju -- dan, pada spesies terburuk, melintasi -- netralitas magnetik.

Karena itu, kami mendefinisikan kelas netralitas kayu berdasarkan fraksi massa gabungan besi-plus-mangan, dan secara ekuivalen berdasarkan deviasi terukur suseptibilitas volume dari garis dasar diamagnetik:

- 4N (netral 99,99 persen): Fe + Mn $\leq$ 100 ppm. Lazim pada kayu keras furnitur yang tidak diseleksi.
- 5N (netral 99,999 persen): Fe + Mn $\leq$ 10 ppm; suseptibilitas residual dalam $\pm 1 \times 10^{-6}$ dari garis dasar diamagnetik. Spesifikasi pengiriman Equatorial Audio.
- 6N (netral 99,9999 persen): Fe + Mn $\leq$ 1 ppm; suseptibilitas bersih tetap diamagnetik dalam ketidakpastian pengukuran. Dapat dicapai melalui seleksi balok tunggal.
- 7N: Fe + Mn $\leq$ 0.1 ppm. Dilaporkan di sini untuk dua balok jati dari 340 yang disaring. Bukan kelas produksi.

Kami mengakui bahwa persentase tersebut merupakan pinjaman retorik dari konvensi logam, bukan angka komposisi curah; "netral 99,999 persen" menunjukkan 10 ppm pencemar yang penting, bukan 10 ppm bahan bukan-kayu. Kami mempertahankan notasi itu karena pembaca telah bernalar dengannya, dan karena besaran yang mendasarinya -- bagian per juta paramagnetik -- diukur dengan cara yang identik dengan cara pemurni tembaga mengukur pengotor dalam katode.

3. INSTRUMENTASI DAN METODE

Penilaian sebuah balok memerlukan tiga pengukuran magnetik dan kimia yang independen -- pemindaian inklusi ferus, penentuan suseptibilitas curah, dan pengujian logam renik -- ditambah karakterisasi dielektrik untuk pemodelan instalasi.

Pemindaian inklusi ferus. Setiap balok dilewatkan melalui larik gradiometer fluxgate (Bartington Grad-13, tiga sumbu, resolusi 1 nT) pada landasan bermotor dengan kecepatan 20 mm/s. Gradiometer mendeteksi inklusi feromagnetik diskret -- paku tertanam, peluru, geram gergaji pita, pencemar umum pada setiap kayu yang telah melewati mesin industri -- hingga fragmen submilimeter pada kedalaman 30 mm. Kayu reklamasi dan kayu yang diselamatkan secara rutin gagal dalam pemindaian ini; inilah alasan utama Blok Elevasi Ekuatorial digiling dari stok perkebunan yang belum pernah digunakan dan tidak pernah dari kayu reklamasi, betapa pun romantis provenansnya.

Suseptibilitas curah. Inti 12 mm diekstraksi dari setiap balok yang diterima dan diukur dalam magnetometer sampel bergetar (Lake Shore 8600, sensitivitas 5×10^{-8} emu) pada 300 K. VSM menghasilkan suseptibilitas volume bersih, yang langsung menjadi dasar pembacaan kriteria magnetik kelas. Inti jati bersih menghasilkan nilai negatif; inti ek sering menghasilkan nilai positif.

Pengujian logam renik. Inti yang telah diukur kemudian digiling-beku, dicerna dengan gelombang mikro dalam asam nitrat-plus-hidrofluorat, dan dianalisis melalui spektrometri massa plasma terdangand induktif (ICP-MS) untuk Fe, Mn, Ni, Co, dan Cr. Ini adalah protokol dendrokimia yang sama dengan yang digunakan untuk merekonstruksi riwayat polusi dari lingkaran pohon, diterapkan di sini untuk tujuan yang kami akui tidak diantisipasi oleh pencetusnya. Angka Fe + Mn menetapkan kriteria kimia kelas; kriteria magnetik dan kimia harus bersepakat dalam pita kelas, atau balok ditolak sebagai tidak konsisten secara internal -- biasanya menunjukkan inklusi yang terlewat oleh gradiometer.

Karakterisasi dielektrik. Untuk pemodelan instalasi, kami mengukur permitivitas relatif dan tangen rugi pada kupon bermesin menggunakan sel pelat-sejajar berpelindung serta penganalisis impedansi (Keysight E4990A) dari 20 Hz hingga 10 MHz, sepanjang serat dan melintasi serat, yang dikondisikan pada kadar air 8, 12, dan 16 persen. Angka-angka ini tidak masuk ke kelas netralitas -- dielektrik bukan pencemar magnetik -- tetapi mengukur kapasitansi terdistribusi yang dihadirkan penyangga jadi kepada kabel, dan dilaporkan bersama kelas pada sertifikat setiap unit.

4. HASIL: PERBANDINGAN SPESIES

Sebelas spesies disaring, masing-masing sebanyak $n = 20$ balok. Hasilnya terbagi jelas menjadi tiga pita.

Yang gagal. Ek putih (*Quercus alba*) berkinerja paling buruk, dengan besi 41 hingga 190 ppm dan suseptibilitas positif bersih pada 14 dari 20 balok. Penyebabnya diketahui dengan baik oleh siapa pun yang pernah meninggalkan klem baja pada ek lembap semalaman: kandungan tanin tinggi pada ek mengelat besi menjadi besi tanat -- senyawa biru-hitam tinta besi-empedu -- sehingga ek secara aktif memusatkan pencemar yang paling dikenai penalti oleh kelas ini. Ek adalah kayu yang indah dan bermusuhan secara magnetik. Walnut dan ceri menghasilkan kinerja lebih baik, tetapi rata-ratanya tetap 4N atau di bawahnya.

Rumput dan komposit. Bambu, yang sering dipasarkan sebagai "kayu" berkelanjutan, adalah rumput dengan muatan silika berat dan kimia ruas yang tak menentu; suseptibilitasnya didominasi inklusi mineral berskala butir dan tidak dapat diberi kelas stabil. Papan serat berkerapatan sedang (MDF) gagal pada sumbu yang sama sekali berbeda: pengikat urea-formaldehidanya sangat polar, memberinya permitivitas relatif 4 hingga 6 serta tangen rugi satu orde besaran di atas kayu padat, dan proses pembuatannya membuatnya rentan terhadap serbuk logam tertanam. MDF gugur sebagai bahan penyangga atas dasar dielektrik bahkan sebelum kelas magnetiknya dipertimbangkan.

Hasil jati. Jati perkebunan (*Tectona grandis*) yang ditanam dalam jarak 5 deg dari ekuator geomagnetik menghasilkan 3 hingga 9 ppm Fe + Mn pada 20 balok, suseptibilitas diamagnetik bersih pada setiap sampel, dan kelas 5N saat diterima. Melalui seleksi VSM-plus-ICP-MS balok tunggal, 31 dari 340 balok yang disaring memenuhi 6N dan dua memenuhi 7N. Keunggulan jati ekuatorial

tidak bersifat mistis: jati tumbuh cepat di tanah perkebunan terkelola, terlindi, dan rendah besi, dipanen muda sebelum akumulasi mineral kayu teras dalam, serta bebas dari kimia tanin-besi yang merugikan ek. Konstanta dielektriknya sebesar 2,1 pada kadar air 12 persen merupakan yang terendah di antara spesies mana pun yang diuji dan mendekati nilai busa rekayasa yang digunakan dalam perangkat RF.

5. MASALAH LAPISAN AKHIR

Kelas kayu merupakan sifat kayunya, bukan benda yang kemudian dibuat darinya -- dan cara paling lazim untuk menghancurkan kelas yang baik adalah memberi lapisan akhir pada kayu.

Hampir semua lapisan akhir minyak, pernis, dan lak dikeraskan dengan sikatif metalik: garam kobalt, mangan, dan zirkonium dari asam naftenat atau 2-etilheksanoat, yang ditambahkan pada fraksi sekian persen untuk mengatalisis pengikatan silang oksidatif yang mengeraskan film. Kobalt dan mangan sama-sama paramagnetik, dan muatan sikatif sebesar hanya 0,05 persen logam mengendapkan, per meter persegi permukaan berlapis, lebih banyak massa paramagnetik daripada yang dikandung seluruh balok 5N di bawahnya. Kami mengukur kupon jati 5N sebelum dan sesudah satu lapis pelapis konvensional dari minyak biji rami rebus: suseptibilitas beracuan permukaannya naik dari garis dasar diamagnetik menjadi nilai positif bersih, sehingga kupon diklasifikasikan ulang dari 5N menjadi di bawah 4N. Kayunya tidak berubah. Lapisan akhir mengembalikan kontaminasi -- dan menempatkannya tepat di permukaan, bersentuhan langsung dengan kabel, yang merupakan tempat terburuk baginya.

Inilah dasar terukur -- bukan preferensi estetis -- untuk memasok Blok Elevasi Ekuatorial tanpa lapisan akhir. Lapisan akhir akan membatalkan, pada langkah terakhir dan di lokasi yang paling aktif secara magnetik, seluruh proses seleksi yang membuat balok memperoleh kelasnya. Patina abu-abu keperakan yang terbentuk pada jati tanpa lapisan akhir seiring usia adalah oksidasi elemental permukaan kayu sendiri; patina tidak menambahkan logam paramagnetik, sehingga merupakan perubahan secara kosmetik dan bukan perubahan secara magnetik.

6. ANISOTROPI SERAT DAN JALUR BEBAN DIELEKTRIK

Kayu bersifat anisotropik secara dielektrik. Berdasarkan pengukuran pada kupon jati kami, permitivitas relatif sepanjang serat melebihi permitivitas melintasi serat sebesar 22 hingga 28 persen pada kadar air 12 persen, dan tangen rugi mengikuti sumbu yang sama. Penyebab fisiknya adalah struktur sel berbentuk tabung yang terselaraskan dan orientasi dipol air-terikat sepanjang serat. Bagi bahan penyangga, anisotropi ini bukan gangguan yang perlu dirata-ratakan; anisotropi adalah variabel desain.

Kabel bertumpu dalam dudukan yang dikerjakan pada bagian atas setiap blok, sehingga kopling kapasitif dominan antara kabel dan penyangga melewati kolom kayu vertikal pendek tepat di bawah dudukan. Dengan menggiling setiap blok dalam orientasi serat-ujung-vertikal -- lingkaran pertumbuhan terlihat pada sisi atas, serat membentang vertikal sepanjang jalur beban -- kami mengorientasikan sumbu lintas-serat berpermitivitas lebih rendah ke bidang horizontal tempat medan kabel paling kuat, dan menyisihkan sumbu sepanjang-serat berpermitivitas lebih tinggi bagi arah vertikal penanggung beban, tempat sumbu itu tidak menimbulkan bahaya elektrik dan memberi manfaat mekanis yang berarti. Orientasi serat-ujung awalnya diterapkan demi kekakuan tekannya; argumen dielektrik untuk orientasi tersebut muncul setelahnya dari pengukuran ini, dan secara independen mengonfirmasi pilihan itu.

Kadar air mengatur keseluruhan gambaran. Permitivitas dan tangen rugi sama-sama naik tajam bersama air terikat, dan karena itulah setiap balok berkategori dikeringkan dalam tanur sejak asalnya hingga 12 +/- 1 persen serta jadwal pemeliharaan menetapkan pemeriksaan kelembapan tahunan. Penyangga yang telah menyerap air hingga kadar airnya bergeser dari 12 menjadi 18 persen mengubah kontribusi dielektriknya lebih besar daripada yang dapat dihasilkan perbedaan antarspesies mana pun.

7. PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN

Skala kelas-N yang diusulkan di sini sengaja menumpang pada konvensi yang telah dipercaya pembaca. Seorang audiofil yang bersedia membayar angka sembilan keenam pada konduktor tembaga telah menerima premis bahwa kontaminasi paramagnetik residual dan kontaminasi penghambur, yang diukur dalam bagian per juta, layak dikendalikan. Kami tidak melakukan lebih dari menerapkan premis itu, beserta kelas pengukuran yang sama, pada bahan tempat konduktor bertumpu -- dan menemukan bahwa kebiasaan industri memberi logam kelas enam angka sembilan sambil menumpukannya pada kayu keras tak berkategori, mengandung besi, dan aktif-tanin merupakan asimetri yang tidak bertahan setelah diucapkan lantang.

Jati perkebunan ekuatorial mencapai netralitas 5N saat diterima, 6N melalui seleksi, dan melakukannya karena alasan yang sepenuhnya biasa: kondisi pertumbuhan rendah besi, panen muda, tanpa kimia tanin-besi, resin rendah, serta garis dasar diamagnetik yang sama dengan semua kayu bersih. Jati bukan bahan ajaib. Ia bahan bersih, diukur, diberi kelas, dan dibiarkan tanpa lapisan akhir agar tetap demikian. Setiap Blok Elevasi Ekuatorial dikirim dengan kelas baloknya, angka Fe + Mn, serta suseptibilitas sebagaimana diukur yang tercetak pada sertifikat. Kami mengundang pembaca untuk meminta angka setara dari pembuat penyangga audio lain, dan mencatat jawabannya.



REFERENSI

- [1] James, W. L. (1975). Sifat dielektrik kayu dan papan keras: variasi menurut suhu, frekuensi, kadar air, dan orientasi serat. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Sifat dielektrik kayu dan bahan berbasis kayu. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Hubungan kayu-air. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Faktor anatomis, kimiawi, dan ekologis yang memengaruhi penggunaan kayu untuk dendrokimia. *Journal of Environmental Quality*, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Penilaian netralitas magnetik kayu struktural: instrumentasi dan batas kelas. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Pengukuran permitivitas pelat-sejajar berpelindung pada padatan anisotropik dengan rugi rendah. *Journal of Equatorial Audio Science*, 3(1), 12-29.