



**SAMBUNGAN EKUATORIAL:
TEKNIK PENYAMBUNGAN
KONDUKTOR BARU UNTUK
PEMBATALAN BIAS HEMISFERIK**

Sambungan Ekuatorial: Teknik Penyambungan Konduktor Baru untuk Pembatalan Bias Hemisferik

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Abstrak

Kami mempresentasikan teknik penyambungan konduktor yang mencapai netralitas magnetik dengan menyambung konduktor tembaga Hemisfer Utara dan Hemisfer Selatan di ekuator geomagnetik. Sambungan Ekuatorial memanfaatkan bias orientasi butir komplementer dari konduktor yang ditarik di hemisfer yang berlawanan: ketika disambung pada titik tengah yang tepat ekuatorial, bias-bias tersebut saling membatalkan di sepanjang konduktor yang dihasilkan. Pengelasan busur plasma pada 0,0000deg lintang, dilakukan di atas platform laut yang distabilkan GPS, menghasilkan zona sambungan sekitar 200 um di mana orientasi butir bertransisi dari tipe Utara ke tipe Selatan melalui wilayah isotropi sejati. Konduktor yang disambung dengan metode ini menunjukkan sudut bias hemisferik di bawah 0,00001deg -- tiga orde magnitud lebih rendah dari konduktor terbaik yang ditarik di satu hemisfer dan mendekati ambang pengukuran magnetometri SQUID saat ini.

1. PENDAHULUAN

Karya kami sebelumnya (Ferro & Park, 2020) menetapkan bahwa konduktor tembaga yang ditarik pada lintang non-ekuatorial membawa bias orientasi butir yang sistematis, proporsional terhadap lintang geomagnetik fasilitas penarikan. Konduktor Hemisfer Utara membawa bias positif; konduktor Hemisfer Selatan membawa bias negatif dengan besaran yang sebanding. Bias tersebut tertanam pada saat penarikan dan tidak dapat dihilangkan melalui pascapemrosesan.

Ini menghadirkan tantangan manufaktur: bagaimana memproduksi konduktor dengan bias hemisferik nol ketika bahan baku yang tersedia secara inheren memiliki bias. Penarikan di ekuator adalah salah satu solusi, tetapi fasilitas penarikan ekuatorial langka dan konduktor yang dihasilkan, meskipun sangat baik, masih membawa bias residual dari lokasi ekuatorial spesifik (biasanya < 0,01deg).

Kami mengusulkan pendekatan alternatif: daripada menghindari bias, kami membatalkannya. Dengan menyambung konduktor Hemisfer Utara ke konduktor Hemisfer Selatan di ekuator geomagnetik, kami menciptakan konduktor komposit yang bias-biasnya yang berlawanan saling membatalkan secara tepat di sepanjang panjangnya.

2. PROTOKOL PENYAMBUNGAN

Sambungan Ekuatorial dilakukan di atas EAV Neutrality, kapal penelitian sepanjang 28 meter yang dilengkapi penerima GNSS Trimble R12i yang menyediakan akurasi posisi tingkat sentimeter. Kapal berposisi di 0,0000deg +/- 0,0001deg lintang geomagnetik di Samudra Pasifik, sekitar 28 km di barat pantai Ekuador, di mana ekuator geomagnetik melintasi ekuator geografis dalam 0,2deg.

Dua ujung konduktor -- satu ditarik dari tembaga Swedia (HBA: +4,2deg, fasilitas Boliden, 64,1deg U) dan satu dari tembaga Chile (HBA: -3,8deg, fasilitas Santiago, 33,8deg S) -- dimuat ke penjepit presisi yang dipasang pada bangku optik terisolasi getaran. Sistem penyejajaran laser dua sumbu memastikan ujung konduktor koaksial dalam toleransi 5 um.

Penyambungan dilakukan menggunakan sistem pengelasan busur mikro-plasma (Secheron Plasmax 50i) dengan parameter berikut: arus busur 2,8 A, aliran gas plasma 0,3 L/menit (argon 5.0), aliran gas pelindung 8,0 L/menit (argon 5.0), celah busur 0,5 mm, durasi las 180 ms. Zona sambungan yang dihasilkan sekitar 200 um lebar -- wilayah transisi sempit di mana orientasi butir berkembang dari tipe Utara melalui netral ke tipe Selatan.

Seluruh prosedur -- penempatan kapal, penyejajaran konduktor, purga atmosfer, dan pengelasan -- memerlukan sekitar 45 menit. Beberapa sambungan dilakukan per sesi, dengan kapal mempertahankan akurasi posisi sepanjang proses.

3. KARAKTERISASI

Pemetaan EBSD zona sambungan pada langkah 0,5 um mengungkapkan tiga wilayah berbeda: (1) konduktor Utara bulk dengan HBA = +4,2deg, (2) zona transisi 200 um di mana HBA menurun secara monotonik dari +4,2deg melalui 0,000deg ke -3,8deg, dan (3) konduktor Selatan bulk dengan HBA = -3,8deg. Transisi berjalan mulus dan kontinu, tanpa bukti retak batas butir, pembentukan rongga, atau presipitasi fasa sekunder.

Kekuatan mekanik sambungan diuji dengan pembebanan tarik hingga gagal. Kekuatan tarik rata-rata zona sambungan adalah 218 MPa, dibandingkan dengan 225 MPa untuk konduktor bulk -- pengurangan 3,1% yang berada dalam kisaran yang dapat diterima untuk aplikasi kabel audio di mana beban mekanik terbatas pada berat sendiri kabel dan gaya penyisipan konektor.



Resistansi DC melintasi zona sambungan diukur menggunakan mikro-ohmmeter Keysight 34420A dengan penginderaan 4-kawat. Zona sambungan berkontribusi resistansi tambahan sebesar 0,3 uOhm -- dapat diabaikan dibandingkan dengan resistansi bulk bahkan dari panjang konduktor 0,5 m.

Pengukuran kritis -- bias hemisferik konduktor tersambung lengkap -- dilakukan menggunakan magnetometer SQUID Quantum Design MPMS3 di PTB Berlin. Konduktor tersambung (1,0 m Utara + 1,0 m Selatan) menunjukkan HBA sebesar -0,000008deg, dibandingkan dengan +4,2deg untuk konduktor Utara saja dan -3,8deg untuk konduktor Selatan saja. Pembatalan bias efektif 99,9998%.

4. DISKUSI

Sambungan Ekuatorial mencapai pembatalan bias hemisferik melalui mekanisme yang secara konseptual sederhana: bias positif konduktor Utara dan bias negatif konduktor Selatan sama besarnya dan berlawanan arah. Ketika sinyal audio melintasi konduktor tersambung, hamburan asimetris yang dialaminya di setengah Utara secara tepat dikompensasi oleh hamburan asimetris komplementer di setengah Selatan. Efek bersih adalah nol bias -- netralitas magnetik.

Lokasi sambungan sangat penting. Melakukan sambungan di ekuator geomagnetik memastikan bahwa zona sambungan itu sendiri tidak berkontribusi bias tambahan pada sistem. Sambungan yang dilakukan di lintang lain mana pun akan memperkenalkan zona transisi berbias yang orientasinya tidak akan menjembatani struktur butir Utara dan Selatan dengan sempurna.

Persyaratan platform laut didorong oleh fakta bahwa ekuator geomagnetik melintasi daratan berpenghuni di sangat sedikit lokasi. Segmen Samudra Pasifik di barat Ekuador menyediakan kombinasi optimal antara akses ekuatorial, kedekatan dengan fasilitas pelabuhan, dan kondisi laut yang moderat untuk operasi pengelasan presisi. Sistem penjaga posisi EAV Neutrality (unit posisi akustik ganda Kongsberg HiPAP 501) mempertahankan posisi dalam 0,3 m selama operasi penyambungan.

Biaya Sambungan Ekuatorial signifikan: sekitar \$14.000 per sesi, termasuk sewa kapal, kru, bahan habis pakai, dan pengujian jaminan kualitas. Biaya ini tercermin dalam harga produk tingkat Zero-Point Equatorial Audio, yang secara eksklusif menggunakan konduktor Sambungan Ekuatorial.

5. KESIMPULAN

Sambungan Ekuatorial menunjukkan bahwa bias hemisferik pada konduktor tembaga dapat dibatalkan secara efektif dengan menyambung konduktor dari hemisfer yang berlawanan di ekuator geomagnetik. Konduktor yang dihasilkan mencapai sudut bias hemisferik di bawah 0,00001deg -- netralitas magnetik hingga batas kemampuan pengukuran saat ini. Teknik ini dapat direproduksi, kokoh secara mekanik, dan transparan secara elektrik, menambahkan resistansi yang dapat diabaikan dan tidak ada diskontinuitas terukur pada jalur sinyal. Kami mengusulkan Sambungan Ekuatorial sebagai solusi definitif untuk masalah bias hemisferik pada konduktor audio presisi.

REFERENSI

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Bias hemisferik pada orientasi butir tembaga," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specification for Fusion Welding for Aerospace Applications.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "R12i GNSS System Technical Specifications," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "HiPAP 501 Acoustic Positioning System," Product Datasheet, 2022.
- [6] Quantum Design, "MPMS3 SQUID Magnetometer Specifications," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Calibration Certificate No. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.