Investigasi Pengaruh Dinamika Atmosfer terhadap Akurasi Astrometri Optis dan Radio Berdasarkan Pengamatan GNSS

Riset Unggulan ITB Tahun 2026

Brian Bramanto[1], Nabila S.E. Putri[1], dan Taufiq Hidayat[2]

[1] Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian

[2] Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Abstrak

Akurasi pengamatan astrometri optis dan radio dipengaruhi oleh dinamika atmosfer, khususnya variasi kandungan uap air troposfer dan elektron ionosfer. Penelitian ini menginvestigasi karakteristik atmosfer berbasis pengamatan Global Navigation Satellite System (GNSS) dengan mempertimbangkan ketersediaan dan kontinuitas data sebagai faktor penting dalam keandalan estimasi parameter atmosfer. Analisis dilakukan terhadap deret waktu GNSS di kawasan Observatorium Bosscha (CLBG) dan jaringan GNSS regional melalui evaluasi kontinuitas data, estimasi Zenith Wet Delay (ZWD), serta karakterisasi Vertical Total Electron Content (VTEC). Hasil menunjukkan variasi ZWD yang dipengaruhi dinamika musiman, dengan penurunan relatif signifikan pada pertengahan tahun 2022. Sementara itu, VTEC periode 2020 dan 2025 memperlihatkan pola diurnal yang konsisten, dengan nilai maksimum terjadi sekitar pukul 14.00–15.00 waktu lokal.. Hasil penelitian memberikan dasar bagi pengembangan koreksi atmosfer dan evaluasi potensi pengaruh dinamika troposfer serta ionosfer terhadap akurasi astrometri optis dan radio.

Kata kunci: GNSS, Troposfer, Ionosfer, Deret waktu, dan Astrometri

Data dan Metode

Penelitian memanfaatkan data pengamatan GNSS kontinu dari stasiun CLBG di kawasan Observatorium Bosscha dan jaringan GNSS regional. Metodologi mencakup tiga tahapan utama:

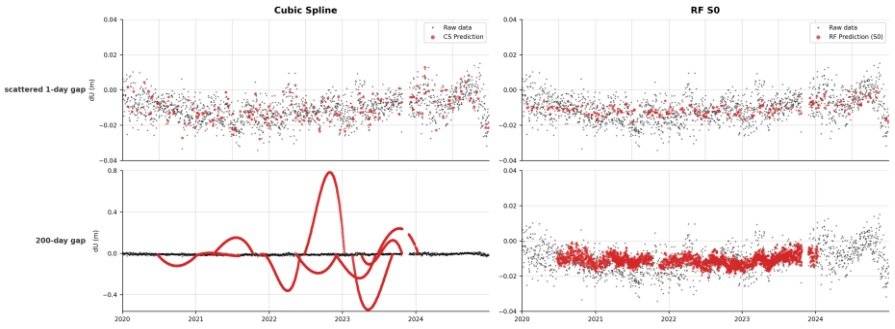
1. Evaluasi kontinuitas GNSS: Identifikasi kesenjangan data (data gaps) dan evaluasi pendekatan gap filling untuk meningkatkan kelengkapan deret waktu pengamatan.
2. Karakterisasi troposfer: Analisis deret waktu Zenith Wet Delay (ZWD) tahun 2022 dan identifikasi variabilitas temporal menggunakan Continuous Wavelet Transform (CWT) sebagai dasar kajian dinamika uap air atmosfer.
3. Karakterisasi ionosfer: Analisis Vertical Total Electron Content (VTEC) periode 2020 dan 2026 berdasarkan median diurnal, serta pengelompokan berdasarkan periode ekuinoks dan solstis.

Hasil ketiga tahapan digunakan untuk mengevaluasi karakteristik dinamika atmosfer dan relevansinya terhadap propagasi sinyal elektromagnetik pada pengamatan astrometri.

Hasil Penelitian

Ketersediaan dan Kontinuitas Data GNSS (Gap Filling)

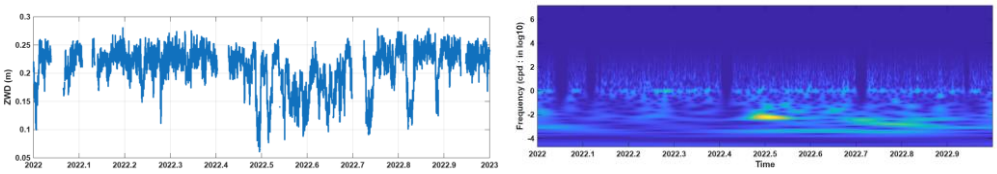
Evaluasi kontinuitas deret waktu GNSS dilakukan menggunakan pendekatan Random Forest untuk mengisi kekosongan data. Metode ini mampu merekonstruksi data posisi GNSS dengan ketelitian hingga milimeter, sehingga mendukung ketersediaan dan konsistensi data untuk analisis geodetik serta pemantauan atmosfer secara berkelanjutan.



Gambar 1. Perbandingan metode *gap filling* konvensional (kiri; *Cubic Spline*) dengan *Machine Learning* (kanan; *Random Forest*)

Dinamika Troposfer Berdasarkan ZWD

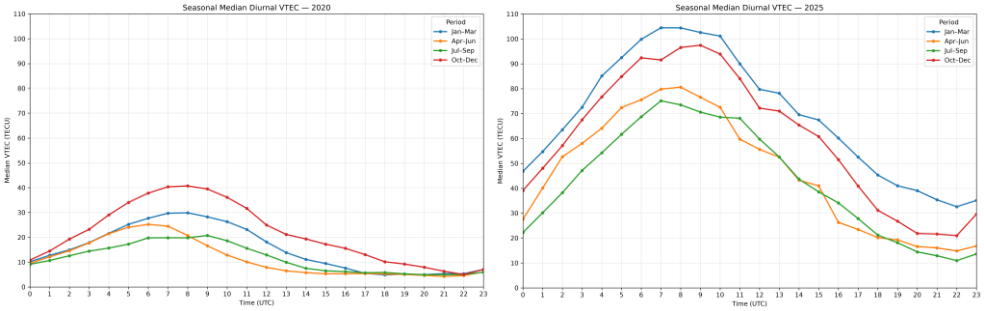
Hasil pengamatan GNSS di stasiun CLBG, kawasan Observatorium Bosscha, menunjukkan variasi *Zenith Wet Delay* (ZWD) sekitar 0,06–0,28 m sepanjang tahun 2022. Analisis *Continuous Wavelet Transform* (CWT) mengidentifikasi variabilitas temporal yang tidak stasioner, dengan penurunan ZWD yang signifikan terjadi pada pertengahan tahun, mengindikasikan perubahan musiman kandungan uap air troposfer.



Gambar 2. Deret waktu ZWD (kiri) dan analisis *Continous Wavelet Transform* (CWT: kanan)

Dinamika Ionosfer Berdasarkan TEC

Analisis *Vertical Total Electron Content* (VTEC) dilakukan pada periode 2020 dan 2025 yang merepresentasikan aktivitas solar minimum dan maksimum. Deret waktu menunjukkan variasi diurnal dan musiman yang jelas, dengan nilai maksimum terjadi sekitar pukul 07.00-08.00 UTC (14.00–15.00 waktu local), dengan puncak tertinggi sekitar 40 TECU pada tahun 2020 dan 105 TECU pada tahun 2025. Variasi ini menunjukkan perubahan kondisi ionosfer yang relevan terhadap propagasi sinyal dan akurasi astrometri radio.



Gambar 3. Variasi diurnal dari TEC pada musim yang berbeda untuk tahun 2020 (kiri) dan 2025 (kanan)

Luaran Penelitian

1. Budiawati, O.M., **Bramanto, B.**, Wijaya, D.D; **Putri, N.S.E**; **Hidayat, T**. Random forest interpolation framework for the Ina-CORS network: gap–length sensitivity, external variable contributions, and station-level diagnostics for deformation monitoring. Earth Sci Inform 19, 221 (2026). https://doi.org/10.1007/s12145-026-02271-y (**Q1 Journal; SJR 0.761; IF 4.2**)
2. Sufyan, A.H.; Maulana, R.; Muhajir, A.; Fitri, W.; **Bramanto, B.**; **Putri, N.S.E**. Comparative Analysis of GNSS Precise Point Positioning Configuration for Precipitable Water Vapor Estimation. 2026. Dipresentasikan di 2nd ICSSTI, ITB.
3. Maulana, R.; Sufyan, A.H. Muhajir, A.; Fitri, W.; **Putri, N.S.E**; **Bramanto, B**. Monitoring the Dynamics of the Ionospheric Parameter at Bosscha Observatory Using GNSS Observations During High and Low Solar Activity. 2026. Dipresentasikan di 2nd ICSSTI, ITB.