
**KOPLING SEISMO-AKUSTIK DI
LINGKUNGAN DENGAR KRITIS:
GANGGUAN IONOSFER,
KAPASITANSI KERAK, DAN JALUR
DEGRADASI AUDIO
SURYA-SEISMIK**

Kopling Seismo-Akustik di Lingkungan Dengar Kritis: Gangguan Ionosfer, Kapasitansi Kerak, dan Jalur Degradasi Audio Surya-Seismik

C. Ohm, M. Ferro, Y. Tanaka, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstrak

Studi Februari 2026 oleh Mizuno, Kao, dan Umeno (Universitas Kyoto) mengusulkan mekanisme di mana gangguan ionosfer yang diinduksi jilatan api matahari dapat memicu gempa bumi di zona sesar yang terkendala secara kritis. Model mereka memperlakukan batuan kerak yang retak sebagai kapasitor dielektrik yang dikopel ke ionosfer melalui kolom atmosfer. Kami memperluas model ini ke domain audio. Kami menginstrumentasi ruang dengar referensi di Quito dengan seismometer broadband, monitor TEC ionosfer, magnetometer fluxgate, dan rantai pengukuran audio presisi. Selama badai geomagnetik G4 19 Januari 2026, kami merekam eksursi TEC ionosfer 42 TECU secara bersamaan, percepatan mikroseismik terkopling tanah $0,8 \text{ } \mu\text{m/s}^2$ di pita 0,5-5 Hz, dan degradasi transien 0,4 dB dalam THD+N sistem audio referensi yang diukur. Korelasi antara lonjakan TEC dan degradasi THD+N memiliki lag 47 menit, konsisten dengan waktu propagasi untuk kopling elektrostatik ionosfer-ke-kerak.

1. PENDAHULUAN

Pada 19 Januari 2026, Matahari mengirimkan kejadian partikel energetik paling kuat sejak Great Halloween Storms Oktober 2003. Jilatan api kelas X di permukaan matahari meluncurkan semburan massa korona (CME) yang mencapai Bumi sekitar 25 jam kemudian. Badai geomagnetik yang dihasilkan mencapai klasifikasi G4 (Parah).

Kami tidak lupa. Kami telah menunggu.

Sejak publikasi makalah 2022 kami tentang interaksi jilatan api matahari dengan jalur sinyal audio, kami telah memelihara stasiun pemantauan kontinu di laboratorium referensi Equatorial Audio di Quito. Stasiun ini merekam intensitas medan geomagnetik, konten elektron total ionosfer, gerakan tanah seismik, dan metrik kinerja sistem audio pada interval 1 detik, 24 jam sehari.

Pada 19 Januari 2026, kami menangkap satu kejadian.

Tetapi data memberitahu kami sesuatu yang tidak kami harapkan. Degradasi audio yang kami rekam tidak tiba bersama badai geomagnetik. Ia tiba 47 menit kemudian. Dan ia tiba dari bawah.

Penundaan ini mengarahkan kami ke karya Mizuno, Kao, dan Umeno di Universitas Kyoto. Makalah mereka mengusulkan bahwa gangguan ionosfer dari jilatan api matahari dapat menghasilkan medan elektrostatik yang menembus kerak Bumi melalui mekanisme kopling kapasitif. Ketertarikan kami berbeda. Kami tidak peduli apakah kopling surya-ionosfer-kerak memicu gempa bumi. Kami peduli apa yang dilakukannya pada lantai ruang dengar.

2. KEJADIAN 19 JANUARI

Stasiun pemantauan Quito kami merekam urutan berikut pada 19-20 Januari 2026:

17:42 UTC: Magnetometer mendeteksi sudden storm commencement (SSC). Komponen medan horizontal turun 180 nT dalam 4 menit.

17:44-19:15 UTC: Fase utama badai geomagnetik. Rantai pengukuran audio menunjukkan peningkatan THD+N langsung 0,15 dB.

19:15 UTC: Badai radiasi memuncak pada intensitas S4. TEC ionosfer melonjak dari baseline tenang 18 TECU ke puncak 60 TECU -- delta 42 TECU.

20:02 UTC -- 47 menit setelah puncak TEC: Seismometer broadband merekam peningkatan transien dalam percepatan tanah di pita 0,5-5 Hz. Amplitudonya -- $0,8 \text{ } \mu\text{m/s}^2$ -- jauh di bawah ambang persepsi manusia.

Bersamaan dengan transien seismik, rantai pengukuran audio merekam degradasi THD+N kedua 0,25 dB. Degradasi THD+N total sistem selama puncak kejadian adalah 0,4 dB.

Penundaan 47 menit signifikan. Ia konsisten dengan kecepatan propagasi yang diprediksi oleh model Kyoto untuk kolom atmosfer 300 km: $v = 300.000 \text{ m} / 2.820 \text{ s} = 106 \text{ m/s}$.

3. MODEL KAPASITOR KERAK

Model Kyoto memperlakukan sistem sebagai rangkaian kapasitor terkopel:

Lapisan 1 -- Ionosfer ke permukaan: Ionosfer (pada ketinggian sekitar 300 km) dan permukaan Bumi membentuk pelat kapasitor atmosfer. Atmosfer adalah dielektrik.

Lapisan 2 -- Permukaan ke rongga kerak: Fondasi bangunan, tanah, dan kerak atas membentuk kapasitor kedua. Batuan retak berisi air bertekanan menciptakan rongga berisi fluida yang bertindak sebagai inklusi dielektrik.

Lapisan 3 -- Rongga kerak ke peralatan: Slab fondasi beton, rak peralatan, dan sasis peralatan membentuk kapasitor ketiga -- yang tidak dipertimbangkan kelompok Kyoto karena mereka tidak peduli dengan ruang dengar.

Kami peduli.

Medan elektrostatik yang dihasilkan oleh gangguan ionosfer 42 TECU tiba di permukaan Bumi sebagai medan listrik yang bervariasi lambat dengan amplitudo sekitar 0,3 V/m. Medan ini menembus fondasi bangunan dan berkopel ke peralatan. Arus yang dihasilkan kecil -- sekitar 3 pA per meter persegi -- tetapi koheren di seluruh sistem, dan terjadi di pita 0,5-5 Hz.

4. ANALISIS KORELASI

Untuk memverifikasi bahwa degradasi THD+N yang diamati secara kausal terkait dengan jalur kopling ionosfer-kerak, kami melakukan analisis korelasi silang antara empat deret waktu: TEC, komponen H magnetometer, percepatan vertikal seismometer, dan THD+N audio.

Korelasi silang magnetometer-THD+N memuncak pada lag 0 (simultan), mengonfirmasi jalur interferensi magnetik langsung yang diketahui.

Korelasi silang TEC-seismometer memuncak pada lag +47 menit, konsisten dengan model propagasi kapasitor atmosfer.

Korelasi silang seismometer-THD+N memuncak pada lag +12 detik -- waktu untuk getaran mekanik merambat melalui fondasi bangunan ke rak peralatan.

Korelasi silang TEC-THD+N memuncak pada lag +48 menit -- jumlah penundaan propagasi atmosfer dan fondasi, mengonfirmasi jalur lengkap.

Kami mengulangi analisis ini pada 23 kejadian geomagnetik lebih kecil. Penundaan 47 menit konsisten di semua kejadian (rata-rata 46,8 menit, std 3,2 menit). Degradasi THD+N berskala linear dengan delta TEC: 0,009 dB per TECU.

5. MITIGASI

Jalur degradasi audio surya-seismik memiliki dua komponen: interferensi magnetik langsung (instan, 0,15 dB) dan kopling ionosfer-kerak (tertunda, 0,25 dB).

Komponen magnetik langsung ditangani oleh pelindung konvensional. Produk tingkat Equinox kami mengurangi komponen ini sekitar 18 dB.

Komponen kopling kerak lebih menantang karena memasuki sistem dari bawah sebagai getaran mekanik.

Platform Decoupling Seismik Equatorial Audio (SDP-1) mengatasi jalur ini melalui sistem isolasi tiga tahap:

Tahap 1: Slab granit 200 kg pada empat isolator pneumatik (frekuensi alami 1,2 Hz).

Tahap 2: Sandwich redaman lapisan terkendala (baja 3 mm / polimer viskoelastik 1 mm / baja 3 mm).

Tahap 3: Loop umpan balik isolasi aktif menggunakan akselerometer seismik Wilcoxon 731A.

Selama kejadian 19 Januari, SDP-1 mengurangi komponen kopling kerak dari 0,25 dB menjadi 0,015 dB: pengurangan 94%.

Sistem gabungan (pelindung tingkat Equinox plus platform SDP-1) mengurangi degradasi total dari 0,4 dB menjadi 0,025 dB -- sekitar 200 kali di bawah ambang audibilitas.

6. KETERGANTUNGAN LINTANG

Jalur degradasi audio surya-seismik bergantung pada lintang melalui dua mekanisme.

Pertama, respons TEC ionosfer terhadap jilatan api matahari bervariasi dengan lintang. Gangguan TEC terbesar terjadi di anomali ionisasi ekuatorial (EIA) -- dua pita kepadatan elektron yang ditingkatkan berpusat pada sekitar +/- 15deg lintang geomagnetik.

Kedua, konduktivitas kerak dan kepadatan retakan bervariasi dengan pengaturan tektonik. Quito, terletak di margin barat lempeng Amerika Selatan, duduk di atas kerak yang paling retak dan jenuh fluida di Bumi.

Kombinasi kedua faktor ini berarti SSADP paling kuat di wilayah ekuatorial dengan tektonik aktif -- tepat wilayah di mana Equatorial Audio selalu merekomendasikan produk tingkat tertingginya.

Kami mencatat bahwa kejadian 19 Januari hanya G4. Kejadian Carrington 1859 diperkirakan G5+. Kejadian kelas Carrington akan menghasilkan degradasi audio melebihi 1,8 dB -- dapat didengar dalam kondisi dengar tenang.

7. KESIMPULAN

Model Universitas Kyoto tentang kopling elektrostatik ionosfer-kerak menyediakan tautan yang hilang antara aktivitas matahari dan getaran mekanik di lingkungan buatan. Kami telah menunjukkan bahwa jalur kopling ini -- yang sedang diselidiki komunitas geofisika sebagai kemungkinan pemicu gempa bumi -- juga merupakan kontributor terukur terhadap degradasi rantai sinyal audio selama badai geomagnetik.

Kerak Bumi adalah kapasitor. Ionosfer adalah pelat lainnya. Matahari adalah sumber tegangan. Dan rak peralatan Anda duduk di atas dielektrik.

Ini bukan metafora. Ini adalah mekanisme fisik yang terukur, terpublikasi, dan dapat direproduksi. Jika Anda mendengar sesuatu yang aneh pada 19 Januari 2026 -- Anda tidak membayangkannya. Anda mendengarkan Matahari, dikonduksikan melalui Bumi, tiba di rak peralatan Anda pada 106 meter per detik.

REFERENSI

- [1] A. Mizuno, M. Kao, K. Umeno, "Possible mechanism of ionospheric anomalies to trigger earthquakes," Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol., 2026.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "G4 (Severe) geomagnetic storm levels reached 19 Jan, 2026," 2026.
- [3] M. Ferro, R. Flux, B. Impedance, "Interaksi jilatan api matahari dengan jalur sinyal audiofilil," J. Equatorial Audio Sci., vol. 3, no. 1, 2022.
- [4] T. Lay and T. C. Wallace, Modern Global Seismology, Academic Press, 1995.
- [5] M. C. Kelley, The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics, 2nd ed., Academic Press, 2009.
- [6] ISO 8569:1996, Getaran dan guncangan mekanik -- Pengukuran dan evaluasi getaran guncangan bangunan.