

Analisis Forensik Metadata Lokasi Android Dengan Autopsy Dan Evaluasi Akurasi Haversine

Nuurun Najmi Qonita¹, Divana Taricha Salmalina², Danita Divka Sajmira³, Hery Mustofa⁴

^{1,2,3,4} Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

Email: 12208096032@student.walisongo.ac.id, ⁴herymustofa@walisongo.ac.id

Abstrak

Di balik setiap foto yang diambil dengan ponsel Android tersembunyi jejak digital yang tak kasat mata yaitu metadata lokasi. Informasi ini bukan sekadar angka koordinat, melainkan kunci penting dalam menelusuri perjalanan seseorang dalam investigasi forensik digital. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metadata lokasi dari citra Android menggunakan perangkat lunak forensik *open-source* Autopsy, serta mengevaluasi akurasi data lokasi tersebut dengan rumus Haversine. Metode yang digunakan meliputi ekstraksi metadata EXIF dari file gambar, pengumpulan koordinat lokasi sebenarnya sebagai *ground truth*, dan penghitungan jarak kesalahan posisi. Hasil menunjukkan bahwa Autopsy mampu mengidentifikasi metadata lokasi dengan rata-rata tingkat akurasi sebesar 0.30 meter, yang menjadikannya alat yang dapat diandalkan dalam mendukung proses investigasi forensik digital.

Kata kunci: *Forensik Digital, Metadata Lokasi, Android, EXIF, Autopsy*

FORENSIC ANALYSIS OF ANDROID LOCATION METADATA USING AUTOPSY AND HAVERSINE ACCURACY EVALUATION

Abstract

Behind every photo taken with an Android phone lies an invisible digital trace, location metadata. This information is more than just a set of coordinates; it can serve as a crucial key in uncovering an individual's movements during a digital forensic investigation. This study aims to analyze the location metadata embedded in Android images using the open-source forensic tool Autopsy, and to evaluate the accuracy of the retrieved location data using the Haversine formula. The methodology involves extracting EXIF metadata from image files, collecting the actual location coordinates as ground truth, and calculating the positional error distance. The results show that Autopsy is capable of identifying location metadata with an average accuracy of 0.30 meters, making it a reliable tool to support digital forensic investigations.

Keywords: *Digital Forensics, Location Metadata, Android, EXIF, Autopsy*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi bergerak dan perangkat *mobile*, khususnya *smartphone* berbasis Android, telah memberikan dampak signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk di bidang forensik digital. Perangkat ini tidak hanya mempermudah aktivitas harian, tetapi juga menghasilkan jejak digital yang kaya informasi. Salah satu fitur penting adalah kemampuan merekam data lokasi secara otomatis melalui teknologi *Global Positioning System* (GPS), yang disimpan dalam metadata gambar menggunakan standar *Exchangeable Image File Format* (EXIF) (Jaya, Salim and Rachman, 2025). Metadata forensik menjadi elemen penting dalam proses investigasi digital karena mengandung informasi seperti koordinat geografis, waktu pengambilan gambar, pengaturan kamera, dan detail perangkat. Informasi

ini berpotensi besar untuk digunakan dalam pelacakan lokasi kejadian, validasi waktu, dan analisis kronologis insiden.

Metadata adalah informasi terstruktur yang mendeskripsikan, menjelaskan, menempatkan, atau setidaknya membuat informasi mudah ditemukan, digunakan, atau dikelola kembali (Andria and Saifulloh, 2022). Dalam konteks penyelidikan forensik, pengumpulan dan analisis metadata lokasi dapat membantu penegak hukum mengungkap fakta-fakta terkait sebuah kejadian kriminal atau insiden digital. Namun, tidak semua gambar secara langsung menyimpan data GPS yang akurat, dan sering kali investigasi harus dilakukan tanpa akses GPS langsung, sehingga penting untuk memanfaatkan metadata yang ada dengan metode yang tepat. Autopsy, sebuah perangkat lunak *open-source* untuk analisis forensik digital, menyediakan fitur untuk

mengekstrak metadata EXIF dari file gambar, termasuk informasi lokasi.

Autopsy, sebagai perangkat lunak *open-source* untuk analisis forensik digital, memiliki kemampuan untuk mengekstrak metadata EXIF dari file gambar, termasuk informasi lokasi. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap metadata lokasi pada citra Android menggunakan Autopsy, serta evaluasi keakuratannya melalui rumus Haversine. Rumus ini digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik di permukaan bumi berdasarkan lintang dan bujur (Dwi Rifka Kurniawan, Mahmudi and Zulfia Zahro', 2023), sehingga memungkinkan penyidik menilai kedekatan fisik antar koordinat lokasi.

Penelitian serupa dengan menerapkan metode tersebut juga pernah dilakukan oleh (Arrohman et al., 2025), dalam penelitiannya mengenai aplikasi Android berbasis *Location-Based Service* (LBS) di Kota Pagar Alam, menunjukkan bahwa perhitungan jarak menggunakan rumus Haversine memiliki selisih yang sangat kecil dengan hasil dari Google Maps API, yakni hanya 0,58%, membuktikan bahwa metode ini efektif dalam menghitung jarak terpendek berdasarkan koordinat geografis. (Sari, Suendri and Putri, 2023) menerapkan Haversine untuk pemetaan lokasi rawan kriminalitas dan kecelakaan di Kota Medan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem dapat mendukung keputusan masyarakat dan aparat dalam mengambil tindakan preventif secara lebih efisien. Selanjutnya, (Aini et al., 2024) dalam penelitiannya yang berjudul "Implementasi Algoritma Haversine Untuk Perhitungan Jarak Antara Lokasi Perusahaan Dengan Karyawan Pada PT Mega Giga Solusindo" berhasil mengimplementasikan Haversine untuk memastikan keakuratan perhitungan jarak berdasarkan koordinat geografis, dan meningkatkan efisiensi pencatatan kehadiran karyawan.

Hingga kini, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengeksplorasi metadata lokasi gambar Android dengan pendekatan forensik digital. (Daraghmi and Hamoudi, 2024) pada penelitiannya yang berjudul "*Mobile Forensics: Extracting Geo-Location Data from Photos on Android Smartphones*" menjelaskan metode ekstraksi data lokasi secara manual dari foto Android dengan detail, namun belum melakukan evaluasi ketepatan jarak antar koordinat menggunakan metode perhitungan seperti rumus Haversine analisis komparatif menggunakan *tools* forensik seperti Autopsy. Di sisi lain, penelitian oleh (Mani et al., 2022) yang berjudul "*A Survey on Digital Image Forensics: Metadata and Image Forgeries*" mengulas teknik forensik metadata secara luas tetapi tidak melakukan analisis spesifik pada lokasi Android atau integrasi *tools* seperti Autopsy.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana metadata lokasi dapat dipercaya sebagai sumber informasi dalam forensik digital. Pendekatan evaluasi akurasi menggunakan rumus Haversine menjadi sangat penting untuk

memperkuat metode investigasi berbasis metadata gambar, terutama ketika data GPS asli tidak tersedia secara langsung. Dengan mengetahui tingkat keakuratan data lokasi tersebut, penyidik dapat lebih yakin dalam menggunakan metadata sebagai bukti digital yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan dalam proses investigasi.

2. METODOLOGI

2.1. Autopsy

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Autopsy versi terbaru sebagai alat utama untuk ekstraksi metadata EXIF dari gambar yang diambil menggunakan perangkat Android. Autopsy merupakan aplikasi yang dapat mengetahui informasi tersembunyi dari suatu *file*, seperti waktu pembuatan, pengubahan, pengaksesan, dan penghapusan file (Yuliana, Yuniati and Parga Zen, 2023). Autopsy dipilih karena memiliki antarmuka grafis berbasis GUI yang ramah pengguna serta mendukung berbagai modul analisis, termasuk modul untuk ekstraksi metadata gambar. Aplikasi ini mampu menampilkan informasi koordinat GPS, timestamp, dan atribut teknis kamera secara terstruktur dari file gambar. Selain itu, Autopsy mendukung penelusuran file sistem, timeline analisis, serta pencarian berbasis *keyword*, yang membuatnya sangat berguna dalam proses investigasi forensik. Autopsy menawarkan fleksibilitas berkat sifatnya yang *open-source* dan dapat disesuaikan, namun untuk memanfaatkannya secara maksimal dibutuhkan tingkat pengetahuan yang cukup tinggi (Agboola, Osamor and Olajide, 2024). Untuk pengolahan data dan perhitungan akurasi jarak antar koordinat, digunakan Microsoft Excel dan Python.

2.2. Citra Digital

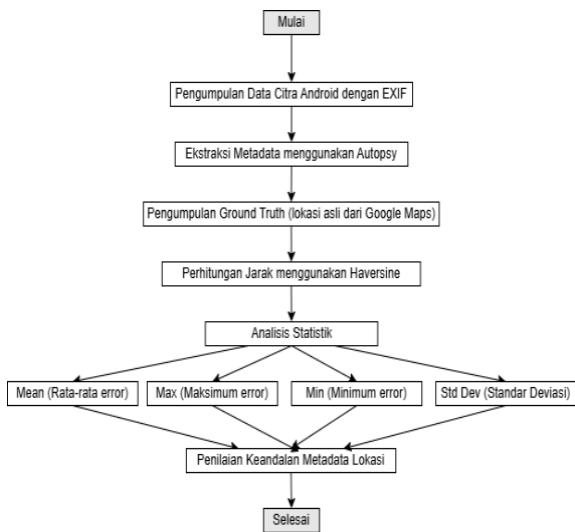
Dataset utama dalam penelitian ini berupa kumpulan citra digital (gambar) yang diambil menggunakan perangkat Android yang telah mengaktifkan fitur lokasi/GPS. Proses pengambilan gambar dilakukan secara langsung di beberapa lokasi berbeda untuk memastikan variasi koordinat dan akurasi metadata. Setiap citra digital mengandung metadata EXIF yang tercatat otomatis oleh sistem operasi Android dan perangkat keras kamera. Metadata ini mencakup informasi koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*), serta data terkait seperti waktu pengambilan gambar dan model perangkat. Untuk keperluan validasi, lokasi pengambilan gambar juga dicatat secara manual menggunakan Google Maps sebagai ground truth, yaitu data acuan yang diasumsikan paling akurat dalam pengukuran jarak sebenarnya.

Dataset ini berfungsi sebagai basis analisis perbandingan antara data koordinat yang terekam otomatis (melalui EXIF) dan data sebenarnya (melalui pengamatan manual). Pendekatan ini memungkinkan evaluasi terhadap keakuratan metadata lokasi dalam konteks penerapannya pada

forensik digital, terutama dalam proses pembuktian posisi geografis suatu kejadian.

2.3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tahapan sistematis untuk menganalisis metadata lokasi pada citra digital dari perangkat Android.



Gambar 1. Alur Penelitian

Tahapan penelitian disajikan pada gambar 1 meliputi pengumpulan data, ekstraksi metadata, verifikasi lokasi aktual (*ground truth*) dengan pengumpulan lokasi asli setiap citra dari Google Maps, evaluasi akurasi dengan perhitungan jarak menggunakan rumus Haversine, serta analisis data statistik. Setiap tahap dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa file gambar (citra digital), yang diambil menggunakan kamera ponsel Android. Gambar-gambar tersebut dipastikan mengandung informasi metadata lokasi (koordinat GPS: *latitude* dan *longitude*) dalam format *Exchangeable Image File Format* (EXIF). Sumber data diambil dari berbagai lokasi dan waktu untuk memastikan keberagaman kondisi pengambilan gambar.

2. Ekstraksi Metadata

Metadata adalah informasi tambahan yang melacak dan mendeskripsikan data tertentu (Azhiman, Dasmen and Apriyanto, 2023). Proses ekstraksi metadata dilakukan menggunakan perangkat lunak forensik digital open-source Autopsy, yang mendukung analisis terhadap struktur file sistem perangkat Android. Setiap gambar dianalisis menggunakan modul *File Metadata Extractor* dalam Autopsy untuk mendapatkan informasi geolokasi, termasuk nilai GPSLatitude, GPSLatitudeRef, GPSLongitude, dan GPSLongitudeRef.

3. Pengumpulan *Ground Truth*

Untuk memperoleh pembanding yang valid, lokasi aktual pengambilan gambar dicatat secara manual melalui aplikasi Google Maps pada saat pengambilan gambar atau direkonstruksi dengan presisi berdasarkan konteks lokasi. Data ini menjadi referensi utama (*ground truth*) untuk evaluasi akurasi hasil ekstraksi metadata.

4. Perhitungan Jarak menggunakan Haversine
Evaluasi dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil ekstraksi metadata dengan data *ground truth* menggunakan rumus Haversine (1).

$$d = 2r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

d : Jarak antara dua titik (dalam meter),

r : Jari-jari bumi (6.371.000 meter),

ϕ_1, ϕ_2 : *Latitude* titik pertama dan kedua dalam radian,

$\Delta\phi$: Selisih *latitude*,

$\Delta\lambda$: Selisih *longitude*.

Rumus (1) digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik di permukaan bumi berdasarkan lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*), dan hasil perhitungannya dinyatakan dalam satuan meter. Perhitungan ini penting untuk mengetahui seberapa besar deviasi atau error dari lokasi yang terekam dalam metadata EXIF dibandingkan dengan lokasi sebenarnya.

5. Analisis Data

Hasil perhitungan jarak (selisih) antara data EXIF dan *ground truth* dianalisis secara statistik untuk mengukur tingkat akurasi metadata lokasi. Parameter statistik yang dihitung meliputi:

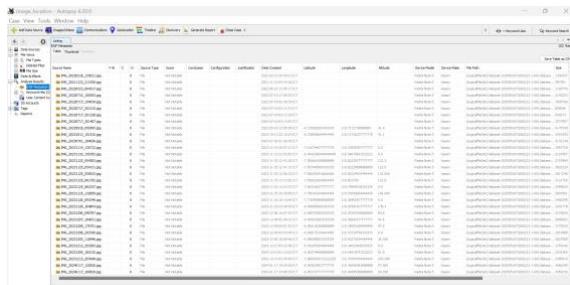
- Rata-rata (*mean*): untuk mengetahui tingkat *error* secara umum.
- Nilai maksimum (*max error*): untuk mengetahui batas terjauh dari ketidakakuratan.
- Standar deviasi (*standard deviation*): untuk melihat konsistensi penyimpangan.

Metode ini memungkinkan peneliti menilai keandalan metadata lokasi sebagai sumber informasi dalam investigasi forensik digital dan memberikan dasar untuk pengambilan keputusan berdasarkan bukti lokasi digital.

3. PEMBAHASAN

3.1. Ekstraksi Metadata Lokasi dari Citra Android menggunakan Autopsy

Pada tahap ini, dilakukan ekstraksi metadata EXIF dari 100 file gambar yang diambil menggunakan perangkat Android menggunakan Autopsy, disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Ekstraksi Metadata Lokasi menggunakan Autopsy

Metadata yang berhasil diambil meliputi informasi koordinat GPS berupa latitude dan longitude. Autopsy mampu menampilkan data EXIF dengan baik, meskipun terdapat beberapa file yang metadata lokasinya kosong atau tidak lengkap.

3.2. Perhitungan Akurasi Lokasi dengan Formula Haversine

Selanjutnya, koordinat yang diperoleh dari metadata EXIF dibandingkan dengan data *ground truth* (koordinat asli) yang didapat dari Google Maps atau catatan lapangan. Untuk mengukur akurasi lokasi, digunakan rumus haversine yang menghitung jarak lintasan melengkung antar dua titik koordinat di permukaan bumi. Perhitungan dilakukan dengan dua metode: menggunakan rumus trigonometri di Microsoft Excel dan divalidasi menggunakan *library Python haversine*. Radius bumi yang digunakan adalah 6.371 kilometer (6.371.000 meter).

Tabel 1. Statistik Evaluasi Akurasi Metadata Lokasi Menggunakan Rumus Haversine

Statistik	Nilai (meter)
Rata-rata error	0.30
Maksimum error	0.98
Minimum error	0.00
Standar Deviasi	0.28

Tabel 1 menyajikan hasil analisis statistik terhadap selisih jarak antara koordinat hasil ekstraksi metadata EXIF dan koordinat *ground truth* pada citra Android. Hasil perhitungan jarak error (dalam meter) dari 100 sampel menunjukkan rata-rata error sebesar 0.30 meter dengan standar deviasi 0.28 meter, yang menunjukkan tingkat akurasi cukup baik untuk aplikasi forensik.

Tabel 2. Analisis Statistik Komprehensif

Statistik	Nilai (meter)
Mean Absolute Error (MAE)	0.304
Root Mean Square Error (RMSE)	0.416
Confidence Interval 95%	0.246 – 0.362
Shapiro-Wilk Test p-value	0.0

Tabel 2 menyajikan hasil analisis statistik komprehensif terhadap error atau selisih antara lokasi yang tercatat pada metadata gambar dengan lokasi sebenarnya. Nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0.304 meter menunjukkan rata-rata kesalahan lokasi dalam satuan meter, sementara *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0.416 meter

mengindikasikan adanya deviasi yang sedikit lebih besar akibat penalti terhadap error yang ekstrem. *Confidence Interval* 95% berkisar antara 0.246 hingga 0.362 meter, yang memberikan estimasi rentang error yang dapat dipercaya dengan tingkat *confidence* tinggi. Selain itu, hasil uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk menghasilkan p-value sebesar 0.0, yang mengindikasikan bahwa distribusi error secara statistik tidak mengikuti distribusi normal secara signifikan.

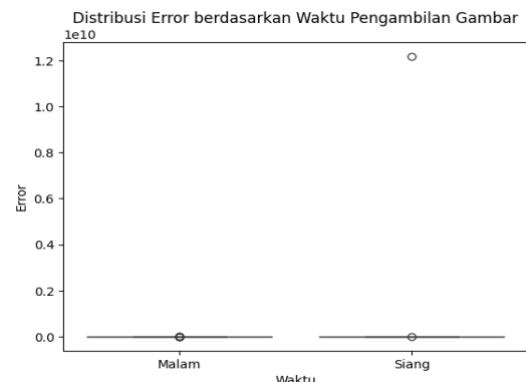
3.3. Analisis Kesalahan dan Faktor Penyebab

Berdasarkan hasil evaluasi, ditemukan beberapa nilai error yang cukup besar antara koordinat metadata EXIF dan *ground truth*. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor teknis.

1. Perbedaan format koordinat antara data EXIF dan data pembanding berpotensi menimbulkan kesalahan jika tidak dikonversi secara konsisten ke format desimal.
2. Input manual titik lokasi pada Google Maps sebagai data *ground truth* yang berisiko mengalami kesalahan, terutama dalam memilih posisi yang presisi.
3. Metadata GPS dapat hilang akibat proses *upload* maupun *download* melalui media sosial, aplikasi pesan, atau layanan cloud yang secara otomatis menghapus data EXIF untuk alasan privasi atau penghematan ruang. Selain itu, proses pengeditan foto juga bisa menyebabkan metadata lokasi terhapus atau berubah.

Faktor perangkat keras dan perangkat lunak juga turut mempengaruhi akurasi metadata. Keragaman spesifikasi perangkat Android, kualitas modul GPS, serta versi sistem operasi yang digunakan dapat berkontribusi terhadap deviasi posisi. Misalnya, perangkat dengan sistem GPS yang kurang sensitif atau berada dalam kondisi lingkungan yang kurang mendukung (seperti dalam ruangan atau area dengan sinyal GPS lemah) cenderung menghasilkan koordinat dengan error yang lebih tinggi. Visualisasi dalam Gambar 4 dan Gambar 5 digunakan untuk mengamati pola distribusi kesalahan tersebut.

3.4. Analisis Korelasi dengan Faktor Waktu Pengambilan Gambar



Gambar 3. Box Plot Distribusi Error Berdasarkan Waktu Pengambilan Gambar

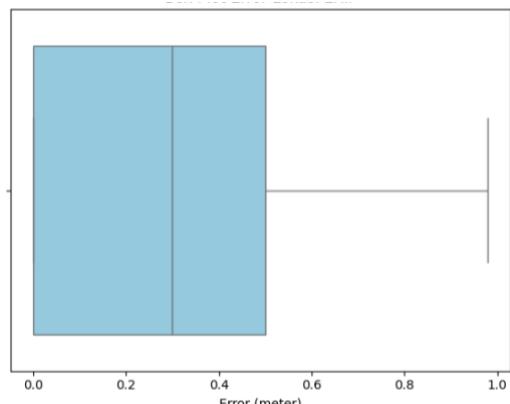
Untuk mengetahui apakah waktu pengambilan gambar (siang atau malam) mempengaruhi akurasi deteksi lokasi, dilakukan analisis distribusi error berdasarkan dua kategori waktu tersebut. Gambar 3 memperlihatkan box plot yang menunjukkan sebaran nilai error saat pengambilan gambar pada waktu siang dan malam. Terlihat bahwa error saat siang hari memiliki rentang nilai yang sangat lebar, bahkan terdapat outlier ekstrim yang menunjukkan error hingga lebih dari $1,2 \times 10^{10}$ meter. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi pencahayaan yang terlalu terang, sehingga memengaruhi proses deteksi lokasi dari metadata gambar. Untuk memperkuat analisis ini, statistik deskriptif disajikan sebagai berikut:

Tabel 3. Rata-rata dan Penyebaran Error Lokasi Berdasarkan Waktu Pengambilan Gambar dalam Metadata Foto

Waktu	Jumlah Data	Nilai (meter)	Standar Deviasi
Malam	68	148,23	733,57
Siang	32	380.623.735,46	2.153.133.118,87

Dari tabel 3 tersebut terlihat bahwa rata-rata error pada siang hari jauh lebih tinggi, tetapi nilai tersebut sangat dipengaruhi oleh outlier. Namun, hasil uji-T independen menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata antara siang dan malam tidak signifikan secara statistik, dengan nilai $p = 0,325$ (lebih besar dari 0,05). Artinya, secara statistik, tidak ada perbedaan signifikan antara waktu pengambilan gambar terhadap besarnya error lokasi. Meskipun begitu, hasil ini menunjukkan perlunya analisis lebih lanjut terhadap data ekstrem (outlier), karena dapat mempengaruhi interpretasi dan keputusan berbasis data.

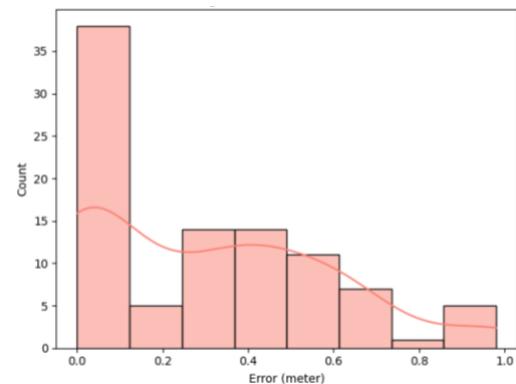
Meskipun secara visual terdapat perbedaan distribusi, secara statistik tidak ditemukan perbedaan signifikan antara waktu pengambilan gambar terhadap error lokasi. Namun, perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan mempertimbangkan pengaruh outlier terhadap analisis.



Gambar 4. Box Plot Error Lokasi EXIF

Gambar 4 menyajikan box plot yang menggambarkan distribusi error antara koordinat lokasi dari metadata EXIF dan data *ground truth*.

Nilai median error berada di sekitar 0,30 meter, menunjukkan bahwa setengah dari data memiliki error kurang dari nilai tersebut. Rentang interkuartil (IQR) berkisar antara 0,1 hingga 0,5 meter, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar data error terkonsentrasi dalam rentang rendah hingga sedang. Whisker kanan memanjang hingga mendekati 1 meter, menandakan terdapat beberapa data dengan error yang relatif tinggi namun masih dalam batas wajar. Tidak terdapat outlier ekstrem, sehingga dapat disimpulkan bahwa mayoritas data memiliki presisi lokasi yang cukup baik dan konsisten berdasarkan informasi dari metadata EXIF. Visualisasi ini menunjukkan bahwa mayoritas metadata lokasi EXIF memiliki tingkat presisi yang cukup tinggi.



Gambar 5. Histogram Distribusi Error Lokasi

Gambar 5 menunjukkan histogram distribusi error lokasi dari metadata EXIF. Terlihat bahwa sebagian besar data memiliki error yang sangat kecil, terutama di bawah 0,1 meter. Distribusi grafik ini condong keu kanan (*right-skewed*), artinya data dengan error kecil jauh lebih banyak dibandingkan dengan data yang memiliki error besar. Garis merah halus (kurva KDE) memperlihatkan penurunan jumlah data secara bertahap seiring meningkatnya nilai error. Hasil ini memperkuat bahwa metadata EXIF umumnya cukup akurat, sehingga dapat menjadi sumber informasi yang dapat dipercaya dalam konteks investigasi forensik digital.

3.5. Implikasi Forensik Digital

Hasil dari penelitian ini memberikan indikasi kuat bahwa metadata lokasi EXIF yang diperoleh dari citra perangkat Android dapat digunakan sebagai elemen penting dalam investigasi forensik digital. Informasi koordinat geografis yang terekam secara otomatis oleh perangkat, apabila masih utuh dan belum dimodifikasi, berpotensi menjadi bukti digital yang sah dalam berbagai konteks investigatif. Contohnya meliputi pelacakan aktivitas pelaku, penguatan alibi, hingga analisis pola pergerakan korban.



Gambar 6. Visualisasi Sebaran Koordinat EXIF dan Ground Truth

Gambar 6 menunjukkan visualisasi sebaran koordinat geografis dari metadata lokasi EXIF dan Ground Truth pada peta wilayah Pulau Jawa. Titik-titik berwarna merah menunjukkan koordinat yang diekstraksi dari metadata EXIF gambar, sedangkan titik-titik hijau menunjukkan koordinat Ground Truth sebagai acuan lokasi sebenarnya. Visualisasi ini memberikan gambaran spasial mengenai seberapa dekat atau jauh nilai lokasi EXIF terhadap lokasi sebenarnya.

Visualisasi ini mempermudah proses analisis perbandingan antara posisi yang tercatat dalam metadata EXIF dengan posisi sebenarnya. Jarak atau penyimpangan antar titik dapat mencerminkan tingkat akurasi lokasi metadata, yang menjadi penting dalam mengevaluasi kredibilitas suatu gambar sebagai bukti. Ketidaksesuaian posisi dapat menunjukkan potensi kesalahan sistem, offset perangkat, atau bahkan indikasi manipulasi data.

Namun demikian, penting untuk digarisbawahi bahwa metadata EXIF sangat rentan terhadap modifikasi. Gambar dapat diedit untuk menambahkan, mengubah, atau menghapus informasi lokasi—baik secara sengaja maupun tidak sengaja. Oleh karena itu, dalam konteks pembuktian hukum, keutuhan dan validitas metadata perlu diverifikasi melalui prosedur forensik digital yang sah, seperti analisis nilai *hash*, pemeriksaan timestamp, serta rekonstruksi log aktivitas perangkat.

Integrasi antara metadata lokasi dengan sumber bukti digital lainnya, seperti log aplikasi, riwayat komunikasi, dan data jaringan, dapat memberikan hasil investigasi yang lebih menyeluruh dan kuat. Dengan pendekatan ini, metadata lokasi tidak hanya menjadi penunjuk posisi, tetapi juga bagian dari jejak digital yang mendukung proses investigasi secara komprehensif.

3.6. Precision vs Accuracy dalam Konteks Forensik Digital

Dalam konteks investigasi forensik digital, khususnya yang melibatkan analisis metadata lokasi dari gambar digital, penting untuk membedakan dua konsep utama: akurasi (*accuracy*) dan presisi (*precision*).

Akurasi mengacu pada seberapa dekat hasil lokasi yang diprediksi atau tercatat dengan lokasi sebenarnya saat gambar diambil. Ini mencerminkan kebenaran absolut dari informasi lokasi.

Presisi, di sisi lain, menunjukkan konsistensi hasil lokasi dalam berbagai pengambilan gambar, bahkan jika hasilnya tidak selalu akurat. Presisi penting untuk memahami stabilitas sistem pengambilan lokasi, terutama dalam perangkat mobile.

Pada penelitian ini, hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata error lokasi adalah 0,30 meter, dengan standar deviasi sebesar 0,28 meter. Ini berarti bahwa selain akurat secara umum, hasil metadata juga cukup presisi, karena nilai error cenderung berkumpul dekat rata-rata, sebagaimana terlihat pada gambar 4 dan gambar 5. Hasil ini menegaskan bahwa metadata EXIF dari gambar dapat memberikan dukungan lokasi yang dapat dipercaya dan stabil untuk proses investigasi digital, dengan tingkat akurasi dan presisi yang memadai untuk mendukung analisis tempat kejadian perkara, pelacakan pergerakan, atau validasi alibi dalam proses hukum.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa metadata lokasi EXIF yang diperoleh dari citra digital perangkat Android memiliki potensi yang signifikan dalam mendukung investigasi forensik digital, terutama untuk melacak lokasi pengambilan gambar. Dengan menerapkan proses ekstraksi data, konversi koordinat, serta visualisasi menggunakan peta interaktif, dapat dianalisis sejauh mana akurasi lokasi EXIF dibandingkan dengan koordinat sebenarnya (*Ground Truth*).

Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa sebagian besar metadata lokasi EXIF memiliki tingkat kedekatan yang tinggi terhadap lokasi sebenarnya. Meskipun demikian, terdapat beberapa kasus outlier yang menunjukkan deviasi lokasi cukup signifikan, sehingga perlu diperhatikan dalam konteks pembuktian. Visualisasi spasial sangat membantu dalam mendeteksi pola pergerakan atau anomali lokasi, yang bisa menjadi indikator validitas atau potensi manipulasi data.

Selain itu, penghitungan nilai error berdasarkan jarak geodesik antara titik EXIF dan Ground Truth memberikan wawasan kuantitatif yang penting mengenai tingkat keakuratan data. Hal ini memperkuat posisi metadata EXIF sebagai bukti digital yang bernalih, asalkan integritasnya terjamin dan dilakukan validasi tambahan dengan teknik digital forensic. Secara keseluruhan, metadata EXIF dapat dijadikan alat bantu yang efektif dalam proses penyelidikan forensik digital jika digunakan secara hati-hati dan didukung oleh bukti lain yang relevan.

Hasil penelitian sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana metadata EXIF dari perangkat android menunjukkan bahwa secara efektif dapat digunakan untuk merekonstruksi lokasi pengambilan gambar melalui visualisasi peta. Hal ini memperkuat

peran metadata EXIF sebagai bukti pendukung dalam analisis spasial investigatif, terutama dalam melacak pola pergerakan yang relevan dengan analisis forensik digital (Majid et al., 2023).

Validitas penggunaan Autopsy dalam penelitian ini juga diperkuat oleh temuan yang menunjukkan kemampuan perangkat lunak dalam mendeteksi manipulasi gambar digital melalui analisis metadata dan hash value (Permana et al., 2023).

4.2. Saran

Untuk meningkatkan akurasi dan kredibilitas metadata EXIF dalam konteks forensik digital, disarankan agar proses ekstraksi metadata selalu diikuti dengan tahapan validasi forensik, seperti pemeriksaan hash, analisis timestamp, serta pengecekan log sistem. Hal ini penting untuk memastikan bahwa informasi lokasi belum dimodifikasi, baik secara sengaja maupun tidak sengaja, sehingga tetap dapat digunakan sebagai bukti yang sah dan kuat dalam proses penyelidikan atau peradilan.

Pentingnya proses pemeriksaan metadata EXIF, dapat meningkatkan akurasi dimana pemeriksaan validasi integritas dilakukan menggunakan metode hash kriptografis, seperti SHA-256, untuk memastikan bahwa file gambar tidak mengalami modifikasi setelah diproses (Cherng and Abdullah, 2024).

Selain itu, pengembangan sistem otomatis yang dapat mengekstraksi dan memvisualisasikan metadata secara efisien sangat diperlukan untuk mendukung investigasi digital. Metadata EXIF sebaiknya diintegrasikan dengan sumber bukti digital lainnya seperti log aplikasi, komunikasi digital, atau data jaringan guna memperoleh hasil investigasi yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk dilakukan pada berbagai perangkat dan sistem operasi agar diketahui sejauh mana keandalan metadata EXIF dalam lingkungan yang lebih luas.

Evaluasi terhadap berbagai perangkat lunak forensik juga penting dilakukan agar dapat menyesuaikan pilihan tools dengan kebutuhan spesifik kasus. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa Autopsy memiliki keterbatasan dalam mengekstrak jenis data tertentu jika dibandingkan dengan tools lain seperti Belkasoft yang memberikan hasil lebih menyeluruh dalam konteks analisis data aplikasi (Robbani and Yuniati, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

Agboola, V., Osamor, J. and Olajide, F., 2024. Evaluating the Efficiency of FTK , Autopsy , and Mobile Forensic Tools : A Comparative Study in Criminal Investigations. *International Journal of Intelligent Computing Research (IJICR)*, 15(1), pp.1279–1291. <https://doi.org/10.20533/ijicr.2042.4655.2024.0>

156.

Aini, L.N., Tri, E., Handayani, E., Nuraini, R., Teknologi, F., Dan, K., Nasional, U., Selatan, K.J. and Ibukota, D.K., 2024. IMPLEMENTASI ALGORITMA HAVERSINE UNTUK PERHITUNGAN JARAK ANTARA LOKASI PERUSAHAAN DENGAN KARYAWAN PADA PT MEGA GIGA SOLUSINDO. *JORAPI: Journal of Research and Publication Innovation*, 2(4), pp.2859–2872.

Andria and Saifulloh, 2022. Forensik Metadata Foto Sebagai Alat Bukti Digital Forensic Photo Metadata As Digital Evidence Tool. *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Masyarakat Bidang Ilmu Komputer*, (April 2021), pp.8–12.

Arrohman, O., Sutabri, T., Informatika, T., Darma, U.B., Jendral, J., Yani, A. and I, S.U., 2025. Aplikasi Android LBS Menggunakan Metode Haversine Formula Pada Lokasi Wisata Kota Pagar Alam. *TEKNO KOMPAK*, 19(1), pp.202–212.

Azhiman, F., Dasmen, R.N. and Apriyanto, A., 2023. Implementasi Exiftool pada Forensik Metadata Video untuk Antisipasi Berita Hoax. *Jurnal Bina Komputer*, 5(1), pp.23–28. <https://doi.org/10.33557/jbkom.v5i1.2422>.

Cherng, T.J. and Abdullah, N.A., 2024. AITCS Android JPEG File Carving with Geotag Analysis. 5(2), pp.133–152.

Daraghmi, E. and Hamoudi, A., 2024. Mobile Forensics : Extracting Geo-Location Data from Photos on Android Smartphones. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 9(9), pp.1915–1921.

Dwi Rifka Kurniawan, A., Mahmudi, A. and Zulfia Zahro', H., 2023. Penerapan Metode Haversine Formula Pada Sistem Informasi Geografis Pencarian Laundry Terdekat Di Kelurahan Tasikmadu Berbasis Mobile Android. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(4), pp.2226–2233. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i4.7451>.

Jaya, Z., Salim, Y. and Rachman, A., 2025. Analisis Penerapan Metode Exif Metadata Dan Metode Error Level Analysis Untuk Pengolahan Forensic Digital. *Literatur Informatika & Komputer*, 2(1), pp.129–135.

Majid, R.S., Varol, C., Varol, A. and Nasab, A., 2023. Visualizing the Path of a Photo Taker from Image Metadata. *4th International Informatics and Software Engineering Conference - Symposium Program, IISEC 2023*, pp.1–7. <https://doi.org/10.1109/IISEC59749.2023.10391007>.

Mani, R.G., Parthasarathy, R., Eswaran, S. and Honnavalli, P., 2022. A Survey on Digital

Image Forensics: Metadata and Image forgeries. *CEUR Workshop Proceedings*, 3142, pp.22–55.

Permana, L.A., Hakim, F., Subhi, Y.A. and Rivaldo, P., 2023. Analisis Forensik Keaslian Gambar Menggunakan Autopsy. *Jurnal JOCOTIS-Journal Science Informatica and Robotics E*, [online] 1(2), pp.39–45. Available at: <<https://jurnal.ittc.web.id/index.php/jct/>>.

Robbani, M.K. and Yuniati, T., 2025. IMPLEMENTASI TOOLS AUTOPSY DAN BELKASOFT DALAM ANALISIS FORENSIK PADA WHATSAPP MENGGUNAKAN. In: *e-Proceeding of Engineering*. pp.3386–3393.

Sari, D.I., Suendri, S. and Putri, R.A., 2023. Penerapan Metode Haversine Pada Lokasi Rawan Kriminalitas dan Kecelakaan di Kota Medan Berbasis Android. *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, 2(2), pp.63–73. <https://doi.org/10.5621/helloworld.v2i2.259>.

Yuliana, D., Yuniati, T. and Parga Zen, B., 2023. Analisis Forensik Terhadap Kasus Cyberbullying Pada Instagram Dan Whatsapp Menggunakan Metode National Institute of Justice (Nij). *Cyber Security dan Forensik Digital*, 5(2), pp.52–59. <https://doi.org/10.14421/csecurity.2022.5.2.3734>.