



---

# **OPTIMASI PRAKTIS LINGKUNGAN DENGAR KRITIS: PENEMPATAN PENGERAS SUARA, STABILITAS KOMPONEN, DAN BEBAN PEMELIHARAAN HARIAN**

---

# Optimasi Praktis Lingkungan Dengar Kritis: Penempatan Pengeras Suara, Stabilitas Komponen, dan Beban Pemeliharaan Harian

H. Park, M. Ferro, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

## Abstrak

Ruang dengar referensi bukan sistem statis. Perubahan suhu menggeser kelenturan driver pengeras suara dan nilai komponen crossover. Kelembaban mengubah kecepatan suara dan karakteristik absorpsi perlakuan akustik. Tekanan barometrik memodulasi posisi istirahat diafragma. Getaran dari HVAC, lalu lintas, dan layanan bangunan memperkenalkan kontaminasi frekuensi rendah. Interferensi elektromagnetik dari elektronik rumah tangga mengisi spektrum RF di dalam ruangan. Variabel-variabel ini bergeser terus menerus, dan efek gabungannya pada kualitas audio yang dirasakan dari sistem referensi dapat diukur. Makalah ini menyajikan kerangka praktis untuk mengoptimalkan dan memelihara lingkungan dengar kritis, berdasarkan 3 tahun pemantauan kontinu 4 ruang referensi di lintang berbeda. Beban pemeliharaan yang dihasilkan substansial -- antara 20 dan 45 menit per sesi dengar -- tetapi dapat dikurangi melalui kontrol lingkungan sistematis.

## 1. PENDAHULUAN

Setiap audiofilil tahu bahwa sistem terdengar berbeda dari hari ke hari. Penjelasan umum bersifat psikologis -- suasana hati, kelelahan, harapan. Penjelasan yang kurang umum tetapi lebih akurat bersifat fisik. Lingkungan dengar berubah, peralatan berubah, dan perubahan ini dapat diukur.

Makalah ini adalah panduan praktis. Ia ditujukan untuk siapa saja yang memelihara ruang dengar kritis dan ingin memahami apa yang berubah, berapa banyak, dan apa yang harus dilakukan.

Panduan ini berdasarkan tiga tahun pemantauan kontinu empat ruang dengar referensi: ruang evaluasi utama kami di Quito, Ekuador; fasilitas mitra di Zurich, Swiss; studio mastering di Nashville, Tennessee; dan ruang dengar pribadi di Sapporo, Jepang. Setiap ruang dilengkapi sensor suhu, kelembaban, tekanan barometrik, getaran, dan medan elektromagnetik yang merekam pada interval 1 detik.

## 2. PENEMPATAN PENERAS SUARA

Penempatan pengeras suara di ruang persegi panjang adalah masalah yang terpecahkan dalam akustik. Posisi optimal dapat dihitung dari dimensi ruang. Setelah pengeras suara diposisikan, mereka seharusnya tidak perlu dipindahkan.

Mereka bergerak.

Ekspansi termal lantai menggeser posisi pengeras suara hingga 0,3 mm per derajat Celsius di ruang dengan lantai beton slab, dan hingga 1,2 mm per derajat di ruang dengan lantai kayu gantung. Ayunan suhu musiman 15degC di ruang berlantai kayu menghasilkan perpindahan kumulatif pengeras suara hingga 18 mm.

Kami mengukur efek ini secara langsung menggunakan sensor perpindahan laser. Selama satu tahun kalender di ruang Nashville (lantai kayu), pengeras suara kiri bermigrasi 14,3 mm ke arah dinding belakang. Pengeras suara kanan bermigrasi 11,7 mm. Perbedaan waktu terbang antara saluran kiri dan kanan berubah 17,2 mikrodetik -- setara dengan pergeseran citra stereo sekitar 1,4 derajat.

Koreksi memerlukan pengukuran ulang dan penempatan ulang setidaknya musiman. Ruang Quito, di atas slab beton bertulang dengan variasi suhu musiman 4degC, menunjukkan perpindahan total hanya 0,8 mm selama tiga tahun.

## 3. EFEK SUHU PADA ELEKTRONIK

Koefisien suhu komponen elektronik terdokumentasi dengan baik dalam literatur teknik tetapi jarang dibahas dalam audio.

Jaringan crossover tipikal mengandung kapasitor film polipropilena (koefisien suhu sekitar -200 ppm/degC), induktor inti ferit (koefisien suhu +800 hingga +2000 ppm/degC), dan resistor lilitan kawat (koefisien suhu +20 hingga +50 ppm/degC). Perubahan suhu 10degC menggeser frekuensi crossover 0,2-0,5%.

Kami mengukur ini secara langsung. Sepasang pengeras suara referensi disapu dari 15degC hingga 30degC dalam langkah 1deg. Crossover 3 kHz bergeser dari 2.987 Hz pada 15degC menjadi 3.014 Hz pada 30degC -- pergeseran total 27 Hz (0,9%). Respons frekuensi di posisi dengar berubah hingga 0,8 dB di wilayah crossover.

Untuk amplifier, efek dominan adalah pergeseran titik bias di tahap output. Distorsi harmonik total pada 1 kHz menurun dari

0,0042% menjadi 0,0019% selama 45 menit pertama operasi.

Rekomendasi praktis adalah menyalakan sistem setidaknya 60 menit sebelum mendengarkan kritis. Kami merekomendasikan stabilitas suhu ruang +/- 0,5degC selama sesi dengar.

## **4. KELEMBABAN DAN ABSORPSI AKUSTIK**

Kecepatan suara di udara bergantung pada suhu (diketahui luas) dan kelembaban (kurang diketahui). Pada 20degC dan 50% kelembaban relatif, kecepatan suara adalah 343,8 m/s. Pada 20degC dan 20% RH, adalah 343,4 m/s.

Lebih signifikan adalah efek kelembaban pada absorpsi akustik. Udara menyerap suara secara bergantung frekuensi, dengan koefisien absorpsi meningkat tajam di atas 2 kHz. Di ruang Nashville, RT60 di atas 4 kHz bervariasi dari 0,28 s (musim panas, 65% RH) hingga 0,22 s (musim dingin, 25% RH) -- variasi musiman 21% dalam waktu peluruhan frekuensi tinggi.

Kami merekomendasikan menjaga kelembaban ruang dengar antara 40% dan 55% RH. Di bawah 40%, absorpsi frekuensi tinggi meningkat dan akumulasi muatan statis pada dielektrik kabel menjadi signifikan. Di atas 55%, risiko kondensasi meningkat. Fasilitas Quito, pada ketinggian 2.850 m dalam iklim tropis dataran tinggi, mempertahankan 45-50% RH sepanjang tahun tanpa intervensi mekanik.

## **5. GETARAN DAN ISOLASI MEKANIK**

Setiap komponen dalam sistem audio adalah objek mekanik, dan setiap objek mekanik adalah mikrofon.

Kapasitor bersifat piezoelektrik: tegangan mekanik pada dielektrik menghasilkan tegangan di antara pelat. Laminasi transformer bersifat magnetostriksi: getaran mekanik memodulasi kopling magnetik.

Isolasi komponen mengikuti hierarki sederhana: massa, kemudian kelenturan, kemudian redaman. Kami menguji empat strategi isolasi pada preamplifier 15 kg:

1. Kopling langsung (tanpa isolasi): getaran rantai ditransmisikan ke sasis pada 0 dB.
2. Hemisfer Sorbothane: -6 dB pada 15 Hz, -14 dB pada 30 Hz, -22 dB pada 50 Hz.
3. Platform isolasi pneumatik: -28 dB pada 15 Hz, -38 dB pada 30 Hz, -46 dB pada 50 Hz.
4. Kotak pasir (30 kg pasir kering pada kaki Sorbothane): -18 dB pada 15 Hz, -26 dB pada 30 Hz, -34 dB pada 50 Hz.

Platform pneumatik paling efektif, tetapi juga paling mahal (\$800). Kotak pasir hampir sama efektifnya, biaya \$40, dan tidak memerlukan pemeliharaan.

## **6. INTERFERENSI ELEKTROMAGNETIK**

Lingkungan elektromagnetik di dalam ruang dengar tidak tenang. Ruang residensial tipikal di malam hari mengandung energi RF dari router Wi-Fi, perangkat Bluetooth, telepon genggam, pencahayaan LED, dan catu daya mode-switching.

Kami mengukur kepadatan energi RF di empat ruang referensi. Hasilnya bervariasi secara dramatis: Quito: -88 dBm/m<sup>2</sup> rata-rata. Zurich: -62 dBm/m<sup>2</sup>. Nashville: -58 dBm/m<sup>2</sup>. Sapporo: -54 dBm/m<sup>2</sup>.

Perbedaan 34 dB antara ruang paling tenang dan paling bising substansial. Mitigasi praktis: (1) Gunakan kabel interkoneksi berpelindung. (2) Dayai sistem audio dari sirkuit khusus dengan filter EMI. (3) Singkirkan perangkat elektronik yang tidak perlu dari ruangan. (4) Survei RF berkala bermanfaat.

## **7. PENATAAN DAN PENYUSUNAN KABEL**

Penataan fisik kabel di dalam ruang dengar memengaruhi pickup elektromagnetik dan noise mikrofonik. Kabel sinyal tidak boleh berjalan sejajar dengan kabel daya. Pemisahan 30 cm mengurangi kopling magnetik 10 dB. Kabel sinyal tidak boleh digulung -- kabel tergulung membentuk induktor, dan induktor adalah antena.

Tegangan kabel memengaruhi noise mikrofonik. Kabel di bawah tegangan bertindak sebagai tali bergetar. Obatnya sederhana: sangga kabel pada interval tidak lebih dari 50 cm menggunakan klip lunak.

Ini adalah item pemeliharaan. Pemeriksaan penyusunan kabel sebelum setiap sesi dengar kritis memakan waktu 2-3 menit.

## **8. BEBAN PEMELIHARAAN**

Kami menyusun daftar periksa pemeliharaan dan mengatur waktu prosedur lengkap di masing-masing empat ruang referensi:

1. Pemeriksaan dan stabilisasi suhu: 0-15 menit.

2. Pemeriksaan dan stabilisasi kelembaban: 0-10 menit.
3. Verifikasi posisi pengeras suara: 3-5 menit.
4. Pemanasan komponen: 45-60 menit.
5. Pemeriksaan getaran: 3-5 menit.
6. Inspeksi penyusunan kabel: 2-3 menit.
7. Pemeriksaan lingkungan RF: 2-3 menit.
8. Pemeriksaan dengar cepat: 1 menit.

Total waktu tanpa koreksi: 15-20 menit kerja aktif plus 45-60 menit pemanasan. Total ketika koreksi diperlukan: 30-45 menit.

Selama periode pemantauan tiga tahun, kepatuhan terhadap daftar periksa berkorelasi tinggi dengan stabilitas pengukuran ( $r = 0,91$ ). Ruang Quito, dioperasikan oleh staf terlatih, mempertahankan kepatuhan 94% dan variasi respons frekuensi tidak lebih dari 0,15 dB dalam periode 30 hari mana pun. Ruang Sapporo, instalasi pribadi, mempertahankan kepatuhan 31% dan bervariasi hingga 1,4 dB.

## 9. KESIMPULAN

Lingkungan dengar kritis adalah sistem dinamis yang tunduk pada pergeseran kontinu dalam suhu, kelembaban, getaran, interferensi elektromagnetik, dan posisi komponen fisik. Masing-masing variabel ini menghasilkan efek terukur pada kinerja sistem audio.

Memelihara kondisi kelas referensi memerlukan protokol pemeliharaan reguler. Protokol yang dijelaskan dalam makalah ini memakan 15-45 menit per sesi. Penentu utama beban pemeliharaan adalah stabilitas inheren lingkungan ruang.

Panduannya langsung: kontrol suhu pada  $\pm 0,5\text{degC}$ , pertahankan kelembaban pada 40-55% RH, isolasi komponen dari getaran, lindungi jalur sinyal dari EMI, verifikasi posisi pengeras suara bulanan, dan panaskan elektronik selama 60 menit sebelum mendengarkan. Perbedaan antara ruang referensi yang dipelihara dan yang tidak dapat diukur, diulang, dan -- dalam pengalaman kami -- dapat didengar.

## REFERENSI

- [1] F. A. Everest and K. C. Pohlmann, *Master Handbook of Acoustics*, 6th ed., McGraw-Hill, 2015.
- [2] P. Newell, *Recording Studio Design*, 4th ed., Focal Press, 2017.
- [3] IEC 60268-13:1998, *Peralatan sistem suara -- Bagian 13: Uji dengar pada pengeras suara*.
- [4] H. Park, M. Ferro, C. Ohm, "Kopling feroelektrik pada dielektrik PTFE kelas audio," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [5] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Tentang ketidaklengkapan rekonstruksi Nyquist-Shannon," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 6, no. 1, 2025.
- [6] H. Kuttruff, *Room Acoustics*, 6th ed., CRC Press, 2017.