



**Analisis Forensik Digital *Non-Rooted* Pada Data Penerbangan  
*Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dan *Controller* Berbasis  
Android Untuk Pengungkapan Bukti Digital**

Muhammad Yusuf Halim

23917019

*Tesis diajukan sebagai syarat untuk meraih gelar Magister Komputer*

*Konsentrasi Forensika Digital*

*Program Studi Informatika Program Magister*

*Fakultas Teknologi Industri*

*Universitas Islam Indonesia*

2025

## Lembar Pengesahan Pembimbing

**Analisis Forensika Digital *Non-Rooted* Pada Data Penerbangan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Controller* Berbasis Android Untuk Pengungkapan Bukti Digital**

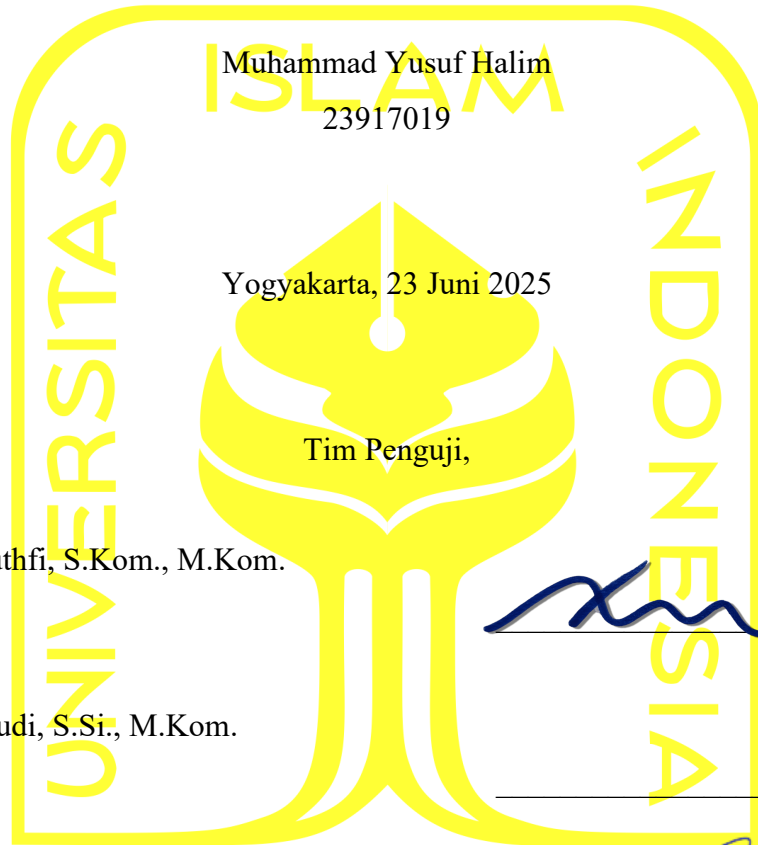


Pembimbing

Dr. Ahmad Luthfi, S.Kom., D.I.Kom.

**Lembar Pengesahan Penguji**

**Analisis Forensika Digital *Non-Rooted* Pada Data Penerbangan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Controller* Berbasis Android Untuk Pengungkapan Bukti Digital**



Muhammad Yusuf Halim  
23917019

Yogyakarta, 23 Juni 2025

Tim Penguji,

Dr. Ahmad Luthfi, S.Kom., M.Kom.

Ketua

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ahmad Luthfi', written over a horizontal line.

Dr. Yudi Prayudi, S.Si., M.Kom.

Anggota I

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Yudi Prayudi', written over a horizontal line.

Ir. Irving Vitra Paputungan, S.T., M.Sc., Ph.D.

Anggota II

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Irving Vitra Paputungan', written over a horizontal line.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Informatika Program Magister

Universitas Islam Indonesia



Ir. Irving Vitra Paputungan, S.T., M.Sc., Ph.D.

## Abstrak

### **Analisis Forensika Digital *Non-Rooted* Pada Data Penerbangan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Controller* Berbasis Android Untuk Pengungkapan Bukti Digital**

Penggunaan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau *drone* di Indonesia semakin meluas dan telah dimanfaatkan di berbagai sektor, termasuk sektor pertambangan batubara untuk keperluan pemetaan dan pemantauan (*surveillance*). UAV memiliki karakteristik fleksibilitas, kemampuan terbang rendah, dan kemudahan pengoperasian, namun juga menimbulkan potensi penyalahgunaan seperti pelanggaran batas wilayah udara tanpa izin. Penelitian ini disimulasikan pada kasus seorang petugas operator yang menerbangkan UAV di luar batas wilayah tambang tanpa otorisasi. Studi ini bertujuan untuk melakukan akuisisi dan analisis forensik digital terhadap UAV DJI Mini 3 dan *controller* DJI RC-N1 yang terhubung ke *smartphone* Android, guna memperoleh artefak digital yang dapat digunakan sebagai pengungkapan bukti digital. Penelitian menggunakan *framework* DRF *Field* dengan metode statis dan dinamis pada UAV, serta metode fisik dan logis pada *smartphone* tanpa proses *rooting*. Hasil menunjukkan bahwa akuisisi dinamis menghasilkan artefak yang lebih lengkap, termasuk metadata EXIF yang berisi informasi lintang, bujur, dan ketinggian. Meskipun log penerbangan tidak ditemukan pada UAV, artefak tersebut berhasil diperoleh dari *smartphone* melalui identifikasi paket aplikasi DJI Fly (dji.go.v5). Artefak log ini kemudian dikonversi ke format .kmz dan divisualisasikan menggunakan Google Earth untuk mengonfirmasi pelanggaran batas wilayah udara. Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa metode *non-root* berhasil mengidentifikasi artefak digital penting seperti metadata EXIF berisi koordinat dan ketinggian dari foto UAV, *serial number* perangkat, serta log penerbangan yang diperoleh melalui aplikasi DJI Fly di *smartphone* Android. Pendekatan *non-root* berhasil menghasilkan artefak digital yang sebanding dengan perangkat yang di-*root*, menunjukkan bahwa akuisisi tanpa *rooting* tetap efektif dalam investigasi forensik. Temuan ini menekankan pentingnya kombinasi metode akuisisi serta pemahaman karakteristik perangkat UAV dan aplikasi terkait dalam mendukung investigasi forensik digital, khususnya pada kasus pelanggaran batas wilayah UAV.

#### **Kata kunci**

Forensik UAV, Akuisisi *non-root*, DJI Mini 3, Artefak digital, Pelanggaran wilayah udara

## ***Abstract***

### ***Non-Rooted Digital Forensic Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Flight Data and Android-Based Controller for Digital Evidence Disclosure***

*The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), or drones, in Indonesia is rapidly expanding and has been applied across various sectors, including the coal mining industry for mapping and surveillance purposes. UAVs are characterized by flexibility, low-altitude flight capabilities, and ease of operation, yet they also pose risks of misuse, such as unauthorized violations of airspace boundaries. This study simulates a case involving an operator flying a UAV beyond the authorized mining area. The research aims to perform digital forensic acquisition and analysis on the DJI Mini 3 UAV and the DJI RC-N1 controller connected to an Android smartphone to obtain digital artifacts that can serve as evidence. The study employs the DRF Field framework, utilizing static and dynamic methods on the UAV, along with physical and logical acquisition techniques on the smartphone without rooting. Results indicate that dynamic acquisition yields more comprehensive artifacts, including EXIF metadata containing latitude, longitude, and altitude information. Although flight logs were not found directly on the UAV, these artifacts were successfully retrieved from the smartphone by identifying the DJI Fly application package (dji.go.v5). The flight log artifacts were then converted into the .kmz format and visualized using Google Earth to confirm the airspace violation. The main findings demonstrate that the non-root method successfully identifies crucial digital artifacts such as EXIF metadata with UAV photo coordinates and altitude, device serial numbers, and flight logs obtained through the DJI Fly app on the Android smartphone. The non-root approach produces digital artifacts comparable to those obtained from rooted devices, indicating that acquisition without rooting remains effective for forensic investigations. These findings highlight the importance of combining acquisition methods and understanding the characteristics of UAV devices and their associated applications to support digital forensic investigations, particularly in cases involving UAV airspace boundary violations.*

### **Keywords**

*UAV Forensics, Non-root acquisition, DJI Mini 3, Digital Artifacts, Airspace Violation*

## **Pernyataan Keaslian Tulisan**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini merupakan tulisan asli dari penulis, dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya atau tulisan dari penulis lain terkecuali referensi atas material tersebut telah disebutkan dalam tesis. Apabila ada kontribusi dari penulis lain dalam tesis ini, maka penulis lain tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam tesis ini.

Dengan ini saya juga menyatakan bahwa segala kontribusi dari pihak lain terhadap tesis ini, termasuk bantuan analisis statistik, desain survei, analisis data, prosedur teknis yang bersifat signifikan, dan segala bentuk aktivitas penelitian yang dipergunakan atau dilaporkan dalam tesis ini telah secara eksplisit disebutkan dalam tesis ini.

Segala bentuk hak cipta yang terdapat dalam material dokumen tesis ini berada dalam kepemilikan pemilik hak cipta masing-masing. Apabila dibutuhkan, penulis juga telah mendapatkan izin dari pemilik hak cipta untuk menggunakan ulang materialnya dalam tesis ini.

Yogyakarta, 23 Juni 2025



Handwritten signature of Muhammad Yusuf Halim.

Muhammad Yusuf Halim, S.Kom.

## Daftar Publikasi

### Publikasi yang menjadi bagian dari tesis

Halim, M. Y., & Luthfi, A. (2025). Digital Forensic Analysis of UAV Flight Data Using Static and Dynamic Methods in Coal Mining Area. *Journal of Information Systems and Informatics*, 7(2). <https://doi.org/10.51519/journalisi.v7i2.1061>.

Kontributor	Jenis Kontribusi
Muhammad Yusuf Halim	Mendesain eksperimen (80%) Menulis <i>paper</i> (75%)
Ahmad Luthfi	Mendesain eksperimen (20%) Menulis dan mengedit <i>paper</i> (25%)

## **Halaman Kontribusi**

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan pendanaan khusus untuk penelitian ini melalui skema Beasiswa Penelitian Tesis Mahasiswa (PTM), dengan nomor kontrak: 052/DirDPPM/70/DPPM/PFR-KEMDIKBUDRISTEK/VI/2024. Dukungan ini sangat berharga dan berperan besar dalam kelancaran serta penyelesaian penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur atas Beasiswa Kukar Idaman yang telah diberikan. Semua dukungan ini sangat berarti dan memberikan kontribusi besar dalam penyelesaian penelitian ini.

## Halaman Persembahan

*Alhamdulillah*, segala puji dan syukur atas limpahan rahmat, hidayah, kasih sayang dan keberkahan Allah Subhanahu wa Ta'ala. Sehingga saya ditakdirkan dapat menyelesaikan pendidikan magister. Semoga nikmat ini dapat meningkatkan iman dan takwa, serta menjadi pribadi yang bermanfaat untuk sesama.

Atas segala perjuangan, pengorbanan, dan setiap tetes keringat, serta air mata yang telah dicurahkan kepada saya oleh mama dan bapak. Maka, karya penelitian ini saya persembahkan dengan sepenuh hati kepada kedua orangtua tercinta. Ibu Sahariani dan Bapak Anwar, yang tak henti-hentinya mendukung dan mendo'akan saya. Terimakasihku tak terhingga, atas do'a, dukungan, harapan, kesempatan, dan kepercayaan yang telah diberikan kepada saya. *I love you so much*, ma, pak.

Begitupun untuk adik semata wayangku tersayang, Muhammad Zulkifli. Engkau telah menjadi penyemangat untuk saya. Terimakasih telah hadir di hidup saya. Semoga karya ini bisa menjadi motivasi dan pembuka jalan untuk masa depanmu yang gemilang. Tak perlu menjadikan saya sebagai pembanding hidupmu. Jadilah dirimu sendiri, adik. Apapun yang kamu lakukan, aku akan selalu bangga padamu.

Teruntuk kepada saudara tak sedarah, yang telah banyak mendo'akan, mendukung dan menemani bahkan di saat-saat sulit. Yakni saudaraku Ferdi Gunawan dan Kak Niftahul Janna. Sungguh saya takkan pernah mampu membalas kebaikan kalian. Hanya Allah Ta'ala yang dapat membalas segala kebaikan-kebaikan kalian. Terimakasih, sungguh terimakasih.

Terakhir, untuk diriku sendiri, Muhammad Yusuf Halim. Terimakasih sudah bertahan dan menjalani proses sejauh ini. Begitu banyak ujian dan cobaan yang telah kita lewati. Sebagai manusia biasa, seringkali kita menangis, baik siang maupun malam. Namun Allah senantiasa mendengarkan cerita dan keluh kesah kita, Allah tak pernah meninggalkan kita. Cukuplah Tuhanku yang mengetahui segala urusan dan keluh kesahku. "Dan kembalilah kamu kepada Tuhanmu, dan berserah dirilah kepada-Nya sebelum datang azab kepadamu, kemudian kamu tidak dapat ditolong." (Q.S. 39:54).

*Finally, we did it! Alhamdulillah 'ala kulli hal.*

## Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “**Analisis Forensika Digital Non-Rooted Pada Data Penerbangan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Controller Berbasis Android Untuk Pengungkapan Bukti Digital**” dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Informatika Program Magister, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Luthfi, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing yang telah kebersamai dengan penuh perhatian, dan banyak memberi bantuan, arahan, serta motivasi terhadap penelitian yang telah penulis lakukan.
2. Bapak Ir. Irving Vitra Papatungan, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji, yang telah memberi masukan berupa perbaikan dan arahan pada sidang pendadaran.
3. Bapak Dr. Yudi Prayudi, S.Si., M.Kom., selaku Dosen Penguji yang telah memberi arahan dan masukan saat seminar proposal, seminar progres, hingga sidang pendadaran.
4. Ibu Erika Ramadhani, S.T., M.Eng, selaku dosen penguji yang telah memberi dukungan, arahan, dan masukan saat seminar proposal dan seminar progres.
5. Seluruf Dosen, Staf dan Jajaran Prodi Informatika Program Magister, atas ilmu dan bantuan selama penulis menimba ilmu di Informatika Program Magister FTI-UII.
6. Teman-teman seperjuangan Magister Informatika angkatan 28, khususnya konsentrasi Forensika Digital dan rekan-rekan PUSFID. Terimakasih atas segala ilmu, wawasan, dan kebersamaannya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga tesis ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 23 Juni 2025

Muhammad Yusuf Halim, S.Kom.

## Daftar Isi

Lembar Pengesahan Pembimbing .....	i
Lembar Pengesahan Penguji.....	ii
Abstrak .....	iii
<i>Abstract</i> .....	iv
Pernyataan Keaslian Tulisan .....	v
Daftar Publikasi .....	vi
Halaman Kontribusi.....	vii
Halaman Persembahan .....	viii
Kata Pengantar.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar .....	xiv
Glosarium .....	xv
BAB 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Batasan Masalah .....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	7
1.5 Manfaat Penelitian .....	7
1.6 Metodologi Penelitian .....	8
1.7 Sistematika Penulisan .....	9
BAB 2 Tinjauan Pustaka .....	11
2.1 Penelitian Terdahulu .....	11
2.2 <i>Unmanned Aerial Vechile</i> atau <i>Drone</i> .....	16
2.3 <i>Remote Control N1</i> .....	17

2.4	<i>Smartphone</i> Android .....	18
2.5	Akuisisi pada Digital Forensik.....	19
2.5.1	<i>Static Forensic</i> .....	19
2.5.2	<i>Dynamic Forensic</i> .....	19
2.5.3	<i>Physical Acquisition</i> .....	20
2.5.4	<i>Logical Acquisition</i> .....	20
2.6	Bukti Digital.....	20
2.7	Konsep <i>Root</i> dan <i>Non-rooted</i> .....	21
2.8	Data log .....	22
BAB 3 Metodologi .....		23
3.1	Studi Literatur .....	23
3.2	Identifikasi Kebutuhan.....	24
3.3	Penerapan <i>Framework</i> Penelitian .....	24
3.4	Persiapan <i>Tools</i> .....	26
3.4.1	<i>Hardware</i> .....	26
3.4.2	<i>Software</i> .....	26
3.5	Analisis Artefak Bukti Digital .....	27
3.5.1	Skenario Penerbangan UAV.....	27
3.5.2	Simulasi Pelanggaran Penerbangan UAV .....	28
BAB 4 Hasil dan Pembahasan.....		31
4.1	Tahap Persiapan .....	31
4.2	Tahap Akuisisi/Pengumpulan .....	33
4.3	Tahap Analisis.....	38
4.4	Tahap Dokumentasi/Pelaporan .....	44
4.5	Pembahasan.....	47
BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....		53
5.1	Kesimpulan .....	53

5.2 Saran.....	53
Daftar Pustaka .....	55
LAMPIRAN A .....	65
LAMPIRAN B.....	66

## Daftar Tabel

Tabel 2.1 <i>Review</i> pada Penelitian Forensik UAV .....	13
Tabel 3.1 Daftar <i>Software</i> yang digunakan beserta fungsinya .....	26
Tabel 4.1 Hasil Analisis UAV DJI Mini 3 Metode Statis .....	44
Tabel 4.2 Hasil Analisis UAV DJI Mini 3 Metode Dinamis .....	45
Tabel 4.3 Hasil Analisis <i>Smartphone</i> MOBILedit .....	45
Tabel 4.4 Hasil Analisis <i>Smartphone</i> ADB.....	46
Tabel 4.5 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya.....	48

## Daftar Gambar

Gambar 1.1 <i>Pie Chart</i> Penggunaan Merek UAV di Indonesia .....	3
Gambar 1.2 Perbandingan Harga Produk DJI Berdasarkan Mata Uang <i>U.S. Dollars</i> .....	4
Gambar 2.1 DJI RC-N1 .....	18
Gambar 3.1 Alur Proses Penelitian .....	23
Gambar 3.2 <i>Framework</i> Renduchintala et al.....	24
Gambar 3.3 <i>framework Conceptual Digital Forensics Model for DRF Field</i> .....	25
Gambar 3.4 Tahapan Skenario Penerbangan.....	28
Gambar 3.5 Area Simulasi Penerbangan UAV .....	29
Gambar 3.6 Area Simulasi Penerbangan UAV Tampak Dekat.....	29
Gambar 3.7 Alur Proses Skenario Simulasi Pelanggaran Penerbangan UAV .....	30
Gambar 4.1 Batas Daerah Perusahaan dengan Lahan Milik Warga.....	32
Gambar 4.2 Seorang Petani di Kebun .....	32
Gambar 4.3 Pemukiman Warga.....	33
Gambar 4.4 Nilai Hash Akuisisi UAV DJI Mini 3 Metode Statis .....	33
Gambar 4.5 Proses Akuisisi UAV DJI Mini 3 Metode Dinamis.....	34
Gambar 4.6 Nilai Hash pada Akuisisi UAV DJI Mini 3 Metode Dinamis .....	34
Gambar 4.7 VIVO V19 <i>android smartphone</i> .....	35
Gambar 4.8 Aktifkan Opsi Pengembang.....	35
Gambar 4.9 Proses akuisisi VIVO V19.....	36
Gambar 4.10 Jendela Informasi Perangkat Mobile Belum di- <i>root</i> .....	36
Gambar 4.11 Hashing Hasil Akuisisi .....	37
Gambar 4.12 Hashing File Asli .....	37
Gambar 4.13 Mengambil Data <i>Hashing</i> File-file Asli dari <i>Smartphone</i> .....	38
Gambar 4.14 Foto Seorang Petani di Area Perkebunan beserta Metadatanya .....	40
Gambar 4.15 Titik Kordinat Berdasarkan EXIF Metadata pada UAV Metode Dinamis....	41
Gambar 4.16 Lintas Penerbangan UAV Melewati Titik Merah Area Perkebunan Warga .	43
Gambar 4.17 Lintas Penerbangan UAV Melewati Titik Kuning Area Pemukiman Warga	43
Gambar 4.18 Gambar Keseluruhan Titik Kordinat dan Jalur Penerbangan UAV .....	44
Gambar 4.19 Log yang memuat informasi pribadi berupa email, SN UAV, dan SN <i>controller</i> .....	50

## Glosarium

DJI	- Dà-Jiāng Innovations
GPS	- Global Positioning System
U.S.	- United States
NIST	- National Institute of Standards and Technology
NIJ	- National Institute of Justice
OS	- Operating System
FTK	- Forensic Toolkit
SN	- Serial Number

# BAB 1

## Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau *drone* merupakan pesawat kecil tanpa pilot yang dapat dikendalikan dari jarak jauh (Fahlstrom et al., 2022; Yu et al., 2019). UAV dapat dimanfaatkan untuk beberapa keperluan, seperti fotografi maupun videografi (Hamdi et al., 2019; Pinatik & Papilaya, 2024). Pemanfaatan UAV juga sudah menyentuh berbagai aspek pengintaian. Seperti pengawasan, eksplorasi, pemetaan dari suatu wilayah dan beberapa fungsi lainnya (Kumar & Agrawal, 2021a). Penjualan UAV sangatlah meningkat pesat untuk keperluan pribadi maupun keperluan komersial. Sebelumnya penggunaan UAV sangatlah terbatas hanya untuk keperluan militer. Namun beberapa tahun belakangan, penggunaan UAV tidak hanya untuk keperluan militer saja. Saat ini UAV dapat digunakan oleh kalangan swasta, industri dan masyarakat pada umumnya (Al-Dhaqm et al., 2021a). Hal ini dibuktikan dengan hasil riset yang dilakukan oleh pihak Statista, bahwa sudah mencapai 5 juta unit penjualan secara global pada tahun 2020. Jumlah ini diperkirakan akan terus meningkat hingga 9,6 juta unit pada tahun 2030 kelak (Silalahi et al., 2023).

Di Indonesia, penggunaan UAV juga semakin meluas dan telah banyak digunakan dalam berbagai sektor, salah satunya pada sektor pertambangan batubara (Kumar et al., 2023). UAV digunakan untuk pemetaan jalan di area pertambangan, yang memungkinkan proses eksplorasi dan pemantauan menjadi lebih efisien dan akurat (Aboelezz et al., 2023). Dengan penggunaan UAV, perusahaan pertambangan dapat menghemat waktu dan biaya, serta meningkatkan keselamatan kerja di lapangan (Loli et al., 2022; Putrawiyanta et al., 2023). Namun, kemudahan akses dan kemampuan UAV yang semakin canggih turut menghadirkan tantangan baru, khususnya dalam bentuk potensi pelanggaran dan penyalahgunaan. Beberapa kasus telah menunjukkan bahwa UAV dapat digunakan untuk tindakan yang melanggar hukum atau etika, seperti penerbangan tanpa izin di wilayah terbatas, penyelundupan barang, spionase industri, hingga pelanggaran privasi seperti penyalahgunaan dalam bentuk pengambilan data visual properti pribadi atau lokasi sensitif yang melanggar privasi individu, perusahaan, wilayah militer, dan lain sebagainya (Chamola et al., 2021; Studiawan et al., 2023). Oleh karena itu, UAV forensik menjadi suatu urgensi yang penting sebagai solusi (Almusayli et al., 2024) dalam mendeteksi, menganalisis, dan

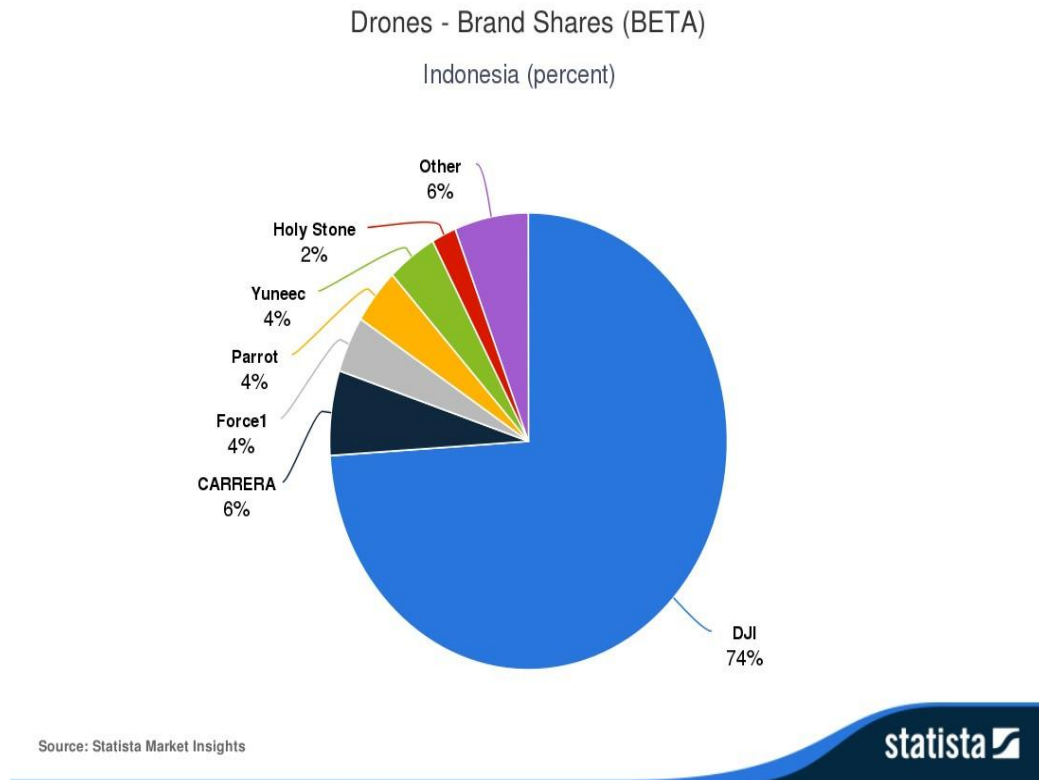
mengungkap bukti digital dari perangkat UAV dan *controller* yang diduga terlibat dalam aktivitas ilegal (Mekdad et al., 2023; Shashidar et al., 2024). Forensik digital UAV dapat membantu penegak hukum dalam mengungkap pelaku serta memberikan landasan bukti yang sah untuk proses hukum. Oleh karena itu, dalam simulasi kasus yang diangkat dalam penelitian ini, seorang karyawan tambang batubara yang ditugaskan sebagai operator pilot UAV melakukan survei atau pemetaan jalan, melakukan pelanggaran dengan menerbangkan UAV diluar batas wilayah perusahaannya tanpa izin. Sehingga dibutuhkan akuisisi dan analisis forensik untuk mendapatkan artefak sebagai bukti digital yang dapat digunakan dalam persidangan untuk mendukung tuntutan hukum atau mempertahankan hak individu. Berdasarkan kasus tersebut, maka artefak atau bukti digital pada UAV sangatlah penting.

Penelitian ini mencari artefak atau bukti digital pada kemungkinan-kemungkinan yang ada, seperti foto, video, log penerbangan dan GPS pada UAV (Mantas & Patsakis, 2022). UAV forensik telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, seperti pada penelitian yang berjudul *Forensic Data Acquisition in UAVs Using the Static Forensic Method to Obtain Digital Evidence* (Prastya & Cipta, 2020). Penelitian tersebut melakukan analisis forensik pada UAV DJI Phantom 3 Advanced dan *controller* dengan sistem operasi Android berdasarkan kasus simulasi yang telah dibuat. Tujuannya untuk melihat dimana saja UAV tersebut pernah diterbangkan.

Namun pada penelitian tersebut, tidak dijelaskan *framework* forensik apa yang digunakan dan dilakukan *rooting* pada *controller* sehingga Dalam konteks forensik digital, *rooting* perangkat Android dinilai dapat merusak integritas data, karena tindakan tersebut melibatkan modifikasi sistem yang berisiko mengubah atau mengkontaminasi bukti digital, sehingga mengancam validitasnya dalam proses hukum (Almehmadi & Batarfi, 2019). Selanjutnya, terdapat juga penelitian lain yang berjudul *UAV Forensics: DJI Mini 2 Case Study* (Stanković et al., 2021). Penelitian ini mengakuisisi UAV DJI Mini 2 untuk mendapatkan artefak yang dapat digali berdasarkan skenario kasus yang ada. *Smartphone* yang digunakan sebagai *controller* berbasis android, namun perangkat tersebut juga dilakukan *root*. Sehingga menurunkan kualitas integritas data.

Kedua penelitian sebelumnya menggunakan produk UAV dari DJI. Oleh karena itu, penelitian ini juga memilih salah satu produk DJI sebagai objek penelitian untuk menjaga relevansi dan memungkinkan perbandingan hasil yang lebih tepat. Pemilihan ini juga didasarkan pada fakta bahwa DJI merupakan salah satu merek UAV yang paling banyak digunakan secara global. Berdasarkan data dari Statista pada tahun 2022 yang diperbarui hingga Mei 2024, DJI mendominasi pasar UAV dengan pangsa yang signifikan. Informasi

ini dapat dilihat pada Gambar 1.1 (Statista.com, 2024), yang memperkuat alasan pemilihan produk DJI dalam penelitian ini karena tingginya tingkat adopsi serta ketersediaan referensi teknis dan studi sebelumnya.

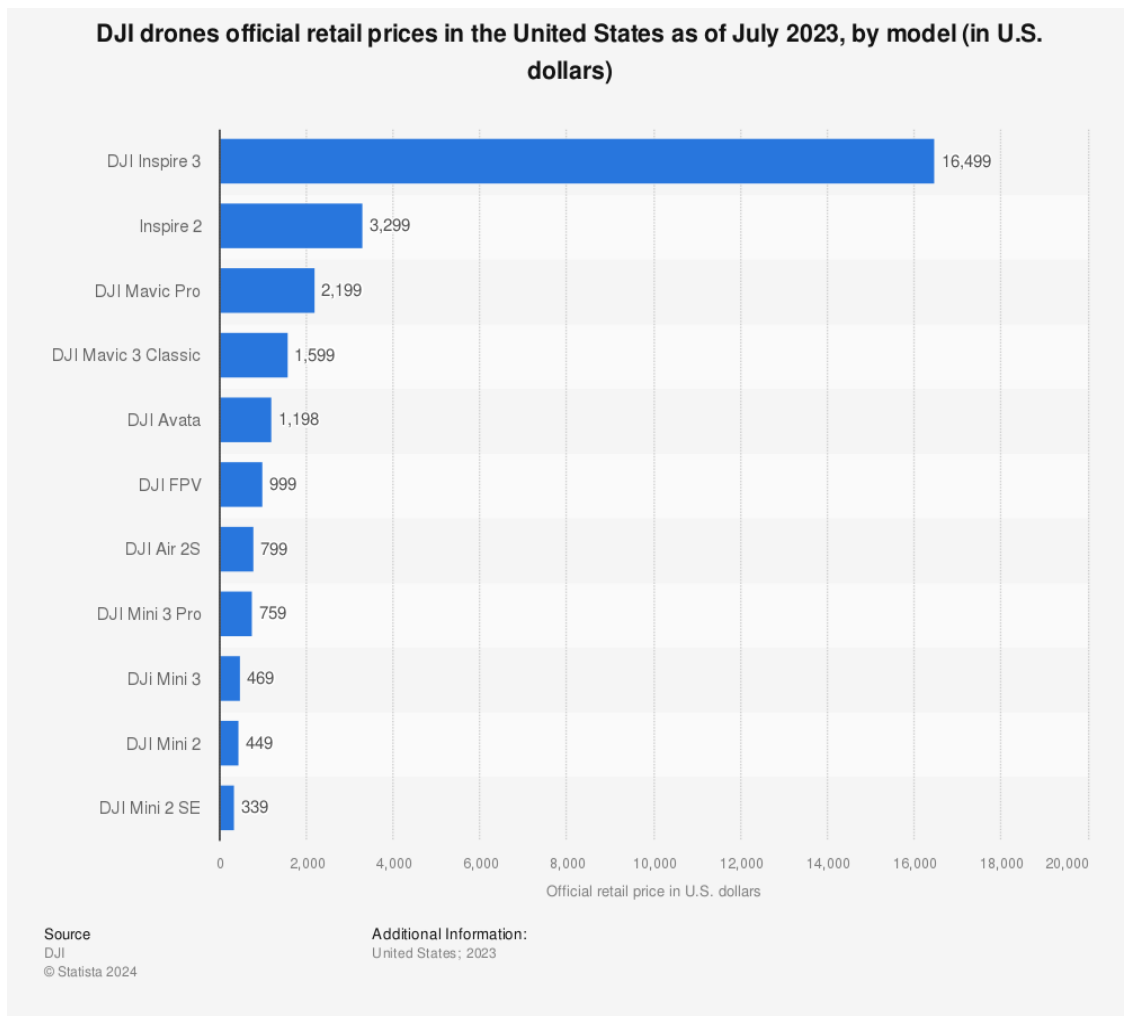


Gambar 1.1 *Pie Chart* Penggunaan Merek UAV di Indonesia  
(Sumber: Statista.com, 2024)

Berdasarkan Gambar 1.1, pemilihan UAV merek DJI dalam penelitian ini didasarkan pada tingkat popularitas dan penggunaannya yang dominan di berbagai sektor, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat memiliki relevansi dan aplikasi luas dalam praktik forensik digital UAV.

Berdasarkan studi kasus yang disimulasikan, analisis forensika digital dibutuhkan untuk memperoleh artefak bukti digital pada UAV yang digunakan pada proses investigasi, serta sebagai dasar tindakan disiplin terhadap karyawan yang melakukan pelanggaran. Penelitian ini difokuskan untuk melakukan aktivitas forensik digital pada UAV dan *smartphone* berbasis android *non-root* sebagai *controller*, yang secara khusus bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik artefak digital yang terdapat pada UAV merek DJI Mini 3. UAV tersebut belum pernah digunakan dalam penelitian UAV forensik sebelumnya. Selain itu, UAV DJI Mini 3 memiliki spesifikasi unggul, termasuk kemampuan merekam video hingga resolusi 4K dan harga yang relatif terjangkau. Karena keterjangkauan harga merupakan salah satu faktor besar yang mempengaruhi minat

konsumen dalam membeli barang (Taan, 2021). Perbandingan harga pada produk keluaran DJI dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut ini (Statista.com, 2023).



Gambar 1.2 Perbandingan Harga Produk DJI Berdasarkan Mata Uang *U.S. Dollars*  
(Sumber: Statista.com, 2023)

Selain UAV, terdapat satu perangkat tambahan yang juga akan dianalisis dalam proses UAV forensik, yaitu *controller* dari UAV itu sendiri. Sebelumnya, terdapat penelitian yang secara khusus membahas tentang *controller* UAV yang berjudul *Digital Forensic Research for Analyzing Drone Pilot: Focusing on DJI Remote Controller* (E. Lee et al., 2021). Pada penelitian ini, melakukan riset pada *controller* dari produk DJI, yang dinamakan dengan *DJI Remote Control (RC)*. Penelitian tersebut melakukan akuisisi pada DJI RC melalui aplikasi yang digunakan untuk mengontrol dan mengoperasikan UAV, yakni DJI Fly yang dilakukan dalam keadaan *root*. Sedangkan penelitian ini melakukan aktivitas forensik pada DJI RC-N1 yang terintegrasi dengan *smartphone* berbasis Android. *Smartphone* tersebut juga berfungsi sebagai layar untuk melihat proses penerbangan UAV dan nantinya akan menyimpan beberapa informasi (Yaacoub et al., 2020).

Dalam konteks forensik digital, pendekatan *rooted* menawarkan akses yang lebih luas terhadap sistem file, namun hal ini juga menimbulkan risiko terhadap integritas data. *Rooting* dapat memodifikasi sistem operasi, mengubah hash file, dan memungkinkan adanya *contamination* pada bukti digital, sehingga tidak sesuai dengan prinsip *forensic soundness* (Ichsan & Riadi, 2021). Oleh karena itu, pendekatan *non-rooted* dipilih untuk menjaga validitas bukti digital dan memastikan keabsahan hasil investigasi di pengadilan. Selain itu, teknik ini juga lebih realistis diterapkan dalam praktik penegakan hukum karena tidak semua perangkat memungkinkan untuk di-*root* (Leonardo & Indrayani, 2022).

Selanjutnya, pada penelitian ini dilakukan proses akuisisi data dari UAV dan *smartphone* tanpa melakukan *rooting*, sehingga menjaga integritas sistem dan memastikan metode yang digunakan tetap sesuai dengan standar forensik yang berlaku. Dengan demikian, terdapat dua perangkat yang akan menjadi objek analisis forensik dalam penelitian ini, yaitu UAV DJI Mini 3 dan DJI RC-N1 yang terintegrasi dengan *smartphone* berbasis Android.

Penelitian ini menggunakan metode statis dan dinamis untuk mengakuisisi data dari UAV, dan metode statis pada DJI RC-N1 berbasis *smartphone* Android, dengan pendekatan *non-root* tanpa melakukan modifikasi sistem. Pendekatan ini dipilih tidak hanya untuk menjaga integritas dan preservasi bukti digital yang rentan terganggu akibat proses *rooting*, tetapi juga untuk menawarkan alternatif yang lebih praktis dan sesuai dengan standar forensik yang berlaku. Selain itu, penggunaan metode *non-root* bertujuan sebagai komparasi terhadap penelitian sebelumnya yang lebih dominan menggunakan teknik *rooted*, sehingga dapat mengevaluasi efektivitas kedua metode dalam konteks forensik UAV. *Framework Conceptual Digital Forensics Model for the Drone Forensic (DRF) Field* diterapkan sebagai acuan investigasi, mulai dari akuisisi hingga pelaporan. Studi ini secara khusus menganalisis artefak dari UAV DJI Mini 3 yang tidak memiliki memori internal, serta *controller* yang tidak *di-root*, untuk dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan perangkat *rooted*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *non-root* mampu menghasilkan artefak digital penting seperti foto, video, log penerbangan, informasi akun pengguna, dan nomor seri perangkat, yang secara kualitas setara dengan hasil dari perangkat *rooted*, meskipun memerlukan teknik analisis yang lebih mendalam. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan pengetahuan forensik digital, khususnya dalam konteks investigasi pelanggaran wilayah UAV.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian-penelitian sebelumnya dalam ranah forensik UAV dan *controller* berbasis Android umumnya menggunakan pendekatan *rooted* untuk memperoleh artefak digital secara lebih menyeluruh. Meskipun efektif, pendekatan tersebut memiliki risiko terhadap integritas sistem dan tidak selalu memungkinkan dalam praktik investigasi di dunia nyata. Sementara itu, pendekatan *non-rooted* masih jarang digunakan dan belum dikaji secara mendalam dalam konteks pembuktian forensik atas pelanggaran wilayah penerbangan.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, berikut adalah pertanyaan penelitian:

1. Apa artefak digital yang dapat diperoleh dari UAV DJI Mini 3 dan RC-N1 berbasis Android tanpa proses *rooting*, serta sejauh mana artefak tersebut cukup untuk digunakan dalam pembuktian kasus pelanggaran wilayah penerbangan UAV dalam kasus pelanggaran batas wilayah?
2. Bagaimana kecukupan dan validitas artefak dari pendekatan *non-rooted* jika dibandingkan dengan pendekatan *rooted* dalam penelitian-penelitian sebelumnya?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terarah dan sesuai dengan topik yang telah ditetapkan, perlu ditentukan batasan-batasan masalah. Batasan-batasan ini bertujuan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian dan memastikan bahwa hasil yang diperoleh relevan serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi hanya pada model UAV DJI Mini 3 yang merupakan UAV jenis multirotor.
2. Selain UAV, penelitian ini juga dibatasi pada DJI RC-N1 *smartphone* berbasis Android pada merek VIVO V19.
3. Akuisisi data pada UAV dilakukan menggunakan metode *physical acquisition* dengan pendekatan statis dan dinamis, sedangkan pada *controller*, akuisisi dilakukan secara *physical* dan *logical acquisition* dengan metode statis dalam kondisi mode pesawat (*airplane mode*).
4. Sumber dan jenis data yang dianalisis adalah foto, video, log penerbangan, *serial number* UAV, *serial number smartphone* yang terhubung dengan RC-N1, dan akun pengguna pada aplikasi DJI Fly.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan memperoleh artefak data forensik dari UAV DJI Mini 3 dan RC-N1 yang terintegrasi dengan *smartphone* berbasis Android tanpa melakukan *rooting*, serta membandingkan kecukupan artefak tersebut dengan hasil penelitian terdahulu yang menggunakan pendekatan *rooted*.
2. Menerapkan metode analisis statis dan dinamis untuk mendapatkan barang bukti digital yang tersimpan di dalam UAV dan *controller* dalam simulasi kasus pertambangan batubara.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah dan tujuan penelitian yang telah dipaparkan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam kehidupan manusia dan dapat diterapkan di dunia nyata, khususnya membantu pembuktian barang bukti digital pada UAV dan *controller*-nya. Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

##### 1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu forensika digital, khususnya dalam bidang UAV forensik. Melalui penerapan framework DRF, penelitian ini memberikan gambaran sistematis mengenai tahapan proses forensik yang dapat diterapkan pada UAV dan *controller*. Selain itu, penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait karakteristik artefak digital yang dapat diperoleh dari UAV DJI Mini 3 dan DJI RC-N1. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa artefak digital dari *smartphone* Android dapat diperoleh tanpa perlu melakukan *rooting*, sehingga tetap menjaga integritas perangkat dan sesuai dengan praktik forensik yang sah.

Lebih jauh, meskipun artefak yang diperoleh dari metode *non-rooting* lebih terbatas dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *rooting*, hasil penelitian ini membuktikan bahwa artefak yang diperoleh tetap cukup untuk mendukung proses investigasi dan pembuktian insiden. Dengan demikian, pendekatan ini memperluas cakupan metodologi forensik UAV dengan tetap mempertahankan keabsahan dan keamanan perangkat.

##### 2. Manfaat Praktisi

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi praktisi forensik digital, aparat penegak hukum, serta institusi yang menangani investigasi terhadap insiden yang

melibatkan penggunaan UAV. Penelitian ini juga dapat dijadikan pedoman dalam proses akuisisi data pada perangkat UAV dan *controller* dengan metode yang tepat, aman, dan efektif.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Langkah langkah yang ditempuh dalam penelitian adalah sebagai berikut:

### 1. Studi literatur

Studi literatur dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Narrative Literature Review* yang bersifat deskriptif dan eksploratif. Metode ini membantu memahami perkembangan konsep, teknik, dan temuan terdahulu terkait forensik digital pada UAV dan smartphone Android. Literatur yang dikaji mencakup jurnal, prosiding, dan laporan penelitian lima tahun terakhir untuk membangun teori, mengidentifikasi celah penelitian, serta merancang metode. Penelaahan ini memastikan penelitian tetap relevan dan sesuai dengan praktik keilmuan terkini.

### 2. Identifikasi kebutuhan

Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan dan sumber daya yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian, guna menciptakan lingkungan kerja yang selaras dengan tujuan yang telah dirumuskan. Proses ini meliputi pemilihan lokasi penelitian, perangkat UAV, *controller*, komputer, serta *tools* yang digunakan untuk akuisisi dan analisis data.

### 3. Penerapan Framework Penelitian

Penelitian ini menggunakan framework *Conceptual Digital Forensics Model for The Drone Forensic (DRF) Field* karena dapat menangani karakteristik UAV serta menawarkan alur kerja sistematis dari tahap persiapan, tahap akuisisi, tahap analisis, hingga tahap pelaporan. Sehingga mendukung investigasi UAV secara menyeluruh.

### 4. Persiapan Tools

Pada tahap ini ditentukan *hardware* dan *software* apa saja yang digunakan pada penelitian ini, yakni sebagai berikut:

#### a. *Hardware*

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat keras utama. Pertama, UAV DJI Mini 3 digunakan sebagai objek utama investigasi, dengan spesifikasi rinci tersedia pada Lampiran A. Kedua, *smartphone* VIVO V19 berbasis Android digunakan sebagai *controller* melalui koneksi dengan DJI RC-N1; gambar RC-N1 dapat dilihat pada Lampiran A, sedangkan spesifikasi lengkap VIVO V19 tercantum dalam Lampiran B.

Ketiga, laptop Acer dengan prosesor Intel Core i5 generasi ke-8 digunakan untuk menjalankan proses forensik, seperti akuisisi dan analisis data digital.

#### b. *Software*

Berbagai perangkat lunak digunakan untuk mendukung proses forensik dalam penelitian ini. Sistem operasi utama yang digunakan adalah Windows 11. DJI Fly versi 1.31.10 berfungsi sebagai aplikasi pengontrol UAV sekaligus penyimpan data penerbangan. FTK Imager digunakan untuk akuisisi data dari UAV, sedangkan Autopsy menganalisis file image hasil akuisisi tersebut. Untuk smartphone Android, digunakan MOBILedit Forensic Express PRO untuk *physical acquisition* dan analisis artefak, serta ADB untuk *logical acquisition* tanpa *root*. Data log penerbangan dianalisis menggunakan situs phantomhelp.com, lalu divisualisasikan dalam *website* Google Earth. Ringkasan peran software dapat dilihat pada Tabel 3.1.

### 5. Analisis Artefak Bukti Digital

Penelitian ini menggunakan analisis kualitatif dengan pendekatan *pattern-based analysis*, *comparative analysis*, dan *visual-spatial interpretation* terhadap artefak digital dari UAV DJI Mini 3 dan controller berbasis Android. Artefak yang dianalisis meliputi file log penerbangan, metadata EXIF, informasi akun pengguna, serta struktur direktori aplikasi DJI Fly, dengan tujuan menilai relevansi, nilai forensik, dan keterkaitannya terhadap simulasi pelanggaran wilayah udara. *Pattern-based analysis* digunakan untuk menghubungkan log penerbangan dengan bukti pendukung seperti waktu dan lokasi; *comparative analysis* membandingkan temuan dari pendekatan non-rooted dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan perangkat *rooted*; sedangkan *visual-spatial interpretation* dilakukan dengan mengonversi file log ke format .kmz dan memvisualisasikannya di *website* Google Earth.

### 6. Kesimpulan

Memuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah serta diperoleh beberapa saran untuk penelitian selanjutnya.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan proses pembahasan dalam penelitian yang dibuat, maka peneliti membuat sistematika penulisan dalam lima bab sebagai berikut:

### **BAB 1 Pendahuluan**

Bab 1 memuat uraian pengantar terkait masalah yang diteliti. Secara detail bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

## **BAB 2 Tinjauan Pustaka**

Bab 2 berisi tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini dan tinjauan Pustaka yang relevan dan sesuai dengan topik UAV dan Android *Smartphone Controller* Forensik.

## **BAB 3 Metodologi**

Bab 3 ini berisi langkah-langkah atau alur jalannya penelitian dari awal sampai akhir.

## **BAB 4 Hasil dan Pembahasan**

Bab 4 berisi tentang hasil penelitian, yang dimulai dari tahap persiapan, tahap akuisisi, tahap analisis dan tahap pelaporan. Serta penggunaan metode analisis dan adanya subbab pembahasan yang membahas tentang temuan artefak untuk pengungkapan bukti digital pada UAV dan *controller*-nya dalam simulasi kasus pelanggaran batas wilayah udara pertambangan batubara.

## **BAB 5 Penutup**

Bab 5 ini memuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah serta diperoleh beberapa saran pengembangan yang memungkinkan dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji aspek forensik digital pada perangkat UAV dan controller, namun dengan fokus dan cakupan yang bervariasi. Misalnya, penelitian berjudul oleh (Kurniandi et al., 2023) melakukan analisis forensik pada drone DJI Phantom 3 Standard menggunakan metode yang dikembangkan oleh Clark et al. dan Renduchintala et al. Penelitian tersebut berhasil mengambil data dari memori internal dan eksternal drone serta perangkat mobile melalui aplikasi DJI GO, namun tidak menjelaskan jenis maupun merek smartphone sebagai *controller* sehingga teknik akuisisi artefak pada *controller* kurang dipaparkan secara rinci.

Melanjutkan kajian terhadap artefak digital pada UAV, (Zhao et al., 2024) dalam penelitian tersebut meneliti DJI Mavic 2 Pro dengan fokus pada ekstraksi berbagai file penting seperti DAT dan TXT yang diperoleh melalui aplikasi DJI GO pada *controller*. Meskipun berhasil mengidentifikasi artefak yang beragam, penelitian ini juga tidak membahas secara mendalam metode akuisisi data pada *smartphone controller*, menimbulkan kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut yang memperjelas proses tersebut.

Dalam konteks *controller* berbasis Android, penelitian oleh (Yang et al., 2021) memberikan wawasan melalui analisis DJI Spark dan Mavic Air yang masing-masing menggunakan *smartphone* Samsung sebagai *controller*. Penelitian ini menegaskan bahwa *controller* Android berperan penting dalam penyimpanan data forensik, meskipun teknik akuisisi artefak pada perangkat Android tidak dijelaskan secara rinci. Hal ini menunjukkan bahwa fokus penelitian selama ini masih cenderung pada drone itu sendiri dibandingkan *controller* yang digunakan.

Selain itu, aspek pengelolaan garis waktu artefak atau *timeline* juga menjadi perhatian dalam penelitian yang dilakukan oleh (Studiawan et al., 2022). Penelitian ini mengembangkan analisis *timeline* forensik pada berbagai model *drone* DJI. Fokus penelitian ini lebih memusatkan perhatian pada rekonstruksi kronologis bukti digital daripada ekstraksi artefak secara langsung, sehingga melengkapi perspektif analisis forensik UAV.

Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh (Yousef et al., 2020a) membandingkan kemampuan berbagai *tools* forensik pada beberapa model *drone* DJI dengan *controller* berbasis iPhone yang juga menggunakan aplikasi DJI GO. Penelitian ini memperlihatkan

variasi perangkat *controller* yang digunakan dalam forensik drone, namun tidak memfokuskan pada metode akuisisi artefak, sehingga masih ada celah penelitian terkait teknik pengambilan data dari *controller* berbasis Android.

Penelitian yang lebih berfokus pada perangkat UAV yang telah dilakukan oleh (Salamh, Mirza, et al., 2021) dan penelitian oleh (Salamh, Karabiyik, et al., 2021) menggarisbawahi tantangan dalam forensik UAV, baik dari segi metode akuisisi statis dan *live*, namun masih belum menyentuh aspek *controller* secara mendalam. Hal ini memperlihatkan perlunya penelitian yang mengintegrasikan analisis forensik pada UAV sekaligus *controller*-nya.

Dalam upaya memperkuat fondasi teoretis, penelitian oleh (F. M. Alotaibi et al., 2022) mengusulkan penelitian yang mencakup tahap proaktif dan reaktif dalam investigasi forensik *drone*. Namun, karena fokus utama adalah pengembangan *framework*, penelitian ini tidak melakukan ekstraksi data langsung dari UAV maupun *controller*, meninggalkan ruang bagi penelitian praktis yang mendalam pada aspek akuisisi data.

Penelitian lain seperti oleh (Al-Room et al., 2021) dan (Lan & Lee, 2021) dalam mengkaji berbagai merek UAV dan teknik forensik *hardware* pada beberapa model UAV, tetapi kurang membahas secara spesifik akuisisi data dari *controller*, sehingga aspek ini masih kurang mendapat perhatian dalam literatur forensik UAV saat ini.

Melihat berbagai kekurangan dan gap pada penelitian sebelumnya, khususnya dalam teknik akuisisi artefak pada UAV dan *controller* berbasis *smartphone* Android, penelitian ini berusaha mengisi celah tersebut dengan menggunakan perangkat DJI Mini 3 dan *controller* DJI RC-N1, serta pendekatan *non-rooted* yang menekankan pada integritas bukti dan kepatuhan terhadap standar forensik. Metode *rooted* yang banyak digunakan dalam studi terdahulu memang memungkinkan akses sistem yang lebih dalam, namun menimbulkan permasalahan serius dalam konteks forensik, seperti potensi perubahan terhadap data asli dan ketidaksesuaian dengan prinsip-prinsip forensik yang sah. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menawarkan solusi melalui penerapan metode *non-rooted* sebagai pendekatan yang lebih aman, tidak invasif, dan relevan dengan praktik investigasi digital di lapangan.

Hasil tinjauan pustaka terkait dengan penelitian yang telah dibahas telah dirangkum yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 *Review* pada Penelitian Forensik UAV

No	Judul	Perangkat yang digunakan	Pembahasan	Keterkaitan
1	Analisis Forensik <i>Drone</i> Menggunakan Metode Clark et al. dan Renduchintala et al. (Studi Kasus: DJI Phantom 3 Standard)	DJI Phantom 3 Standard	Framework standard untuk forensik drone, untuk menunjukkan bahwa data dari memori internal dan perangkat mobile dapat diperoleh dan mendukung investigasi kriminal.	Relevan dengan penelitian yang akan dilakukan terkait perangkat yang akan digunakan. Yaitu UAV merek DJI. Walaupun nantinya akan berbeda jenis.
2	<i>Digital Forensic Research for Analyzing Drone and Mobile Device: Focusing on DJI Mavic 2 Pro</i>	DJI Mavic 2 Pro dan Redmi 6 Pro	Penelitian ini melakukan akusisi dan analisis pada UAV forensik dan berhasil menemukan beberapa artefak seperti <i>DAT files</i> , <i>TXT files</i> , dan <i>default files</i> . Isi dari artefak tersebut berupa data rekaman media penerbangan UAV, log penerbangan dan lain sebagainya	Relevan dengan penelitian yang akan dilakukan terkait perangkat yang akan digunakan. Yaitu UAV merek DJI. Kesimpulan penelitian ini juga menginginkan cakupan penelitian dengan mengeksplorasi model dan produsen drone yang lebih luas.
3	<i>Drone Forensic Analysis Using Relational Flight Data: A Case Study of DJI Spark and Mavic Air</i>	DJI Spark, Samsung A7, DJI Mavic Air, dan Samsung Tab3	Penelitian ini menyajikan wawasan tentang UAV forensik serta data apa saja yang dapat dipulihkan. Pada penelitian ini menggunakan dua perangkat UAV yang berbeda yang masing-masing diintegrasikan dengan <i>smartphone</i> yang berbeda sebagai <i>controller</i> .	UAV forensik pada UAV merek DJI dan forensik pada <i>controller</i> -nya.

Tabel 2.1 *Review* pada Penelitian Forensik UAV (Lanjutan)

No	Judul	Perangkat yang digunakan	Pembahasan	Keterkaitan
4	<i>DroneTimeline: Forensic timeline analysis for drones</i>	DJI Phantom 3, DJI Phantom 4, DJI Phantom 4 Pro, DJI Inspire 1, DJI Inspire 2, DJI Mavic Pro, dan DJI Mavic Air	Penelitian ini hanya berfokus untuk menemukan garis waktu artefak ( <i>timeline</i> ), bukan pada ekstraksi artefak.	Melakukan aktivitas forensik pada UAV merek DJI untuk mendapatkan salah satu kemungkinan artefak yang dapat ditemukan ( <i>timeline</i> ).
5	<i>Drone Forensics: A Detailed Analysis of Emerging DJI Models</i>	DJI Mavic 2 Pro, DJI Mavic Air, DJI Spark, dan DJI Phantom 4.	Penelitian ini bertujuan untuk memeriksa dan menganalisis data yang dapat diekstrak dari empat model drone. Sekaligus membandingkan penerapan dan kemampuan beberapa <i>tools</i> forensik. <i>Controller</i> yang digunakan adalah iPhone 6s.	Penelitian ini melakukan aktivitas UAV forensik pada 4 jenis UAV DJI yang berbeda. Sehingga nantinya, penelitian ini bisa dijadikan acuan bagaimana melakukan akusisi hingga analisis pada UAV merek DJI tersebut.
6	<i>UAV Forensic Analysis and Software Tools Assessment: DJI Phantom 4 and Matrice 210 as Case Studies.</i>	DJI Phantom 4 dan DJI Matrice 210	Penelitian ini berfokus pada perangkat UAV merek DJI Phantom 4 dan DJI Matrice 210. Penelitian ini menggunakan beberapa <i>tools</i> dalam melakukan akusisi, seperti Magnet AXIOM, Cellebrite dan Autopsy.	Penelitian ini dapat dijadikan acuan bagaimana melakukan akusisi hingga analisis dalam menemukan bukti digital. Terutama pada <i>tools</i> Autopsy.

Tabel 2.1 *Review* pada Penelitian Forensik UAV (Lanjutan)

No	Judul	Perangkat yang digunakan	Pembahasan	Keterkaitan
7	<i>A Novel Forensic Readiness Framework Applicable to the Drone Forensics Field</i>	-	<i>Paper</i> yang ditulis pada tahun 2022 ini bertujuan untuk mengusulkan sebuah <i>framework</i> yang bernama <i>Drone Forensics Readiness Framework (DRFRF)</i> . <i>Framework</i> ini terdiri dari dua tahap, yaitu <i>proactive forensic stage</i> dan <i>reactive forensic stage</i> .	<i>Paper</i> ini ditulis oleh tiga orang, yakni Fahad Mazaed Alotaibi, Arafat AlDhaqm dan Yasser D. Al-Otaibi. Ketiga penulis tersebut kembali membuat <i>framework</i> baru pada tahun 2023 yang berfokus pada <i>drone forensic</i> .
8	<i>A Comparative UAV Forensic Analysis: Static and Live Digital Evidence Traceability Challenges</i>	Vivitar VTI Phoenix drone dan DJI Matrice 210	Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dan mengidentifikasi tantangan dalam pelacakan bukti digital berdasarkan metode <i>static</i> dan metode <i>live</i> pada UAV, guna meningkatkan metode respons insiden UAV dan memberikan wawasan baru dalam bidang forensik digital. Diketahui bahwa UAV jenis DJI Matrice 210 memiliki data penerbangan log yang terenkripsi	Penggunaan metode yang sama, yaitu metode <i>static</i> dan metode <i>live</i> pada investigasi UAV forensik. Ditemukan fakta bahwa UAV merek DJI Marice 210 memiliki data yang terenkripsi. Sehingga nantinya dapat dijadikan sebagai acuan bila penelitian pada tesis ini mengalami hal yang sama

Tabel 2.1 *Review* pada Penelitian Forensik UAV (Lanjutan)

No	Judul	Perangkat yang digunakan	Pembahasan	Keterkaitan
9	<i>Drone Forensics: A Case Study of Digital Forensic Investigations Conducted on Common Drone Models</i>	DJI Phantom 3, DJI Phantom 4, Bepop Parrot Drone1, Bepop Parrot Drone 2, Xiang Yu, dan Syma S5c	Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis forensik digital <i>drone</i> yang disita, dengan fokus pada ekstraksi data yang relevan secara forensik. Hasilnya diharapkan dapat membantu penegak hukum dalam mengumpulkan informasi signifikan yang diperlukan untuk investigasi kriminal.	Investigasi <i>drone forensic</i> untuk mendapat bukti digital yang dapat digunakan pada persidangan
10	<i>Drone Forensics: A Case Study on DJI Mavic Air 2</i>	DJI Mavic Air 2	Akuisisi pada <i>drone</i> menggunakan Teknik <i>chip-off</i> dan <i>chip-on</i>	Cara melakukan analisis forensika digital pada perangkat UAV DJI

## 2.2 *Unmanned Aerial Vehicle* atau *Drone*

*Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau yang lebih dikenal dengan sebutan drone merupakan wahana udara tanpa awak yang dapat terbang tanpa dikendalikan langsung oleh pilot dari dalam pesawat tersebut. UAV dikendalikan dari jarak jauh menggunakan remote control atau dikendalikan secara otonom melalui sistem komputer yang telah diprogram sebelumnya. Teknologi ini awalnya banyak digunakan dalam dunia militer, namun saat ini penggunaannya telah meluas ke berbagai sektor sipil seperti pemetaan, pengawasan lingkungan, pertanian, logistik, dan sebagainya (Daud et al., 2022).

Saat ini, UAV tidak hanya digunakan dalam dunia militer, tetapi juga dimanfaatkan oleh sektor swasta, industri, hingga masyarakat umum. Penggunaan UAV telah merambah ke berbagai bidang seperti pemetaan, pengawasan lingkungan, pertanian presisi,

dokumentasi visual, logistik, serta eksplorasi dan pengintaian wilayah. Fungsinya yang fleksibel menjadikan UAV sebagai salah satu teknologi yang sangat adaptif dan multifungsi (Kumar & Agrawal, 2021a).

Sejalan dengan peningkatan kebutuhan dan kemudahan akses terhadap teknologi ini, penjualan UAV pun mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, baik untuk keperluan pribadi maupun komersial. Jika sebelumnya penggunaan UAV terbatas hanya untuk kalangan tertentu, kini siapa pun dapat memanfaatkannya untuk berbagai kebutuhan teknis dan praktis di lapangan (Al-Dhaqm et al., 2021a). Hal ini membuktikan bahwa UAV telah berevolusi menjadi alat yang tidak hanya canggih secara teknis, tetapi juga inklusif secara fungsional.

Dalam konteks forensik digital, UAV memiliki signifikansi khusus karena menyimpan berbagai artefak digital penting yang dapat dianalisis untuk keperluan investigasi. Setiap penerbangan UAV biasanya menghasilkan log penerbangan, data lokasi, metadata kamera, serta jejak digital lainnya yang tersimpan pada drone maupun pada perangkat pengendali seperti *smartphone* atau *remote controller*. Artefak tersebut dapat mencerminkan aktivitas pengguna, lokasi, waktu, dan konten visual selama misi penerbangan (Almusayli et al., 2024; Horsman, 2016). Oleh karena itu, UAV kini dianggap sebagai sumber bukti digital potensial dalam investigasi, pelanggaran wilayah udara, dan insiden lainnya yang melibatkan teknologi pesawat tanpa awak.

### **2.3 Remote Control N1**

*Remote Control N1* (RC-N1) adalah salah satu *controller* resmi yang dirancang dan diproduksi oleh DJI, perusahaan terkemuka dalam industri drone komersial dan konsumen. RC-N1 digunakan untuk mengendalikan berbagai jenis drone DJI, termasuk seri DJI Mini 2 (Stanković et al., 2021), DJI Mini 3 Pro, DJI Mavic 2 dan DJI Air 2S (*DJI RC-N1 Remote Controller*, 2025). *controller* ini merupakan tipe standar yang tidak memiliki layar bawaan, sehingga pengguna perlu menghubungkan *smartphone* ke perangkat ini melalui kabel USB untuk menampilkan video dan fitur kontrol penerbangan melalui aplikasi DJI Fly. RC-N1 menggunakan sistem transmisi video OcuSync 2.0 atau OcuSync 3.0 (*DJI RC-N1 Remote Controller*, 2025). Dengan desain ergonomis serta kapasitas baterai internal yang cukup besar, *controller* ini dapat bertahan hingga 6 jam dalam kondisi penggunaan aktif. RC-N1 juga dilengkapi berbagai tombol kontrol penting seperti *Return to Home* (RTH), *dial* pengaturan gimbal kamera, serta tombol fungsi kustomisasi (*Fn Button*) yang dapat diatur sesuai kebutuhan pengguna. Menariknya, pada batch awal produksi RC-N1/RC-N1C, *mode*

paling kiri pada sakelar mode penerbangan diberi label “*Tripod*” atau “*T mode*”. Namun, pada versi selanjutnya, label ini diubah menjadi “*Cine mode*” atau “*C mode*.” Walaupun nama dan penandaan berbeda, kedua mode ini memiliki fungsi yang identik, yakni memperlambat kecepatan gerak dan meningkatkan stabilitas manuver UAV, sehingga ideal untuk pengambilan gambar sinematik yang presisi (*Description of Remote Controller Modes, 2025*).



Gambar 2.1 DJI RC-N1

(Sumber: *Description of Remote Controller Modes, 2025*)

## 2.4 *Smartphone* Android

*Smartphone* Android adalah perangkat telepon pintar yang menggunakan sistem operasi Android, yakni sistem operasi berbasis kernel Linux yang dikembangkan oleh Google dan dirancang khusus untuk perangkat mobile (Nowfeek, 2022). Android menjadi sistem operasi paling populer di dunia karena bersifat *open-source* dan mendukung berbagai produsen perangkat keras seperti Samsung, Xiaomi, Oppo, Vivo, dan lainnya. *Smartphone* Android memiliki kemampuan komputasi yang canggih, memungkinkan pengguna untuk menjalankan berbagai aplikasi seperti media sosial, navigasi, kamera, produktivitas, hingga pengendalian perangkat seperti drone melalui aplikasi khusus seperti DJI Fly. Fitur-fitur umum dari *smartphone* Android meliputi layar sentuh, konektivitas internet, GPS, kamera, serta penyimpanan internal dan eksternal. Fleksibilitas dan skalabilitas Android juga memungkinkan pengembang untuk menyesuaikan perangkat lunak sesuai kebutuhan, menjadikan Android sebagai platform utama dalam berbagai riset dan pengembangan

teknologi (Altuwaijri & Ghouzali, 2020), termasuk dalam konteks forensik digital dan investigasi perangkat mobile (Stanković et al., 2021). Karena perangkat android dapat diintegrasikan dengan RC-N1 sebagai *controller* pada UAV. Sehingga dapat menjadi objek penelitian pada UAV forensik sebagai *controller* dari UAV itu sendiri.

## **2.5 Akuisisi pada Digital Forensik**

Akuisisi digital forensik adalah proses penting dalam penyelidikan digital yang bertujuan untuk menyalin data dari perangkat digital secara menyeluruh dan utuh, tanpa mengubah data asli. Proses ini dilakukan guna mengumpulkan, menjaga, dan menganalisis bukti digital secara sah, dapat diterima di pengadilan, serta sesuai dengan prinsip-prinsip forensik (Kävrestad et al., 2024; Shetty & Shetty, 2020). Dalam praktiknya, metode akuisisi dibagi menjadi dua pendekatan utama, yaitu *static forensic* dan *dynamic forensic*, serta dua teknik berdasarkan kedalaman data yang diperoleh, yaitu *physical acquisition* dan *logical acquisition*.

### **2.5.1 Static Forensic**

*Static forensic* atau forensik statis adalah pendekatan akuisisi data digital yang dilakukan ketika perangkat target dalam kondisi mati (*powered off*). Dalam metode ini, penyidik terlebih dahulu membuat salinan data secara fisik dari media penyimpanan, seperti hard disk atau memori internal, kemudian menganalisisnya pada perangkat terpisah agar tidak mengubah bukti asli. Metode ini sering digunakan karena dinilai lebih aman dan meminimalkan risiko perubahan data. Namun, tantangannya adalah beberapa jenis data yang bersifat volatil, seperti data RAM atau sesi login aktif, tidak dapat diperoleh melalui metode ini (Isnaini & Widodo, 2023).

### **2.5.2 Dynamic Forensic**

*Dynamic forensic* atau forensik dinamis adalah pendekatan yang dilakukan ketika perangkat target dalam kondisi hidup (*powered on*). Metode ini memungkinkan penyidik untuk mengakses dan mengekstraksi data yang hanya tersedia saat perangkat menyala, seperti memori sementara (RAM), proses yang sedang berjalan, dan aplikasi yang sedang aktif. Pendekatan ini bermanfaat dalam kasus di mana data volatil sangat penting. Meski demikian, metode ini lebih berisiko karena interaksi langsung dengan sistem bisa menyebabkan

perubahan pada data asli, sehingga perlu dilakukan dengan sangat hati-hati dan sesuai prosedur yang dapat dipertanggungjawabkan (Gunawan & Grasia, 2023).

### **2.5.3 Physical Acquisition**

*Physical acquisition* adalah teknik akuisisi yang bertujuan untuk mendapatkan salinan bit-per-bit dari seluruh isi media penyimpanan, termasuk area yang tidak terlihat oleh sistem file, seperti ruang kosong (*unallocated space*), file yang terhapus, dan metadata tersembunyi. Teknik ini dianggap paling lengkap dan memungkinkan rekonstruksi data yang telah dihapus atau disembunyikan. Namun, teknik ini memerlukan waktu dan sumber daya yang lebih besar, serta tidak selalu didukung oleh semua perangkat, terutama perangkat mobile dengan sistem enkripsi yang kuat (Sathe & Dongre, 2018).

### **2.5.4 Logical Acquisition**

*Logical acquisition* adalah teknik pengambilan data dengan menyalin file atau struktur data yang terlihat oleh sistem operasi, seperti dokumen, foto, pesan, dan log aplikasi. Teknik ini lebih cepat dan umum digunakan terutama untuk perangkat *mobile*. Namun, karena hanya menyalin data yang “terlihat”, *logical acquisition* tidak dapat mengakses informasi tersembunyi atau yang telah dihapus, sehingga hasilnya tidak selengkap *physical acquisition*. Meski begitu, teknik ini tetap bermanfaat, terutama bila dilakukan pada perangkat yang tidak mendukung akuisisi fisik (Aji et al., 2020).

## **2.6 Bukti Digital**

Bukti digital merujuk pada informasi yang dihasilkan, disimpan, atau dikomunikasikan dalam format elektronik, yang dapat digunakan sebagai alat bukti dalam proses hukum. Dalam perkembangan dunia digital saat ini, keberadaan bukti digital menjadi sangat krusial seiring dengan meningkatnya penggunaan perangkat elektronik seperti komputer, smartphone, serta platform media sosial dalam kehidupan sehari-hari. Bukti digital tidak hanya terbatas pada data eksplisit yang dibuat oleh pengguna, seperti pesan teks, dokumen, atau foto digital, tetapi juga mencakup data implisit seperti metadata, log sistem, dan informasi residual lain yang sering kali tidak disadari oleh pengguna (Syukri, 2024). Data semacam ini berfungsi penting dalam menyusun kronologi kejadian yang sedang diinvestigasi (Saragih et al., 2024).

Dalam konteks penelitian ini, yang berfokus pada analisis forensik UAV DJI Mini 3 dan *smartphone* Android sebagai *controller*, bukti digital menjadi kunci utama untuk mengungkap aktivitas penerbangan UAV. Artefak seperti file log penerbangan, metadata dari media yang dihasilkan UAV, serta jejak aktivitas pada aplikasi DJI Fly yang terpasang di *controller*, menjadi sumber bukti digital yang valid. Dengan mengidentifikasi dan menafsirkan data digital tersebut, peneliti dapat merekonstruksi peristiwa serta mendukung proses investigasi forensik secara lebih sistematis dan akurat, sesuai dengan prinsip-prinsip forensik digital yang berlaku.

## 2.7 Konsep *Root* dan *Non-rooted*

*Root* merupakan akun sistem dengan hak akses tertinggi yang memberikan kewenangan penuh kepada pengguna untuk mengakses dan mengelola seluruh file, perintah, serta konfigurasi sistem operasi berbasis Linux, termasuk Android. Dengan akses *root*, pengguna dapat melakukan perubahan tingkat lanjut pada sistem, seperti menghapus aplikasi sistem, mengedit file sistem, hingga melakukan *overclock* atau mengubah performa perangkat keras. Akses ini membuka peluang untuk kustomisasi penuh terhadap perangkat, namun juga meningkatkan risiko terhadap keamanan dan stabilitas jika tidak digunakan dengan bijak. Oleh karena itu, proses *rooting* sering kali digunakan oleh para pengembang atau peneliti forensik untuk mendapatkan kendali total atas sistem dalam rangka analisis mendalam (Ichsan & Riadi, 2021).

Sebaliknya, perangkat Android yang tidak di-*root* (*non-rooted*) mempertahankan konfigurasi standar pabrik dengan batasan akses yang ketat bagi pengguna. Dalam kondisi ini, pengguna hanya dapat mengakses data dan fungsi yang tersedia melalui antarmuka resmi tanpa memiliki izin untuk mengubah, menambah, atau menghapus file sistem secara langsung. Pembatasan ini menjaga integritas sistem operasi dan melindungi perangkat dari potensi risiko keamanan yang dapat muncul akibat modifikasi tidak resmi. Dengan demikian, perangkat *non-rooted* memberikan lingkungan yang lebih stabil dan aman, namun juga membatasi kemampuan pengguna atau peneliti forensik untuk melakukan analisis mendalam yang memerlukan akses ke data sistem yang lebih dalam (Leonardo & Indrayani, 2022). Kondisi ini sering menjadi tantangan dalam forensik digital, khususnya saat mencoba mengakuisisi bukti tanpa merusak atau mengubah sistem asli.

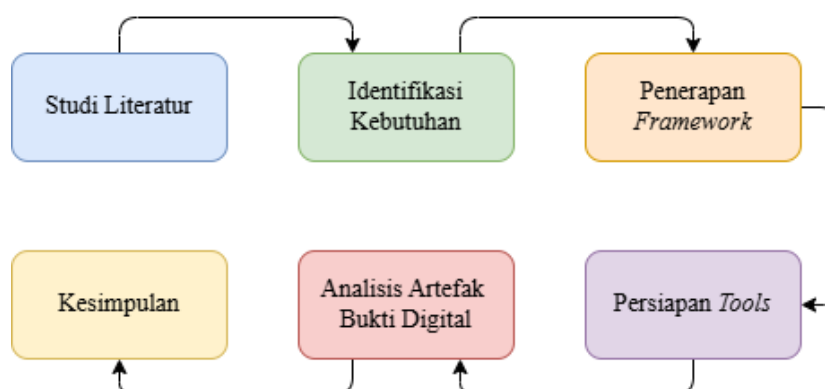
## 2.8 Data log

Data log pada UAV merujuk pada rekaman digital yang mencatat aktivitas penerbangan secara kronologis, termasuk informasi seperti waktu penerbangan, lokasi GPS, ketinggian, dan *device serial number*. Data ini biasanya tersimpan dalam format khusus, seperti file .txt, yang dapat dianalisis untuk merekonstruksi jalur penerbangan dan aktivitas UAV selama operasional (Al-Dhaqm et al., 2021b). Dalam konteks forensik digital, data log UAV menjadi sumber bukti yang sangat berharga karena dapat memberikan informasi yang tidak tersedia dari sumber lain. Misalnya, log penerbangan dapat mengungkapkan lokasi dan waktu spesifik dari aktivitas *drone*, yang dapat digunakan untuk mengaitkan *drone* dengan kejadian tertentu seperti pelanggaran batas wilayah (Prasty & Cipta, 2019).

## BAB 3

### Metodologi

Alur penelitian dalam tesis ini dirancang oleh penulis sebagai panduan sistematis dalam mencapai tujuan analisis forensik digital berdasarkan tahapan metodologi penelitian terdahulu (Al-Room et al., 2021; Kumar & Agrawal, 2021b; Yousef et al., 2020b), lalu disesuaikan dengan kebutuhan pada penelitian ini. Terdapat enam tahapan metodologi. Dimulai dengan studi literatur untuk memahami dasar teori dan penelitian terdahulu, dilanjutkan dengan identifikasi kebutuhan guna menentukan alat dan bahan yang dibutuhkan. Selanjutnya dilakukan penerapan *framework* yang relevan, diikuti oleh persiapan *tools* sebagai pendukung teknis. Setelah itu, dilakukan analisis artefak bukti digital untuk mengidentifikasi temuan forensik selama penelitian, dan diakhiri dengan kesimpulan yang merangkum hasil investigasi UAV forensik. Adapun langkah-langkah alur penelitian yang telah ditempuh dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Metodologi Alur Proses Penelitian

#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *Narrative Literature Review*, yaitu metode penelaahan literatur yang bersifat deskriptif dan eksploratif terhadap karya-karya ilmiah yang relevan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memahami perkembangan konsep, teknik, dan temuan terdahulu yang berkaitan dengan forensik digital, khususnya pada perangkat UAV dan *smartphone* Android. Literatur yang dikaji meliputi jurnal ilmiah, prosiding konferensi, serta laporan penelitian dari lima tahun terakhir, yang digunakan untuk membangun kerangka teori, mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*), dan merancang pendekatan metodologis dalam penelitian ini. Penelaahan ini berperan

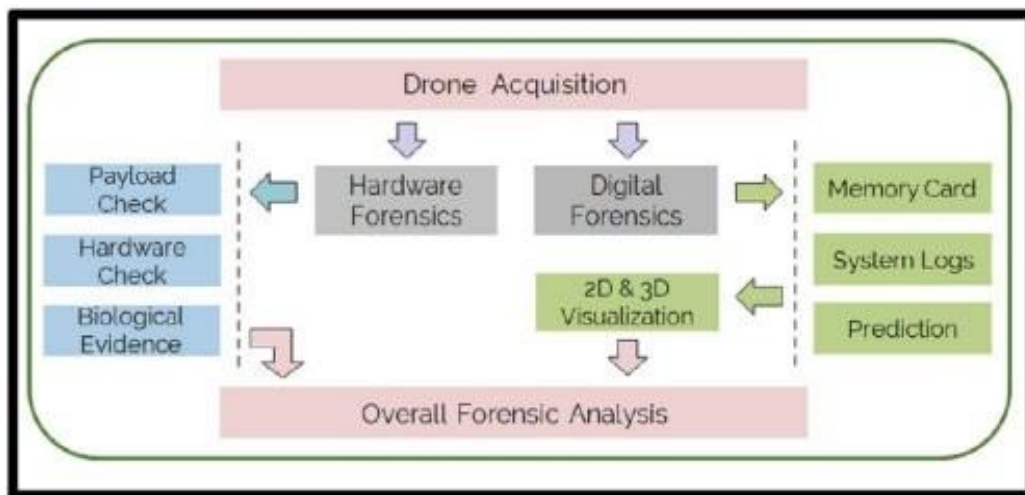
penting dalam memastikan bahwa penelitian berjalan dalam koridor keilmuan yang valid dan sesuai dengan praktik terkini di bidang forensik digital (Snyder, 2019).

### 3.2 Identifikasi Kebutuhan

Tahapan ini merupakan proses identifikasi terhadap kebutuhan dan sumber daya yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian, guna membangun lingkungan kerja yang sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Hal ini mencakup penentuan lokasi penelitian, perangkat UAV, *controller*, komputer, serta aplikasi yang digunakan dalam proses akuisisi dan analisis.

### 3.3 Penerapan *Framework* Penelitian

Dalam ranah dunia digital forensik, ada beberapa *framework* yang dapat digunakan, seperti *framework National Institute of Standards and Technology (NIST)*, *National Institute of Justice (NIJ)*, dan lain sebagainya. Namun, khusus dalam bidang UAV *forensic*, terdapat penelitian terdahulu pada tahun 2019 yang pernah dilakukan penelitian UAV *forensic* menggunakan *framework* yang diusulkan oleh Renduchintala et al. Alur tahapan *framework* Renduchintala et al. dapat dilihat pada Gambar 3.2 (Renduchintala et al., 2019).

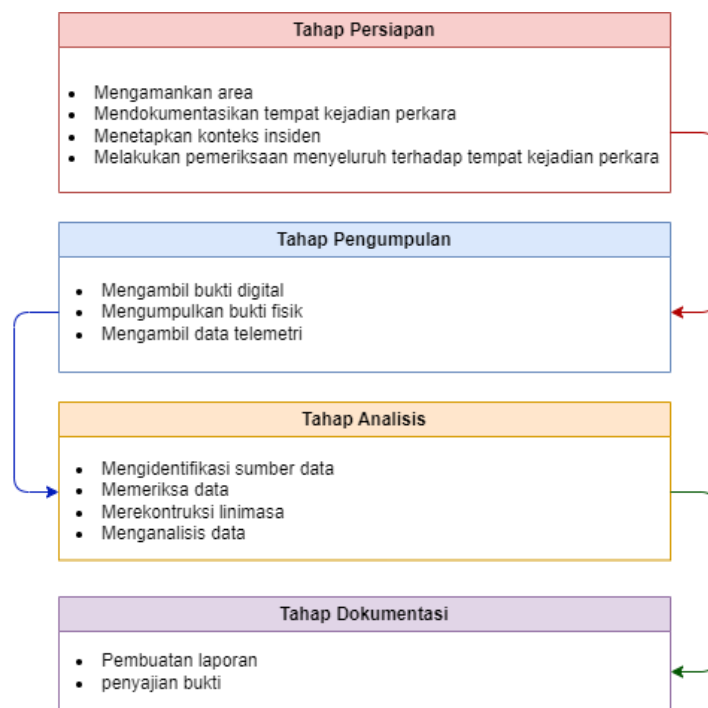


Gambar 3.2 *Framework* Renduchintala et al.

(Sumber: Renduchintala et al., 2019)

Berdasarkan Gambar 3.2, *framework* yang diusulkan oleh Renduchintala et al. mengilustrasikan proses akuisisi UAV melalui dua jalur utama, yaitu *hardware forensics* dan *digital forensics*. Komponen yang dapat diakuisisi meliputi kartu memori eksternal dan sistem log, termasuk log penerbangan yang terekam oleh perangkat UAV. Meskipun *framework* ini sudah mengakomodasi tahapan pemeriksaan seperti *hardware check* dan

*payload check*, namun belum terlihat adanya penekanan terhadap prosedur verifikasi integritas data, seperti *hashing* atau validasi digital. Padahal, langkah tersebut krusial untuk menjamin keabsahan bukti dalam proses litigasi. Selain itu, tidak adanya fase preservasi dan pelaporan (*reporting*) juga menjadi keterbatasan signifikan, mengingat dokumentasi temuan forensik merupakan bagian penting dalam penyusunan barang bukti secara formal. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, penelitian ini memilih menggunakan *framework Conceptual Digital Forensics Model for The Drone Forensic (DRF) Field* (F. Alotaibi et al., 2023). Berdasarkan gambar alurnya, *framework* tersebut dapat digunakan untuk menangani karakteristik dari perangkat UAV, yang tidak sepenuhnya dapat dijangkau oleh *framework* forensik digital konvensional. *Framework* ini menyediakan alur kerja yang runut dan sistematis, mulai dari tahap akuisisi data, analisis data digital, hingga pelaporan (*reporting*) hasil forensik, sehingga mampu mengakomodasi kebutuhan investigasi UAV secara menyeluruh. Pemilihan *framework* ini juga bertujuan untuk memberikan kontribusi terhadap *framework* baru dan pengembangan keilmuan forensik digital, khususnya dalam bidang UAV forensik, seiring dengan pesatnya evolusi teknologi dan meningkatnya ancaman yang ditimbulkan dari penggunaan UAV (Mekdad et al., 2023). Gambar *framework Conceptual Digital Forensics Model for DRF Field* dapat dilihat pada Gambar 3.3 (F. Alotaibi et al., 2023).



Gambar 3.3 *Framework Conceptual Digital Forensics Model for DRF Field*

(Sumber: F. Alotaibi et al., 2023)

### 3.4 Persiapan *Tools*

Pada tahap ini ditentukan *hardware* dan *software* apa saja yang akan digunakan pada penelitian ini.

#### 3.4.1 *Hardware*

1. DJI Mini 3. Spesifikasi untuk keperluan forensik pada DJI Mini 3 dapat dilihat pada LAMPIRAN A.
2. VIVO V19 dengan sistem operasi Android sebagai *controller*. Gambar DJI RC-N1 dapat dilihat pada LAMPIRAN A dan Spesifikasi VIVO V19 untuk keperluan forensik dapat dilihat pada LAMPIRAN B.
3. Laptop Acer CPU Intel Core i5 Generasi 8, sebagai alat untuk melakukan aktivitas forensik, seperti akuisisi, analisis dan lain sebagainya.

#### 3.4.2 *Software*

Berikut *software* yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsinya. Tabel 3.1 menjelaskan secara ringkas peran masing-masing *software* dalam proses UAV forensik.

Tabel 3.1 Daftar *Software* yang digunakan beserta fungsinya

No.	Nama <i>Software</i>	Versi	Fungsi dalam penelitian
1	Microsoft Windows	11	Sistem operasi laptop yang digunakan dalam penelitian ini
2	DJI Fly	1.31.10	Aplikasi pengontrol UAV DJI Mini 3, serta aplikasi yang menyimpan data dari UAV.
3	Android	12	Sistem operasi pada <i>smartphone</i> yang digunakan sebagai <i>controller</i> UAV.
4	FTK Imager	4.7.1	Melakukan proses akuisisi pada UAV
5	Autopsy	4.21.0	Menganalisis file <i>image</i> hasil akuisisi
6	MOBILedit Forensic Express PRO	7.4.1.21502	Melakukan <i>physical acquisition</i> , serta analisis artefak digital dari <i>smartphone</i> Android
7	Android Debug Bridge (ADB)	35.0.2	Mengakses dan mengambil data dari <i>smartphone</i> Android secara <i>logical acquisition</i> menggunakan <i>command-line interface (non-rooted)</i>

Tabel 3.1 Daftar *Software* yang digunakan beserta fungsinya (Lanjutan)

No.	Nama <i>Software</i>	Versi	Fungsi dalam penelitian
8	Phantomhelp.com	<i>Website</i>	Alat <i>online</i> untuk menganalisis dan mengonversi log penerbangan .txt menjadi .kmz
9	Google Earth	<i>Website</i>	Menampilkan visualisasi lintasan penerbangan UAV berdasarkan koordinat GPS dan log penerbangan

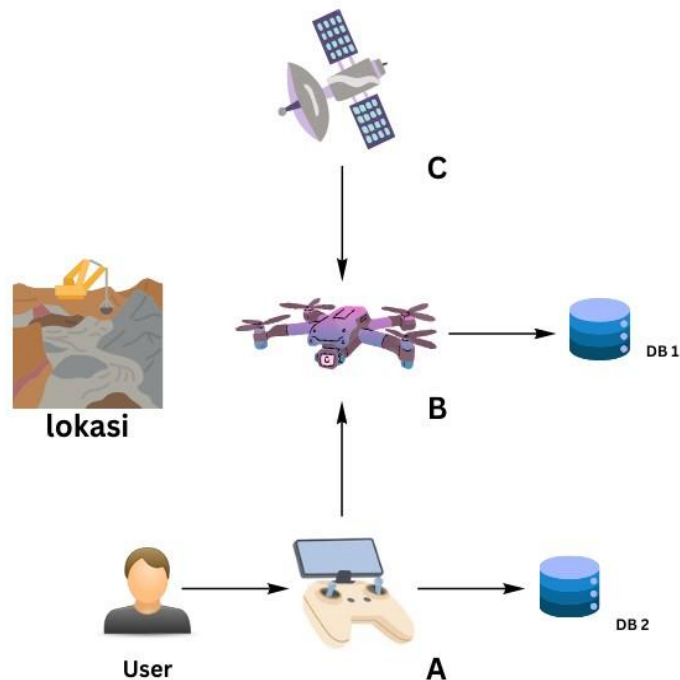
### 3.5 Analisis Artefak Bukti Digital

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan *pattern-based analysis*, *comparative analysis*, dan *visual-spatial interpretation* terhadap artefak digital yang diperoleh dari UAV DJI Mini 3 dan *controller* berbasis *smartphone* Android. Analisis dilakukan terhadap hasil akuisisi artefak berupa file log penerbangan, metadata EXIF dari foto dan video, informasi akun pengguna, serta struktur direktori aplikasi DJI Fly. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menilai relevansi, nilai forensik, dan keterkaitan setiap artefak terhadap konteks pelanggaran wilayah udara yang disimulasikan.

Teknik *pattern-based analysis* digunakan untuk mengidentifikasi keterkaitan log aktivitas penerbangan dengan bukti pendukung lainnya, seperti waktu, lokasi, dan identitas pengguna. Sementara itu, *comparative analysis* diterapkan dengan membandingkan temuan artefak dari pendekatan *non-rooted* dalam penelitian ini terhadap hasil dari studi sebelumnya yang menggunakan metode *rooted*, guna mengevaluasi efektivitas dan keterbatasan pendekatan yang digunakan. Selain itu, analisis *visual-spatial* dilakukan melalui konversi file log ke dalam format .kmz dan visualisasinya menggunakan Google Earth untuk mengamati jalur penerbangan UAV secara geografis. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap aktivitas UAV dalam konteks ruang dan waktu.

#### 3.5.1 Skenario Penerbangan UAV

Skenario penerbangan UAV dibuat untuk menggambarkan skenario pelanggaran batas wilayah yang dilakukan oleh salah satu karyawan perusahaan dalam menerbangkan UAV. Adapun skenario penggunaan UAV pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tahapan Skenario Penerbangan

Berikut ini merupakan penjelasan dari Gambar 3.4.

- A. *Controller* yang digunakan merupakan jenis DJI Remote Control-N1 atau yang biasa disebut dengan RC-N1. *controller* tersebut akan dihubungkan dengan *smartphone* berbasis Android sebagai layar dari *controller* tersebut.
- B. Perangkat UAV yang digunakan untuk melakukan penerbangan di area lokasi.
- C. Merupakan satelit yang digunakan untuk navigasi GPS.
- DB.1. *Database* yang terdapat didalam *storage* berupa MicroSD UAV yang terindikasi terdapat data informasi.
- DB. 2 *Database* yang terdapat pada *controller* berupa memori internal perangkat mobile berbasis android sebagai alat untuk mengendalikan penerbangan UAV.
- USER. Pilot yang menerbangkan serta mengendalikan secara penuh UAV menggunakan *controller*.

### 3.5.2 Simulasi Pelanggaran Penerbangan UAV

Disimulasikan seorang karyawan dari suatu perusahaan tambang batubara, yang bertanggung jawab sebagai operator UAV, diberi tugas untuk melakukan survei udara dan pemetaan jalan pada area tambang yang sudah ditentukan. Namun, dalam menjalankan tugasnya, operator tersebut menerbangkan UAV DJI Mini 3 di luar batas wilayah operasi

perusahaan tanpa izin. Gambaran umum area simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Area Simulasi Penerbangan UAV



Gambar 3.6 Area Simulasi Penerbangan UAV Tampak Dekat

Selanjutnya, insiden ini terlihat oleh karyawan lain, lalu melapor pada atasan adanya penerbangan UAV di luar zona yang diperbolehkan. Tim keamanan perusahaan segera merespon dengan menghentikan operasi UAV dan mengamankan perangkat untuk analisis

lebih lanjut. UAV beserta DJI RC-N1 yang terhubung dengan *smartphone* berbasis android milik operator disita untuk dilakukan investigasi forensik guna mendapatkan bukti digital. Hasil akuisisi hingga analisis pada forensik UAV dan *controller* tersebut akan digunakan untuk menyusun laporan yang akan digunakan dalam tindakan disipliner terhadap operator yang melanggar aturan perusahaan.

Berdasarkan pemaparan simulasi tersebut, berikut ini gambaran diagram alur simulasi pelanggaran penerbangan yang terjadi pada UAV. Dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Alur Proses Skenario Simulasi Pelanggaran Penerbangan UAV

Berdasarkan Gambar 3.7, maka tahap pertama yang dilakukan adalah seorang karyawan menerbangkan UAV pada lokasi perbatasan area pertambangan yang sudah ditentukan untuk melakukan survei atau pemetaan jalan. Namun, saat melakukan hal tersebut, ada karyawan yang melihat dan melaporkan bahwa UAV terbang diluar batas daerah/wilayah perusahaan. Sehingga UAV didaratkan. Namun setelah UAV didaratkan, karyawan yang bertugas mengoperasikan UAV tersebut menghapus data-data yang ada pada UAV berupa foto dan video. Setelah itu, UAV dan *controller* disita untuk dijadikan alat bukti untuk dilakukan forensik. Kegiatan forensik tersebut dilakukan untuk mendapatkan artefak atau data apa saja yang dapat diperoleh pada UAV dan *controller*.

## **BAB 4**

### **Hasil dan Pembahasan**

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan dari proses akuisisi serta analisis forensik digital terhadap dua perangkat utama, yaitu UAV DJI Mini 3 dan DJI RC-N1 yang terintegrasi dengan *smartphone* berbasis Android. Seluruh hasil dianalisis dan disusun berdasarkan tahapan dalam framework *Conceptual Digital Forensics Model for the Drone Forensic (DRF) Field*, yang meliputi tahap persiapan, akuisisi, analisis, hingga pelaporan. Untuk menjaga alur pembahasan yang sistematis dan terstruktur, penyajian hasil difokuskan terlebih dahulu pada perangkat UAV, kemudian dilanjutkan dengan pembahasan terhadap *controller* Android sebagai bagian dari sistem kendali UAV.

#### **4.1 Tahap Persiapan**

Pada tahap awal berdasarkan framework yang digunakan, dilakukan proses persiapan yang mencakup identifikasi lokasi, dokumentasi awal, serta simulasi insiden untuk membentuk konteks investigasi forensik. Penelitian ini disimulasikan pada sebuah area pertambangan yang berlokasi di salah satu desa di Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Lokasi tersebut dipilih karena mencerminkan lingkungan kerja nyata di sektor pertambangan yang umum menggunakan UAV untuk aktivitas pemetaan. Simulasi difokuskan pada pelanggaran operasional UAV yang dilakukan oleh operator dengan cara menerbangkan UAV melewati batas wilayah pemetaan yang telah ditentukan oleh pihak perusahaan.

Dokumentasi awal dilakukan dalam bentuk foto udara dan tangkapan visual dari area yang menjadi objek pemetaan. Ketiga gambar diperoleh melalui penerbangan simulasi menggunakan UAV DJI Mini 3 dalam rangka membentuk skenario pelanggaran yang akan dianalisis secara forensik. Gambar pertama menunjukkan kondisi umum area tambang yang menjadi cakupan utama misi penerbangan UAV dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Batas Daerah Perusahaan dengan Lahan Milik Warga

Gambar 4.1 mendokumentasikan pagar kecil batas jalan tambang yang secara operasional seharusnya tidak dilintasi oleh UAV.



Gambar 4.2 Seorang Petani di Kebun

Sementara itu, Gambar 4.2 menunjukkan UAV sedang terbang di area perkebunan warga yang berada di luar batas wilayah resmi operasional. Gambar 4.3 selanjutnya memperlihatkan bahwa UAV juga terdeteksi terbang di atas area pemukiman warga, yang jelas berada di luar area pertambangan yang telah ditentukan dalam simulasi. Ketiga dokumentasi visual ini berfungsi sebagai representasi awal dari insiden pelanggaran wilayah

yang disimulasikan dan digunakan sebagai acuan perbandingan terhadap artefak digital yang diperoleh melalui tahap akuisisi dan analisis selanjutnya.



Gambar 4.3 Pemukiman Warga

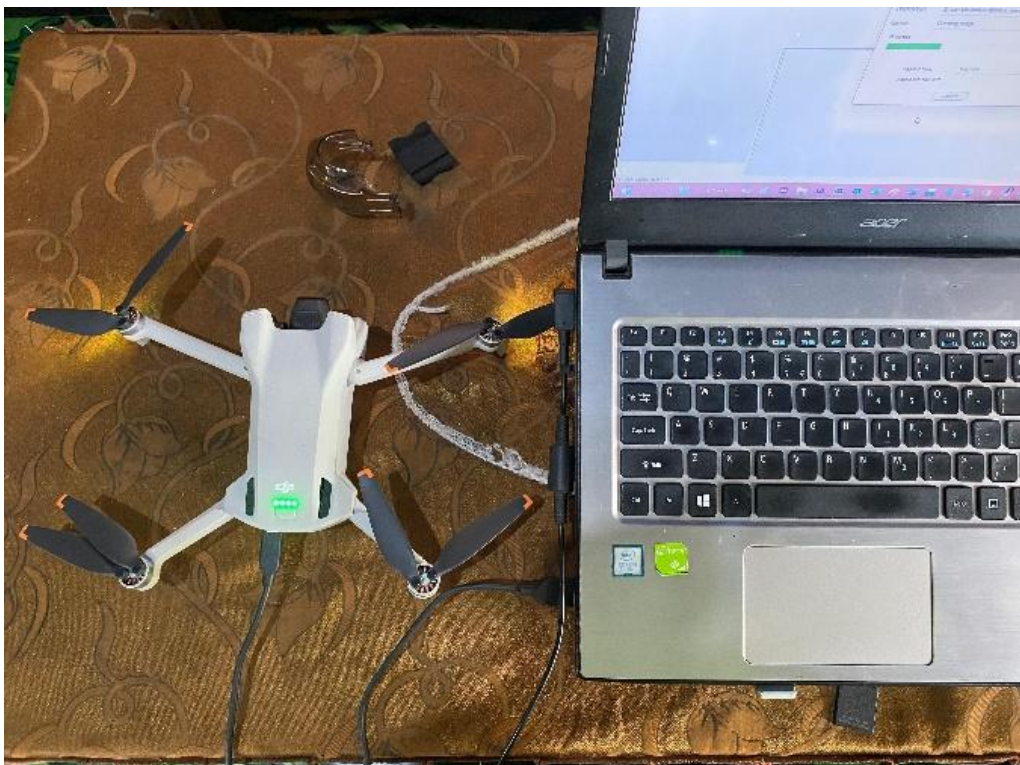
## 4.2 Tahap Akuisisi/Pengumpulan

Tahap kedua adalah tahap pengumpulan. Pada tahap ini dilakukan langkah akuisisi pada UAV dan *controller*. Pada UAV dilakukan akuisisi dengan metode statis dan dinamis secara *physical acquisition*. Pada langkah statis, Micro SD pada UAV dihubungkan dengan Adapter. Adapter tersebut lalu diakuisisi menggunakan FTK Imager untuk mendapatkan file imaging berekstensi .001. Setelah proses akuisisi selesai, FTK Imager secara otomatis menampilkan perbandingan nilai hash MD5 dan SHA1 antara sumber data dan file hasil duplikasi. Berdasarkan hasil verifikasi, nilai hash tersebut menunjukkan kecocokan (*matching*), yang menandakan bahwa integritas data telah terjaga selama proses akuisisi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Drive/Image Verify Results	
Name	uavdjimini3.001
Sector count	62333952
<b>MD5 Hash</b>	
Computed hash	99ede1ed9d521f5af817c3c6a204b656
Report Hash	99ede1ed9d521f5af817c3c6a204b656
Verify result	Match
<b>SHA1 Hash</b>	
Computed hash	1080047c23fa4f30841c5afca5ff0914df44001
Report Hash	1080047c23fa4f30841c5afca5ff0914df44001
Verify result	Match
<b>Bad Blocks List</b>	
Bad block(s) in image	No bad blocks found in image

Gambar 4.4 Nilai Hash Akuisisi UAV DJI Mini 3 Metode Statis

Proses selanjutnya adalah akuisisi dengan metode dinamis. Dalam metode ini, UAV dalam kondisi menyala kemudian dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB Type-C. Akuisisi dilakukan menggunakan perangkat lunak FTK Imager untuk menghasilkan file citra forensik dengan ekstensi .001. Setelah proses akuisisi selesai, perangkat lunak secara otomatis menampilkan nilai hash MD5 dan SHA1 dari data sumber dan hasil salinan. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa kedua nilai hash tersebut identik, yang berarti integritas data berhasil dipertahankan selama proses akuisisi. Prosedur ini dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Proses Akuisisi UAV DJI Mini 3 Metode Dinamis

Drive/Image Verify Results	
Name	uavdjimini3_menyala_terhubungkontroler.001
Sector count	62333952
<b>MD5 Hash</b>	
Computed hash	97ffa486b66e0952c658f1d8aa8aa6d2
Report Hash	97ffa486b66e0952c658f1d8aa8aa6d2
Verify result	Match
<b>SHA1 Hash</b>	
Computed hash	5395870856abb5fc3afeca81029a01125a03ca6d
Report Hash	5395870856abb5fc3afeca81029a01125a03ca6d
Verify result	Match
<b>Bad Blocks List</b>	
Bad block(s) in image	No bad blocks found in image

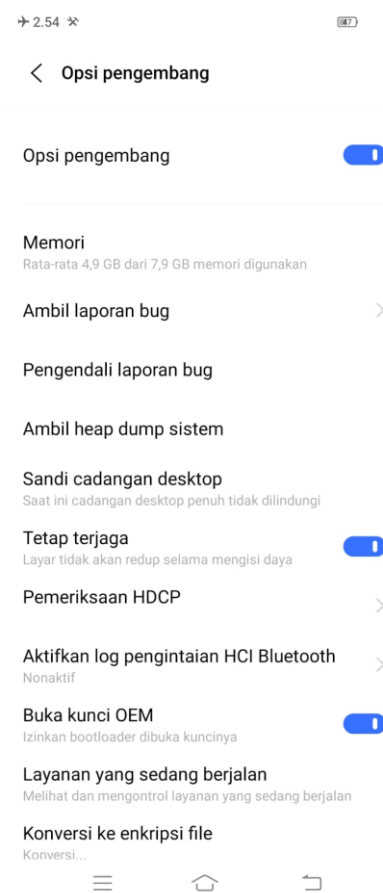
Gambar 4.6 Nilai Hash pada Akuisisi UAV DJI Mini 3 Metode Dinamis

Selanjutnya, pada *controller* Android *smartphone* dilakukan akuisisi dengan metode statis (mode pesawat) secara *physical acquisition*.

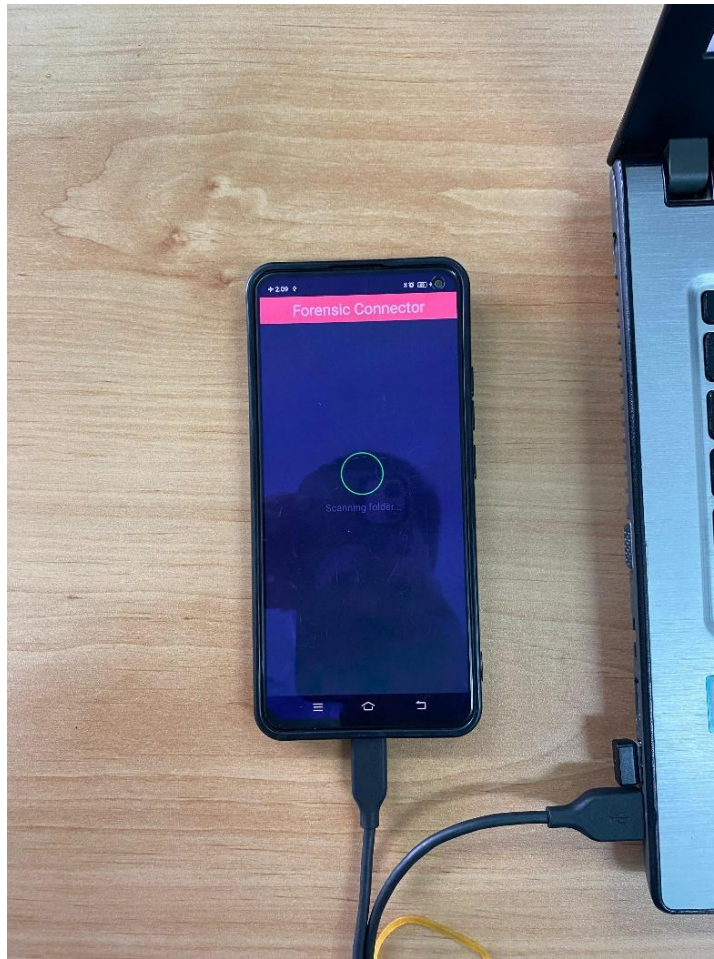


Gambar 4.7 VIVO V19 *android smartphone*

Langkah pertama, aktifkan mode opsi pengembang pada perangkat *smartphone*, klik aktifkan izin *debugging*, setelah itu perangkat *smartphone* dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB *Type-C* untuk dilakukan akuisisi menggunakan tools MOBILedit Forensic Express PRO.

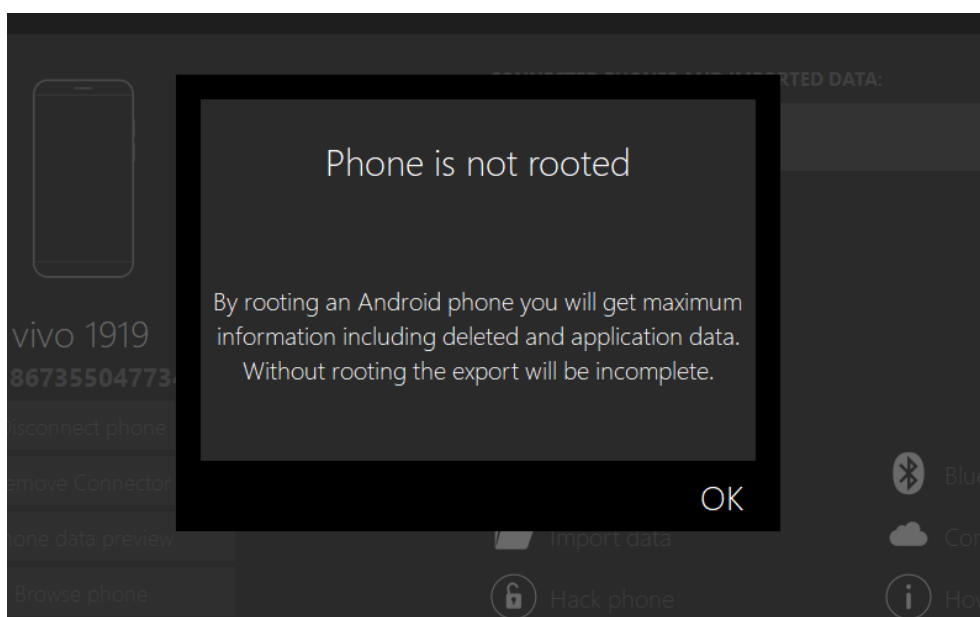


Gambar 4.8 Mengaktifkan Opsi Pengembang



Gambar 4.9 Proses akuisisi VIVO V19

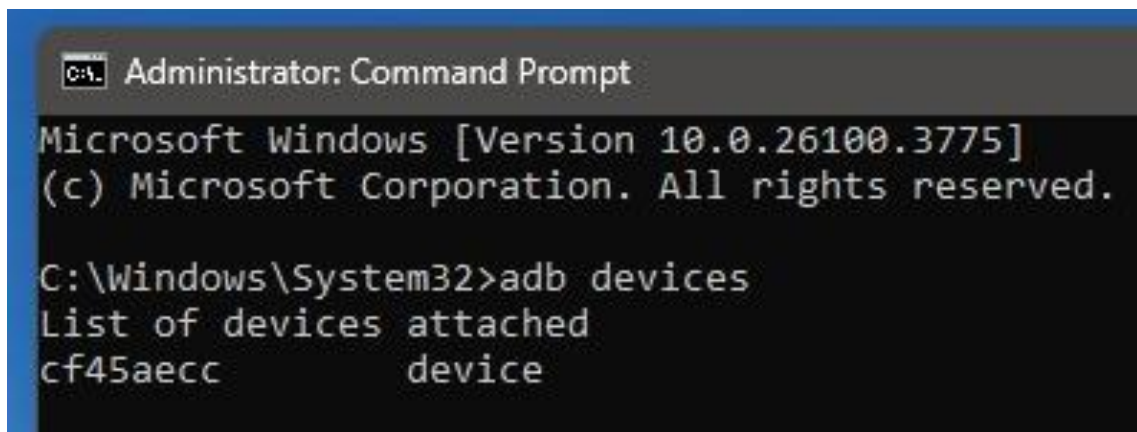
Pada tahap ini, tools MOBILedit menampilkan jendela informasi bahwa data artefak tidak akan lengkap bila perangkat *smartphone* tidak di-root. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Jendela Informasi Perangkat Mobile Belum di-root

File akuisisi dari proses *physical acquisition* pada *smarphone* dari tools MOBILedit menghasilkan tiga buah file yang siap untuk dianalisis, yakni Report.pdf, Report\_index.html, dan Report\_long.html.

Selanjutnya dilakukan proses *logical acquisition* karena pada hasil akuisisi menggunakan tools MOBILedit, tidak ditemukan file log penerbangan dari UAV. Tools yang digunakan pada tahap ini adalah ADB yang diketahui dapat digunakan untuk ekstraksi data dalam keperluan forensik (Akintola, 2025). Akuisisi menggunakan ADB harus dilakukan secara manual menggunakan *Command Prompt* (CMD).

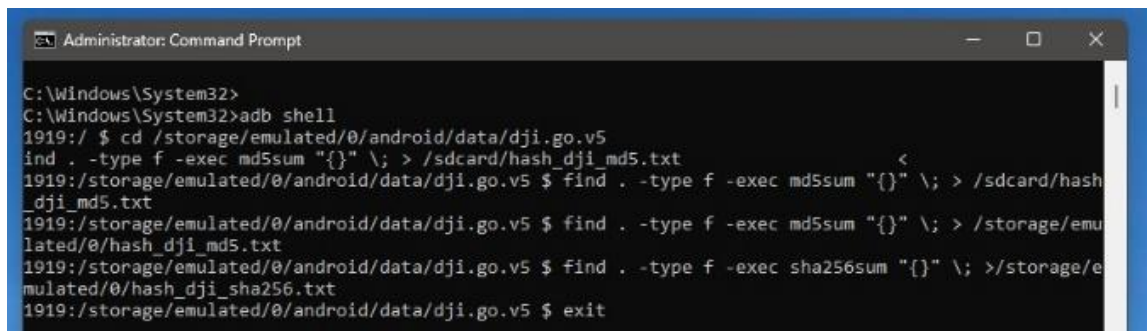


```
C:\> Administrator: Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.26100.3775]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Windows\System32>adb devices
List of devices attached
cf45aecc      device
```

Gambar 4.11 Hashing Hasil Akuisisi

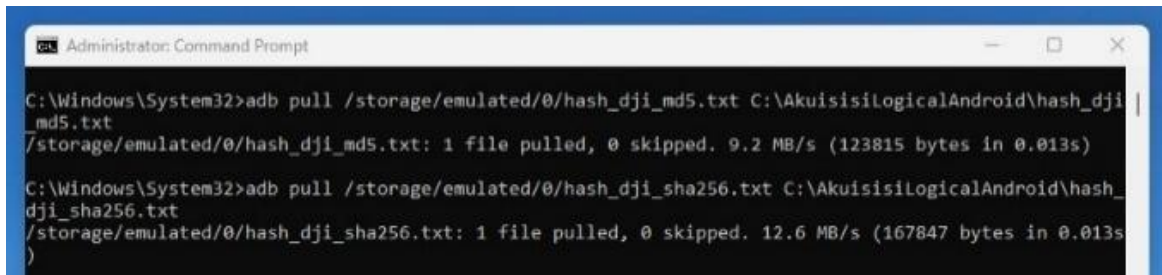
Gambar 4.11 merupakan proses memberi nilai hash pada file-file yang telah diakuisisi.



```
Administrator: Command Prompt
C:\Windows\System32>
C:\Windows\System32>adb shell
1919:/ $ cd /storage/emulated/0/android/data/dji.go.v5
ind . -type f -exec md5sum "{}" \; > /sdcard/hash_dji_md5.txt
1919:/storage/emulated/0/android/data/dji.go.v5 $ find . -type f -exec md5sum "{}" \; > /sdcard/hash_dji_md5.txt
1919:/storage/emulated/0/android/data/dji.go.v5 $ find . -type f -exec md5sum "{}" \; > /storage/emulated/0/hash_dji_md5.txt
1919:/storage/emulated/0/android/data/dji.go.v5 $ find . -type f -exec sha256sum "{}" \; > /storage/emulated/0/hash_dji_sha256.txt
1919:/storage/emulated/0/android/data/dji.go.v5 $ exit
```

Gambar 4.12 Hashing File Asli

Gambar 4.12 merupakan proses memberi nilai hash pada data asli yang terdapat pada *smartphone*.



```
Administrator: Command Prompt
C:\Windows\System32>adb pull /storage/emulated/0/hash_dji_md5.txt C:\AkuisisiLogicalAndroid\hash_dji_md5.txt
/storage/emulated/0/hash_dji_md5.txt: 1 file pulled, 0 skipped. 9.2 MB/s (123815 bytes in 0.013s)
C:\Windows\System32>adb pull /storage/emulated/0/hash_dji_sha256.txt C:\AkuisisiLogicalAndroid\hash_dji_sha256.txt
/storage/emulated/0/hash_dji_sha256.txt: 1 file pulled, 0 skipped. 12.6 MB/s (167847 bytes in 0.013s)
```

Gambar 4.13 Mengambil Data *Hashing* File-file Asli dari *Smartphone*

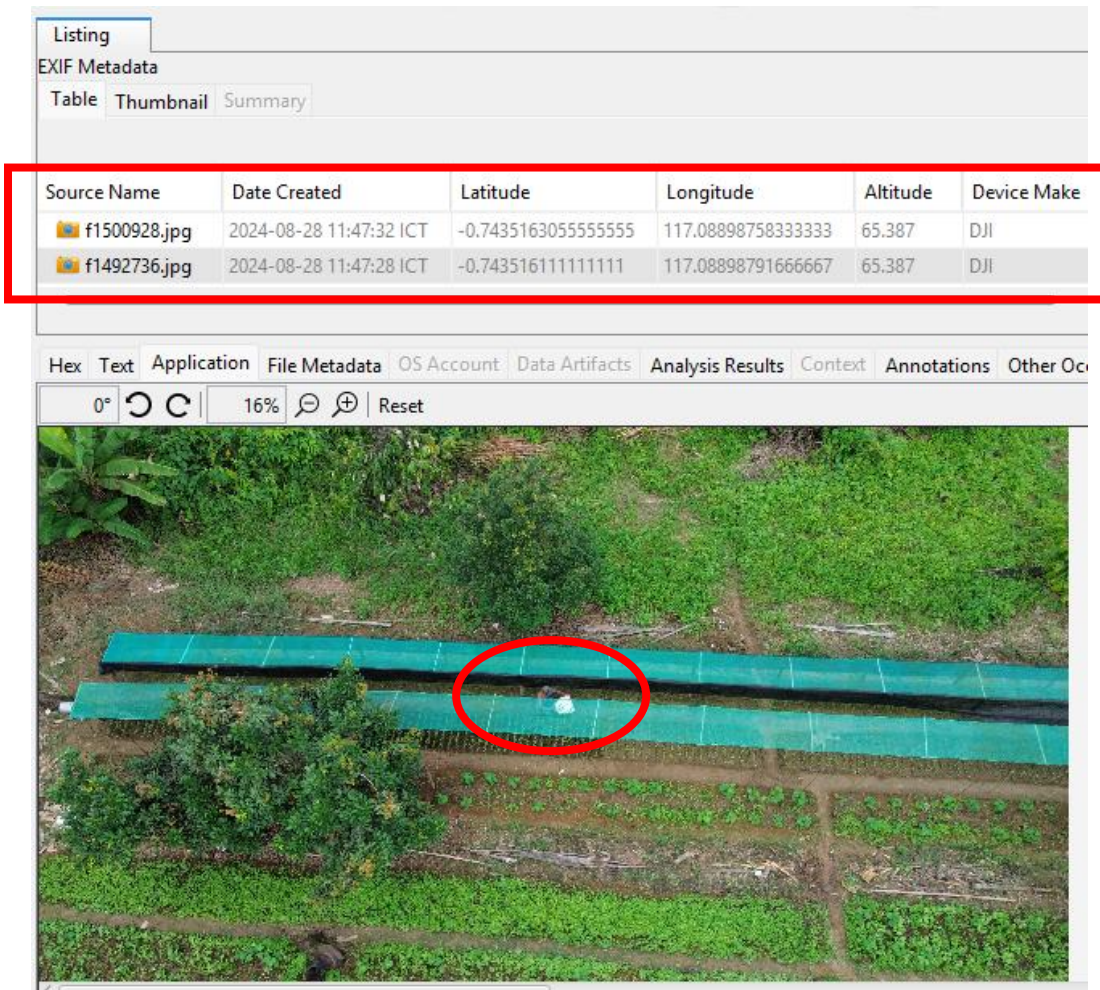
Gambar 4.13 Merupakan proses pengambilan data hasil *hashing* dari file-file asli yang diperoleh dari *smartphone* ke perangkat laptop yang digunakan untuk analisis. Nilai-nilai hash tersebut menggunakan MD5 dan SHA-256, kemudian dibandingkan dengan nilai hash dari hasil akuisisi. Verifikasi menunjukkan bahwa seluruh nilai hash identik, yang menandakan bahwa integritas antara data asli dan data hasil akuisisi berhasil dipertahankan.

### 4.3 Tahap Analisis

Tahap analisis dilakukan dengan empat tahapan, yakni menganalisis UAV DJI Mini 3 metode statis, lalu dilanjutkan dengan metode dinamis. Selanjutnya menganalisis hasil *physical acquisition*, dan yang terakhir, menganalisis hasil *logical acquisition* dari *smartphone*. Hasil analisis terhadap file image UAV DJI Mini 3 yang diperoleh melalui metode statis menunjukkan bahwa terdapat sejumlah 64 berkas media bertanggal 28 Agustus 2024. Berkas-berkas tersebut terdiri atas 53 foto, 11 video, dan 11 audio. Selain itu, ditemukan pula berkas yang sebelumnya telah dihapus, yakni 10 foto dan 4 video. Berdasarkan hasil penelusuran metadata dan konten visual, foto-foto yang terhapus menunjukkan citra wilayah permukiman warga, area perkebunan, serta satu bangunan masjid. Sementara itu, keempat video yang terhapus awalnya tidak dapat diputar langsung melalui fitur *internal Autopsy*, namun setelah proses ekstraksi dilakukan, file-file video tersebut dapat diputar dengan baik. Dari salah satu video yang berhasil diputar, teridentifikasi bahwa UAV terbang melewati batas wilayah yang seharusnya tidak dilalui, sesuai dengan skenario pelanggaran wilayah yang telah disimulasikan. Pada proses analisis juga ditemukan tiga buah file berekstensi .log; namun setelah ditelusuri lebih lanjut, file tersebut tidak mengandung informasi log penerbangan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak ditemukan file log penerbangan pada hasil akuisisi metode statis ini. Proses ini termasuk dalam pendekatan *pattern-based analysis* karena penelusuran difokuskan pada pengulangan pola artefak dan konteks visual.

Selanjutnya, pada metode akuisisi dinamis terhadap perangkat UAV DJI Mini 3, dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak Autopsy. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan total 64 file media, dengan rincian sejumlah file berada dalam kondisi aktif dan sebagian lainnya dalam kondisi terhapus. Selain itu, teridentifikasi 31 file yang telah dihapus, terdiri dari 4 file video berekstensi .MP4, 10 file foto berekstensi .JPG, 2 file video berekstensi .MOV, 10 file berekstensi .jpg, 4 file berekstensi .txt, dan 1 file berekstensi .swf. Lebih lanjut, ditemukan 63 file foto yang mengandung informasi metadata EXIF, yang terdiri atas 53 file berekstensi .JPG dan 10 file berekstensi .jpg. Metadata EXIF tersebut memuat data koordinat geografis seperti *latitude*, *longitude*, serta *altitude* dari lokasi pengambilan gambar. Seluruh file memiliki waktu pembuatan yang sama, yaitu tanggal 28 Agustus 2024. Informasi EXIF ini dianalisis menggunakan pendekatan *visual-spatial interpretation* untuk memahami hubungan antara lokasi, waktu, dan isi gambar dalam konteks pelanggaran wilayah udara.

Hasil analisis ini juga mengungkap adanya bukti visual yang menguatkan terjadinya pelanggaran sesuai skenario kasus. Salah satu bukti paling signifikan adalah keberadaan foto yang memotret area perkebunan warga, di mana dalam gambar tersebut terlihat seorang petani sedang berada di lokasi. Foto ini diperoleh melalui EXIF metadata, sehingga informasi lokasi pengambilan gambar dapat dipastikan berdasarkan *latitude*, *longitude*, dan *altitude* yang terekam. Temuan ini memperkuat kesimpulan bahwa UAV telah terbang melampaui batas wilayah yang bukan daerah pertambangan batubara. Temuan ini diperkuat melalui *comparative analysis* dengan studi-studi sebelumnya yang menggunakan pendekatan *rooted*, di mana temuan artefak yang serupa juga digunakan untuk membuktikan pelanggaran wilayah, namun dengan teknik akuisisi yang lebih dalam dan lebih invasif. Penjelasan lebih lanjut mengenai relevansi temuan ini, nilai forensiknya, serta perbandingan terhadap literatur terdahulu dibahas secara mendalam pada subbab Pembahasan. Temuan ini memperkuat kesimpulan bahwa UAV telah terbang melampaui batas wilayah yang bukan daerah pertambangan batubara. Bukti visual tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Foto Seorang Petani di Area Perkebunan beserta Metadatanya

Setelah dilakukan analisis terhadap artefak EXIF metadata, yang mana terdapat titik kordinat dari setiap foto yang ada. Maka peneliti melakukan analisa dengan memilah beberapa artefak bukti foto dengan memberi titik-titik pada *Website* Google Earth dimana saja UAV pernah terbang melakukan pelanggaran berdasarkan beberapa bukti visual yang didapatkan dari titik kordinat foto di EXIF metadata. Dapat dilihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.15 Titik Kordinat Berdasarkan EXIF Metadata pada UAV Metode Dinamis

Gambar 4.15 merupakan *website* Google Earth yang digunakan untuk menganalisis. Berdasarkan gambar tersebut, titik warna biru merupakan area pertambangan batubara. Sedangkan titik warna merah adalah area perkebunan warga dan titik yang berwarna kuning merupakan area pemukiman warga, termasuk masjid. Sehingga ditemukan fakta bahwa UAV terbukti terbang melewati area perbatasan batubara. Sayangnya, gambar satelit dari google belum update sehingga daerah tersebut masih terlihat hijau area hutan, belum menjadi area pertambangan batubara, mengingat penelitian dilakukan di salah satu desa Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

Selanjutnya hasil analisis dari akuisisi fisik menggunakan MOBILedit menunjukkan bahwa aplikasi yang digunakan untuk mengoperasikan UAV adalah DJI Fly, dengan nama package *dji.go.v5*, versi 1.13.10, berukuran 534.5 MB. Aplikasi ini pertama kali diinstal pada 22 Agustus 2024 dan terakhir digunakan pada 28 November 2024, sehingga sesuai dengan kronologi kejadian dalam skenario kasus yakni investigasi pada tanggal 28 Agustus 2024. Dari direktori *Photos*, ditemukan sebanyak 1.388 foto, dengan 51 foto bertanggal 28 Agustus 2024 yang relevan terhadap investigasi UAV forensik. MOBILedit menyertakan informasi koordinat GPS untuk masing-masing foto, namun setelah dilakukan perbandingan, ditemukan ketidaksesuaian antara lokasi yang ditampilkan MOBILedit dan titik koordinat pada EXIF metadata hasil analisis UAV metode dinamis melalui Autopsy. Pada direktori *Videos*, terdapat 1.632 file video, di mana 11 file diidentifikasi sebagai hasil tangkapan kamera UAV pada tanggal 28 Agustus 2024. Analisis

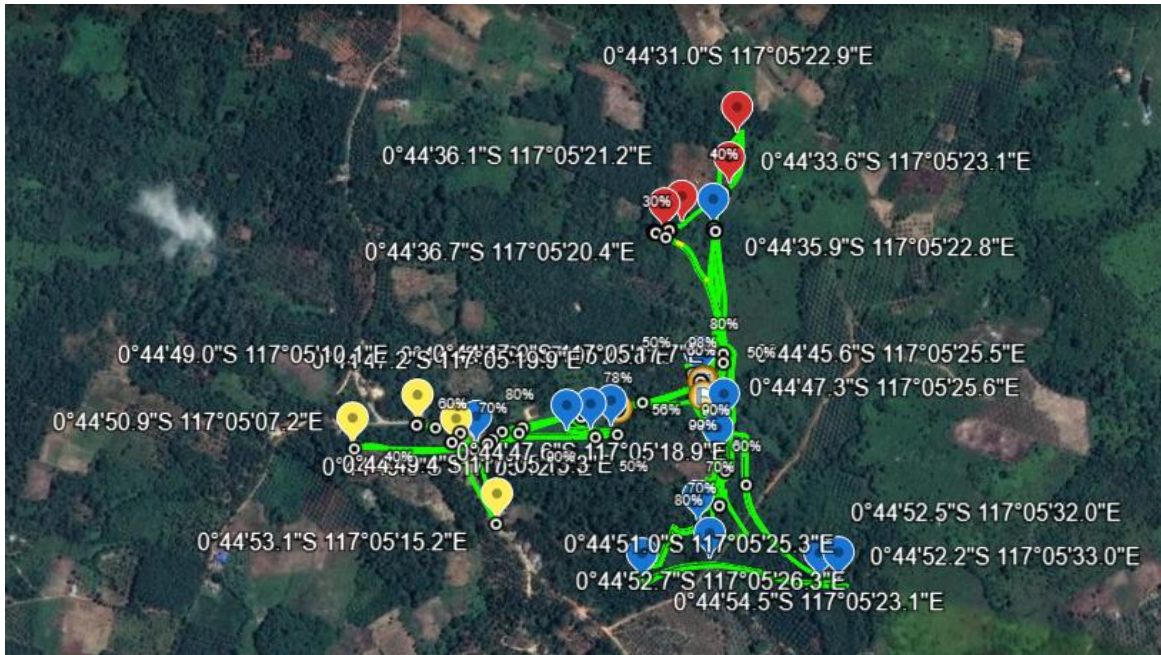
visual terhadap video, ditemukan artefak bahwa beberapa video terbang melewati perbatasan saat melakukan pemetaan jalan di area pertambangan. MOBILedit juga mencantumkan titik koordinat awal dari tiap video, yang dalam beberapa kasus sesuai dengan titik kordinat pada EXIF metadata foto UAV hasil metode dinamis. Hal ini menegaskan bahwa data log penerbangan sangat penting untuk memberikan gambaran menyeluruh terhadap lintasan UAV, tidak hanya dari aspek visual semata. Namun pada tahap ini, belum ditemukan log penerbangan, sehingga sebelumnya telah dilakukan akuisisi dengan cara logical pada folder dji.go.v5 mengingat folder tersebut merupakan package dari aplikasi DJI Fly. Berdasarkan hasil akuisisi logical, peneliti memfokuskan pencarian artefak pada direktori /storage/emulated/0/Android/data/dji.go.v5, yang diketahui sebagai folder aplikasi DJI Fly dari hasil analisis data MOBILedit. Di dalam direktori tersebut ditemukan subfolder /dji.go.v5/files/FlightRecord/, yang berisi 19 file log penerbangan berformat .txt. Dari seluruh log tersebut, enam file tercatat berlangsung pada tanggal 28 Agustus 2024, sesuai dengan waktu kejadian kasus. Log penerbangan terebut kemudian dianalisis melalui situs phantomhelp.com, yang menghasilkan data dalam format .kmz. File .kmz selanjutnya diproses menggunakan Google Earth untuk memetakan lintasan penerbangan UAV secara akurat. Hasil pemetaan ini menunjukkan korelasi lokasi yang kuat dengan koordinat EXIF metadata dari UAV metode dinamis serta koordinat awal dari video yang dianalisis melalui MOBILedit. Setelah dianalisis, ditemukan dua log penerbangan yang menunjukkan terjadinya pelanggaran melewati perbatasan wilayah. Dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17



Gambar 4.16 Lintas Penerbangan UAV Melewati Titik Merah Area Perkebunan Warga



Gambar 4.17 Lintas Penerbangan UAV Melewati Titik Kuning Area Pemukiman Warga



Gambar 4.18 Gambar Keseluruhan Titik Kordinat dan Jalur Penerbangan UAV

Temuan ini memperkuat argumen bahwa data log penerbangan menjadi elemen penting dalam UAV forensik untuk mengidentifikasi dengan presisi rute dan wilayah yang telah ditempuh UAV, melengkapi informasi dari hasil akuisisi media.

#### 4.4 Tahap Dokumentasi/Pelaporan

Tahap dokumentasi merupakan tahap akhir dari alur kerja forensik digital berbasis DRF *Field Framework*. Pada tahap ini, seluruh hasil temuan dari proses investigasi disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran yang utuh terhadap proses forensik yang telah dilakukan. Penyusunan dilakukan dalam bentuk tabel guna mempermudah identifikasi data, interpretasi temuan, serta keterkaitan antar artefak digital. Adapun tabel-tabel berikut merangkum hasil dari proses analisis terhadap perangkat UAV dan *smartphone controller*, baik dari metode akuisisi statis, dinamis, fisikal, maupun logikal. Penyajian tabel ini juga menunjukkan jenis artefak yang diperoleh, metadata yang relevan, serta bukti digital yang mendukung adanya pelanggaran wilayah terbang sebagaimana yang disimulasikan dalam kasus investigasi. Tahap pelaporan ini disajikan dalam 4 tabel, yakni Tabel 4.1, Tabel, 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4.

Tabel 4.1 Hasil Analisis UAV DJI Mini 3 Metode Statis

Jenis Artefak	Jumlah File	Keterangan
Foto	53	Tanggal pembuatan foto 28 Agustus 2024
Video	11	Tanggal pembuatan video 28 Agustus 2024

Tabel 4.1 Hasil Analisis UAV DJI Mini 3 Metode Statis (Lanjutan)

Jenis Artefak	Jumlah File	Keterangan
Audio	11	Audio tidak dapat diputar
Foto Terhapus	10	Memuat gambar kebun, pemukiman warga, dan masjid
Video Terhapus	4	Tidak dapat diputar, namun dapat diputar setelah diekstrak
File.log	3	Tidak dapat diidentifikasi
Bukti Pelanggaran	Ya	Berdasarkan foto dan video yang memuat wilayah selain pertambangan

Tabel 4.2 Hasil Analisis UAV DJI Mini 3 Metode Dinamis

Jenis Artefak	Jumlah File	Keterangan
File Media	64	Ditemukan file media tanggal 28 Agustus 2024, sesuai dengan studi kasus
Foto	63	.JPG (53), .jpg (10) file terhapus .JPG (10)
Video	14	.MP4 (11) terhapus 4, .mov (2), .swf (1)
Audio	14	.MP4 (11) terhapus 4
Plain text	11	File .txt berjumlah 4
Foto EXIF Metadata	63	.MP4 (4), .mov (2), .JPG (10), .txt (4), .swf (1)
File Terhapus	31	Menunjukkan info GPS (latitude, longitude, dan altitude)
File.log	3	Tidak dapat diidentifikasi
Bukti Pelanggaran	Ya	Terdapat foto petani yang sedang berkebun. Membuktikan UAV terbang diluar wilayah pertambangan dan lengkap dengan metadata GPS

Tabel 4.3 Hasil Analisis *Smartphone* MOBILedit

Jenis Artefak	Jumlah File	Keterangan
Aplikasi	1	DJI Fly (dji.go.v5), versi 1.13.10
Foto	1388	51 foto pada 28 Agustus 2024, relevan dengan studi kasus

Tabel 4.3 Hasil Analisis *Smartphone* MOBILedit (Lanjutan)

Jenis Artefak	Jumlah File	Keterangan
Video	1632	11 video dari 28 Agustus 2024, berisi informasi kegiatan mapping dan pelanggaran area
Kordinat GPS Foto	51	Tidak cocok dengan kordinat EXIF UAV Metode dinamis
Kordinat GPS Video	11	Hanya di titik awal, cocok dengan EXIF UAV metode dinamis
Bukti Pelanggaran	Ya	Video dan foto menunjukkan aktivitas UAV di luar batas wilayah tambang, termasuk kesesuaian titik kordinat video dengan data EXIF pada UAV

Tabel 4.4 Hasil Analisis *Smartphone* ADB

Jenis Artefak	Jumlah File	Keterangan
Folder Target	1	/storage/emulated/0/Android/data/dji.go.v5/files/FlightRecord/
Log	7	Terdapat 6 log penerbangan pada 28/08/24 format .txt dan 1 log <i>device manager</i> dengan format .log
Ekstraksi .kmz	6	Diolah menggunakan Phantomhelp, lalu dianalisis di Google Earth
Kecocokan Lokasi	Ya	Log penerbangan sesuai dengan titik kordinat pada EXIF metadata pada UAV dan titik kordinat pada videos MOBILedit
Bukti Pelanggaran	Ya	Jejak penerbangan menunjukkan UAV melewati batas izin
Folder Target	1	/storage/emulated/0/Android/data/dji.go.v5/files/...

#### 4.5 Pembahasan

Penelitian ini melakukan pendekatan investigasi forensik terhadap perangkat UAV DJI Mini 3 dan DJI RC-N1 yang terhubung dengan *smartphone* Android tanpa melakukan proses *rooting*. Pendekatan ini berbeda dari sejumlah penelitian sebelumnya yang mengandalkan perangkat *rooted* untuk memperoleh artefak digital secara lebih mendalam. Artefak dari UAV mencakup file foto dan video penerbangan beserta metadata EXIF yang memuat informasi koordinat lintang, bujur, dan ketinggian. Data ini berperan penting dalam merekonstruksi lokasi dan jalur penerbangan UAV secara forensik. Selain itu, ditemukan pula artefak berupa file yang terhapus, yang mengindikasikan adanya upaya penghapusan jejak digital oleh pelaku.

Di sisi lain, *controller* Android menghasilkan artefak penting berupa log penerbangan yang disimpan oleh aplikasi DJI Fly, informasi akun pengguna, serta nomor seri UAV dan *controller*. Log penerbangan ini kemudian dikonversi ke format .kmz dan divisualisasikan menggunakan Google Earth untuk merekonstruksi lintasan penerbangan secara utuh. Temuan dari kedua perangkat tersebut saling melengkapi dalam membangun kronologi pelanggaran wilayah udara dalam konteks simulasi. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan pendekatan *rooted*, perangkat *non-rooted* memang memiliki keterbatasan dalam mengakses direktori sistem seperti /data/ atau /root/. Namun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa artefak yang diperoleh tetap mencukupi untuk mendukung proses investigasi, terutama dalam pembuktian pelanggaran wilayah udara. Klasifikasi artefak berdasarkan perangkat tidak hanya memperjelas asal-usul data, tetapi juga memperkuat pemahaman terhadap kontribusi masing-masing artefak dalam keseluruhan proses analisis forensik digital.

Tabel berikut merangkum hasil perbandingan antara penelitian ini dan tiga penelitian sebelumnya:

Tabel 4.5 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Aspek	Penelitian ini ( <i>Non-Root</i> )	Perangkat android yang di-root		
		(Thornton & Bagheri Zadeh, 2022a)	(Stanković et al., 2021)	(Prastya et al., 2020)
Perangkat	VIVO V19	Samsung Galaxy S9	Samsung Galaxy S7	Lenovo P70
<i>Tools</i> akuisisi	MOBILedit dan Android Debug Bridge	Cellebrite UFED dan Oxygen Forensics	Cellebrite UFED	FTK Imager
Aplikasi DJI	DJI Fly versi 1.31.10	DJI Go versi 4	DJI Fly versi 1.3.0	DJI Go versi 2.8.4
Artefak yang diperoleh	Foto, video, flight log, device serial number, app info	Images, video, location data, config files, DB	Media, log (terenkripsi), PII	GPS log, media, user info, signal, flight mode
Akses direktori system	Tidak ada direktori /data/root/	Bisa akses /data/Root/...	Bisa akses .../dji.go.v5/databases	Bisa akses /root/DJI/dji.pilot/...
Flight log	Tersedia di direktori .../android/data/dji.go.v5/files/ FlightRecord/...	Hanya melakukan analisis pada folder images dan videos di direktori data/Root/media/0/DJI/dji.go.v5/DJ I FLY/ Video/ dan data/Root/media/ 0/DJI/dji.go.v5/DJI FLY/Photo/...	Terdesia namun terenkripsi di direktori .../data/media/0/DJI /dji.go.v5/FlightRecord/ ...	Tersedia di direktori /root/DJI/dji.pilot/Fli ghtRecord/...

Tabel 4.6 Perbandingan dengan penelitian sebelumnya (Lanjutan)

Aspek	Penelitian ini ( <i>Non-Root</i> )	Perangkat android yang di- <i>root</i>		
		(Thornton & Bagheri Zadeh, 2022a)	(Stanković et al., 2021)	(Prastya et al., 2020)
Informasi identitas <i>user</i>	Ada di dalam log yang terenkripsi dan ada di flight log yang diolah menggunakan <i>airdata.com</i>	-	Ada. ... \data\data\dji.go.v5\data abases\dji.db	Ada dalam flight log yang diolah menggunakan <i>healthydrones.com</i> .../root/DJI/dji.pilot/ FlightRecord/...
Direktori penting ditemukan yang mengindisikan perbedaan <i>root</i> dan <i>non-root</i>	.../dji.go.v5/files/LOG/CACHE /deviceManager/... Direktori yang menyimpan informasi identitas berupa akun email, dan <i>serial number</i> dari UAV dan <i>controller</i> android	/data/Root/... pada direktori ini peneliti melakukan analisis media berupa video dan gambar	.../dji.go.v5/databases/... Direktori tersebut menyimpan informasi identitas seperti nama UAV yang digunakan <i>serial number</i> kamera	/root/DJI/dji.pilot/... Yang berisi log tentang informasi flight mode

Berdasarkan tabel 4.5, diketahui bahwa meskipun pendekatan *non-rooted* tidak memberikan akses penuh terhadap direktori sistem internal (.../root/...), yang digunakan dalam forensik, artefak penting seperti media (foto/video), informasi perangkat, log penerbangan, dan data identitas pribadi tetap dapat diperoleh. Log informasi pribadi yang telah didekripsi dapat dilihat pada Gambar 4.19.

```
[careNotificationModule][d][10:57:29.341][2]: DJICareBindTipModule reach max times false
[careNotificationModule][d][10:57:29.342][2]: isDroneStateCanBindRc=false,
droneSupportInfo={"isDroneTypeSupportCare":true,"isAssociatedDeviceFirmwareSupportCare":true,"isDroneFirmwareSupportCare":true}, isReachMax=false,
careInfo.isCanBindDeviceListModel({"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35", "productType":112, "connectInfo=ConnectInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', nickName='DJI Mini 3', connTime=1724662508, productType=112), bindInfo=BindInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', rcSn='6NYXLA904603L0', rcChipSn='TkiYtJQwGcKg', bindId='1826589821469536256', productType=112, bindDeviceType=RC), careInfo=CareInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', careState=0), bindInfoDevice=BindInfoDevice(isBindRc=true, droneSn='1581F5YHX247L0028G35', rcSn='6NYXLA904603L0', rcChipSn='TkiYtJQwGcKg', bindDeviceType=RC), bindActiveInfo=BindActiveInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', activeTime=1724299495, useDuration=323497, bindAccount='yusufhali****@gmail.com', rcSn='6NYXLA904603L0'), flightInfo=FlightInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', totalTime=0.0, totalDistance=0.0), droneDeviceTree=DroneDeviceTree(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', gimbalSn='5YJX7C00AF9J2', mcSn='687XW7J00202G8') isCanBindRc=true isDroneBindRc=true
activateService.isOpenCareBind=true
[deviceManager][d][10:57:29.342][2]: DeviceManagerUnsafeBindLogic: listenNumAndUpdate
bindState={"isProtectedByCare":true,"bindDeviceType":0,"snsInfo":{"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35","associatedDeviceSN":"6NYXLA904603L0","associatedDeviceChipId":"TkiYtJQwGcKg"}}
}}
[fpvGate][d][10:57:29.342][2]: [2] KeyCareStatus
{"isProtectedByCare":true,"bindDeviceType":0,"snsInfo":{"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35","associatedDeviceSN":"6NYXLA904603L0","associatedDeviceChipId":"TkiYtJQwGcKg"}}
[deviceDataManager][d][10:57:29.343][2158]: KeyCareStatus change
={"isProtectedByCare":true,"bindDeviceType":0,"snsInfo":{"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35","associatedDeviceSN":"6NYXLA904603L0","associatedDeviceChipId":"TkiYtJQwGcKg"}}
[careNotificationModule][d][10:57:29.347][2158]: DJICareBindTipModule reach max times false
[careNotificationModule][d][10:57:29.347][2158]: isDroneStateCanBindRc=false,
droneSupportInfo={"isDroneTypeSupportCare":true,"isAssociatedDeviceFirmwareSupportCare":true,"isDroneFirmwareSupportCare":true}, isReachMax=false,
careInfo.isCanBindDeviceListModel({"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35", "productType":112, "connectInfo=ConnectInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', nickName='DJI Mini 3', connTime=1724662508, productType=112), bindInfo=BindInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', rcSn='6NYXLA904603L0', rcChipSn='TkiYtJQwGcKg', bindId='1826589821469536256', productType=112, bindDeviceType=RC), careInfo=CareInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', careState=0), bindInfoDevice=BindInfoDevice(isBindRc=true, droneSn='1581F5YHX247L0028G35', rcSn='6NYXLA904603L0', rcChipSn='TkiYtJQwGcKg', bindDeviceType=RC), bindActiveInfo=BindActiveInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', activeTime=1724299495, useDuration=323497, bindAccount='yusufhali****@gmail.com', rcSn='6NYXLA904603L0'), flightInfo=FlightInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', totalTime=0.0, totalDistance=0.0), droneDeviceTree=DroneDeviceTree(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', gimbalSn='5YJX7C00AF9J2', mcSn='687XW7J00202G8') isCanBindRc=true isDroneBindRc=true
activateService.isOpenCareBind=true
[fpvGate][d][10:57:29.447][2]: [2] KeyNeedChangeBind {"droneSn":"","associatedDeviceSN":"","associatedDeviceChipId":""},
{"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35","associatedDeviceSN":"6NYXLA904603L0","associatedDeviceChipId":"TkiYtJQwGcKg"}, true
[fpvGate][d][10:57:29.447][2]: [2] dismiss KeyNeedChangeBind
[fpvGate][d][10:57:29.447][2]: [2] KeyNeedChangeBind {"droneSn":"","associatedDeviceSN":"","associatedDeviceChipId":""},
{"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35","associatedDeviceSN":"6NYXLA904603L0","associatedDeviceChipId":"TkiYtJQwGcKg"}, true
[fpvGate][d][10:57:29.447][2]: [2] dismiss KeyNeedChangeBind
[fpvGate][d][10:57:29.447][2]: [2] dismiss KeyCareUnmatchedBindInfo for push change
[deviceDataManager][d][10:57:29.881][2158]: KeyCareStatus change
={"isProtectedByCare":true,"bindDeviceType":0,"snsInfo":{"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35","associatedDeviceSN":"6NYXLA904603L0","associatedDeviceChipId":"TkiYtJQwGcKg"}}
[deviceDataManager][d][10:57:29.881][2]: KeyForceGetSerialNumber result=Success(1581F5YHX247L0028G35)
[deviceDataManager][d][10:57:29.881][2]: KeyAircraftName result=Success(DJI Mini 3)
[careNotificationModule][d][10:57:29.886][2158]: DJICareBindTipModule reach max times false
[careNotificationModule][d][10:57:29.887][2158]: isDroneStateCanBindRc=false,
droneSupportInfo={"isDroneTypeSupportCare":true,"isAssociatedDeviceFirmwareSupportCare":true,"isDroneFirmwareSupportCare":true}, isReachMax=false,
careInfo.isCanBindDeviceListModel({"droneSn":"1581F5YHX247L0028G35", "productType":112, "connectInfo=ConnectInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', nickName='DJI Mini 3', connTime=1724662508, productType=112), bindInfo=BindInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', rcSn='6NYXLA904603L0', rcChipSn='TkiYtJQwGcKg', bindId='1826589821469536256', productType=112, bindDeviceType=RC), careInfo=CareInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', careState=0), bindInfoDevice=BindInfoDevice(isBindRc=true, droneSn='1581F5YHX247L0028G35', rcSn='6NYXLA904603L0', rcChipSn='TkiYtJQwGcKg', bindDeviceType=RC), bindActiveInfo=BindActiveInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', activeTime=1724299495, useDuration=323497, bindAccount='yusufhali****@gmail.com', rcSn='6NYXLA904603L0'), flightInfo=FlightInfo(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', totalTime=0.0, totalDistance=0.0), droneDeviceTree=DroneDeviceTree(droneSn='1581F5YHX247L0028G35', gimbalSn='5YJX7C00AF9J2', mcSn='687XW7J00202G8') isCanBindRc=true isDroneBindRc=true
activateService.isOpenCareBind=true
```

Gambar 4.19 Log yang memuat informasi pribadi berupa email, SN UAV, dan SN controller

Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan *non-rooted* relevan dan sah untuk digunakan dalam konteks investigasi forensik, terutama jika mempertimbangkan aspek legalitas, integritas perangkat, serta pengungkapan bukti digital dapat dilakukan (Agrawal et al., 2020). Parameter utama yang menunjukkan kecukupan pendekatan *non-root* dalam mendukung investigasi antara lain:

1. Kemampuan merekonstruksi kronologi kejadian, seperti lokasi terbang, waktu, dan titik penerbangan UAV (Studiawan et al., 2022).
2. Keberadaan artefak pendukung, seperti metadata foto/video yang menunjukkan waktu dan koordinat GPS (Prastya et al., 2020; Thornton & Bagheri Zadeh, 2022b).
3. Ketersediaan identitas perangkat, seperti akun email, serial number UAV dan *controller* untuk mengaitkan perangkat dengan pelaku melalui log yang diekstrak dari cache DJI Fly (S. Lee et al., 2023).

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru terhadap pengetahuan forensik digital, khususnya dalam konteks keterbatasan teknis (*non-root*), namun tetap memungkinkan proses investigasi berjalan efektif. Temuan ini juga memberikan alternatif

metode yang lebih aman dan sah dibanding praktik *rooting* yang berisiko merusak integritas barang bukti. Selain itu, dalam penelitian ini juga ditemukan artefak log terenkripsi yang memuat informasi sensitif, seperti alamat email akun pengguna, *serial number* UAV, dan *serial number controller* Android. Artefak log tersebut tidak dapat langsung dianalisis karena dalam keadaan terenkripsi. Oleh karena itu, dilakukan proses dekripsi untuk dapat mengakses isi log secara utuh. Proses dekripsi memanfaatkan kunci *Key* dan *Initialization Vector* (IV) yang diadopsi dari penelitian sebelumnya yang berfokus pada *Remote Control* khusus DJI (bukan perangkat *smartphone*) dan dilakukan dalam kondisi *rooted* (S. Lee et al., 2023). Meskipun pendekatan penelitian tersebut menggunakan perangkat *rooted* dan jenis *controller* yang berbeda, kesamaan penggunaan aplikasi DJI Fly memungkinkan *key* dan IV yang digunakan dalam penelitian tersebut untuk dapat diterapkan pula dalam penelitian ini.

Setelah proses dekripsi berhasil dilakukan, ditemukan bahwa struktur isi log tersebut mirip dengan hasil pada penelitian terdahulu. Namun terdapat perbedaan penting terkait privasi informasi:

1. Dalam penelitian ini, alamat email pengguna hanya muncul sebagian, yakni dalam bentuk *anonymized* email, yakni yusufhali\*\*\*\*\*@gmail.com.
2. Sebaliknya, pada penelitian sebelumnya, alamat email tampil secara lengkap, seperti glick025@naver.com.

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kemungkinan adanya peningkatan pengamanan privasi pada versi terbaru DJI Fly yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu, log yang berisi informasi email dan identitas pengguna pada penelitian sebelumnya ditemukan di direktori `/data/data/dji.go.v5/shared_prefs`, yaitu direktori sistem internal yang hanya dapat diakses pada perangkat *rooted*. Direktori ini tidak ditemukan dalam penelitian ini karena dilakukan pada *smartphone non-rooted*, sehingga akses ke direktori `shared_prefs` tidak memungkinkan.

Berdasarkan penjabaran di atas, penelitian ini menerapkan pendekatan *comparative analysis* untuk melihat efektivitas metode *non-rooted* yang digunakan peneliti dengan pendekatan *rooted* yang diterapkan dalam penelitian terdahulu. Analisis perbandingan ini tidak hanya dilakukan pada aspek teknis, seperti kedalaman artefak dan struktur direktori yang dapat diakses, tetapi juga pada aspek metodologis dan legal, khususnya terkait prinsip integritas data dalam praktik forensik digital. Dengan menempatkan temuan penelitian ini dalam konteks studi sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa pendekatan *non-rooted* memberikan alternatif yang layak dan lebih aman secara forensik, meskipun memiliki

keterbatasan dalam akses sistem. Hal ini memperkuat kontribusi ilmiah penelitian ini dalam memperluas cakupan metode investigasi digital berbasis pendekatan yang minim intervensi terhadap perangkat.

Salah satu aspek fundamental dalam investigasi forensik digital adalah menjaga integritas bukti selama proses akuisisi dan analisis. Pendekatan *rooted*, meskipun memungkinkan akses yang lebih luas terhadap sistem file, berisiko memodifikasi struktur internal perangkat, mengubah hash data, serta membuka peluang terjadinya *contamination* terhadap artefak digital. Konsekuensi dari hal ini dapat berdampak serius pada validitas bukti yang diajukan di pengadilan, terutama jika proses *rooting* tidak terdokumentasi secara ketat atau tidak dilakukan dengan metode yang diakui secara forensik. Dalam konteks ini, pendekatan *non-rooted* menjadi penting karena menjaga kondisi asli perangkat, serta meminimalisasi intervensi terhadap sistem.

Temuan dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa teknik *non-rooted*, apabila didukung dengan strategi akuisisi yang tepat (seperti kombinasi metode fisik dan logikal), tetap mampu menghasilkan artefak digital yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi risiko kerusakan atau manipulasi data, tetapi juga meningkatkan kepercayaan terhadap hasil investigasi, terutama dalam skenario dunia nyata di mana perangkat target tidak boleh dimodifikasi. Oleh karena itu, pilihan menggunakan teknik *non-rooted* dalam penelitian ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga merupakan langkah strategis dalam menjaga kredibilitas bukti digital sebagai landasan utama proses pembuktian forensik (Chauhan et al., 2022). Penelitian ini menunjukkan bahwa teknik forensik dapat berkembang dengan memanfaatkan hasil dan teknik dari penelitian *rooted* sebelumnya, tanpa perlu melakukan *root* ulang atau melanggar integritas perangkat yang sedang diselidiki. Dari sisi sosial, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas penegak hukum, lembaga keamanan, dan institusi forensik dalam menangani kasus pelanggaran wilayah udara yang melibatkan UAV. Simulasi yang dilakukan dalam konteks pertambangan batubara menggambarkan skenario nyata di mana teknologi UAV berpotensi disalahgunakan. Dengan menyediakan kerangka kerja forensik berbasis data *non-rooted* yang dapat diimplementasikan tanpa merusak perangkat, penelitian ini mendorong pendekatan investigasi yang lebih aman dan akuntabel. Hasil penelitian juga diharapkan dapat digunakan sebagai rujukan dalam pelatihan forensik digital serta pengembangan kebijakan penanganan insiden UAV secara profesional dan sah.

## **BAB 5**

### **Kesimpulan dan Saran**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian ini mengkaji proses akuisisi dan analisis forensik digital terhadap UAV DJI Mini 3 dan DJI RC-N1 yang terhubung ke *smartphone* berbasis Android dalam kondisi *non-rooted*. Pendekatan ini diterapkan dalam skenario simulasi pelanggaran batas wilayah udara pada area pertambangan batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat *non-rooted* tetap mampu menghasilkan artefak digital yang relevan, seperti foto dan video penerbangan dengan metadata EXIF (termasuk informasi lintang, bujur, dan ketinggian), log penerbangan dari aplikasi DJI Fly, nomor seri perangkat, serta informasi akun pengguna. Artefak log tersebut kemudian dikonversi ke dalam format .kmz dan divisualisasikan menggunakan Google Earth untuk merekonstruksi jalur penerbangan. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun tidak dilakukan *rooting*, akuisisi terhadap perangkat masih dapat dilakukan secara efektif dan menghasilkan bukti digital yang dapat digunakan untuk mendukung proses pembuktian forensik.

Dibandingkan dengan pendekatan *rooted* yang umumnya digunakan pada penelitian terdahulu, metode *non-rooted* dalam penelitian ini terbukti tetap efektif dalam mengungkap bukti digital tanpa harus memodifikasi sistem perangkat. Selain menjaga integritas bukti dan menghindari risiko perubahan data, pendekatan ini juga lebih sesuai dengan standar forensik yang mengutamakan keaslian dan validitas artefak. Temuan ini memperkuat posisi metode *non-rooted* sebagai alternatif yang layak dan sah dalam investigasi UAV forensik, terutama pada kondisi perangkat yang tidak memungkinkan untuk di-*root* atau saat integritas sistem harus dijaga secara ketat.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut dalam studi forensik digital terhadap perangkat UAV dan dji RC-N1 berbasis *smartphone* Android:

1. Disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan berbagai jenis UAV dan *controller* dari vendor yang berbeda untuk mengidentifikasi keragaman artefak digital yang dihasilkan. Hal ini akan memperluas cakupan dan meningkatkan generalisasi hasil dalam konteks UAV forensik.

2. Mengingat adanya artefak log dalam format terenkripsi yang memuat informasi penting seperti akun email, *serial number* UAV, dan *controller*. Maka pengembangan alat bantu dekripsi yang sesuai dengan struktur enkripsi DJI Fly sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk mempermudah analisis log terenkripsi tanpa perlu melakukan *rooting*, serta menjaga integritas dan legalitas proses forensik.
3. Perlu dilakukan penyusunan direktori artefak forensik secara sistematis dari berbagai versi aplikasi DJI Fly dan perangkat Android, baik yang menggunakan teknik *root* maupun *non-root*. Dengan adanya panduan ini, praktisi forensik dapat bekerja lebih efisien dan terarah saat melakukan investigasi terhadap perangkat UAV dan *controller*-nya.

## Daftar Pustaka

- Aboelezz, A., Wetz, D., Lehr, J., Roghanchi, P., & Hassanalian, M. (2023). Intrinsically Safe Drone Propulsion System for Underground Coal Mining Applications: Computational and Experimental Studies. *Drones*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/drones7010044>
- Agrawal, A. K., Sharma, A., Sinha, S. R., & Khatri, P. (2020). Forensic of an unrooted mobile device. *International Journal of Electronic Security and Digital Forensics*, 12(1), 118. <https://doi.org/10.1504/IJESDF.2020.103882>
- Aji, M. P., Hariyadi, D., & Rochmadi, T. (2020). Logical Acquisition in the Forensic Investigation Process of Android Smartphones based on Agent using Open Source Software. *2nd International Conference on Engineering and Applied Sciences*, 771(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012024>
- Akintola, G. B. (2025). Evaluating the Security Vulnerabilities of the Selected Mobile Forensic Applications. *International Journal of Scientific Research in Multidisciplinary Studies*, 11(2), 16–35.
- Al-Dhaqm, A., Ikuesan, R. A., Kebande, V. R., Razak, S., & Ghabban, F. M. (2021a). Research Challenges and Opportunities in Drone Forensics Models. *Electronics*, 10(13), 1519. <https://doi.org/10.3390/electronics10131519>
- Al-Dhaqm, A., Ikuesan, R. A., Kebande, V. R., Razak, S., & Ghabban, F. M. (2021b). Research Challenges and Opportunities in Drone Forensics Models. *Electronics*, 10(13), 1519. <https://doi.org/10.3390/electronics10131519>
- Almehmadi, T., & Batarfi, O. (2019). Impact of Android Phone Rooting on User Data Integrity in Mobile Forensics. *2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*. 2019 2nd International Conference

- on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), Riyadh, Saudi Arabia.  
<https://doi.org/10.1109/CAIS.2019.8769520>
- Almusayli, A., Zia, T., & Qazi, E.-H. (2024). Drone Forensics: An Innovative Approach to the Forensic Investigation of Drone Accidents Based on Digital Twin Technology. *Technologies*, 12(1), 11. <https://doi.org/10.3390/technologies12010011>
- Alotaibi, F., Al-Dhaqm, A., & Al-Otaibi, Y. D. (2023). A Conceptual Digital Forensic Investigation Model Applicable to the Drone Forensics Field. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13(5), 11608–11615. <https://doi.org/10.48084/etasr.6195>
- Alotaibi, F. M., Al-Dhaqm, A., & Al-Otaibi, Y. D. (2022). A Novel Forensic Readiness Framework Applicable to the Drone Forensics Field. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2022/8002963>
- Al-Room, K., Iqbal, F., Baker, T., Shah, B., Yankson, B., MacDermott, A., & Hung, P. C. K. (2021). Drone Forensics: A Case Study of Digital Forensic Investigations Conducted on Common Drone Models. *International Journal of Digital Crime and Forensics*, 13(1), 1–25. <https://doi.org/10.4018/IJDCF.2021010101>
- Altuwaijri, H., & Ghouzali, S. (2020). Android Data Storage Security: A Review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 32(5), 543–552. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.07.004>
- Chamola, V., Kotesh, P., Agarwal, A., Naren, Gupta, N., & Guizani, M. (2021). A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques. *Ad Hoc Networks*, 111, 102324. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102324>

- Chauhan, P., Jaitly, T., & Agrawal, A. K. (2022). Comparative analysis of mobile forensic proprietary tools: An application in forensic investigation. *Journal of Forensic Science and Research*, 6(1), 077–082. <https://doi.org/10.29328/journal.jfsr.1001039>
- Daud, S. M. S. M., Yusof, M. Y. P. M., Heo, C. C., Khoo, L. S., Singh, M. K. C., Mahmood, M. S., & Nawawi, H. (2022). Applications of Drone in Disaster Management: A Scoping Review. *Science & Justice*, 62(1), 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.002>
- Description of Remote Controller Modes.* (2025). DJI Help Center. <https://support.dji.com/help/content?customId=en-us03400006544&spaceId=34&re=US&lang=en>
- DJI RC-N1 Remote Controller.* (2025). <https://store.dji.bg/en/dji-rc-n1-remote-controller.html>
- Fahlstrom, P. G., Gleason, T. J., & Sadraey, M. H. (2022). *Introduction to UAV Systems*. John Wiley & Sons, Inc. [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=2GNoEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=UAV&ots=0rThvT2x5L&sig=YsGQGYlwMMd3kNsZvnVnao4Qz8s&redir\\_esc=y#v=onepage&q=UAV&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=2GNoEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=UAV&ots=0rThvT2x5L&sig=YsGQGYlwMMd3kNsZvnVnao4Qz8s&redir_esc=y#v=onepage&q=UAV&f=false)
- Gunawan, I., & Grasia, O. G. (2023). Analisis Digital Forensic Aplikasi Pelacak Nomor Handphone Android Pihak Ketiga Menggunakan Metode Statis Dan Dinamis. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Bidang Ilmu Komputer*, 2(0), Article 0. <https://prosiding.unipma.ac.id/index.php/sendiko/article/view/3858>
- Hamdi, D. A., Iqbal, F., Alam, S., Kazim, A., & MacDermott, A. (2019). Drone Forensics: A Case Study on DJI Phantom 4. *2019 IEEE/ACS 16th International Conference on*

- Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1109/AICCSA47632.2019.9035302>
- Horsman, G. (2016). Unmanned aerial vehicles: A preliminary analysis of forensic challenges. *Digital Investigation*, 16, 1–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.diin.2015.11.002>
- Ichsan, A. N., & Riadi, I. (2021). Mobile Forensic on Android-based IMO Messenger Services using Digital Forensic Research Workshop (DFRWS) Method. *International Journal of Computer Applications*, 174(18), 34–40.  
<https://doi.org/10.5120/ijca2021921076>
- Isnaini, K. N., & Widodo, W. (2023). Digital Forensic Tools And Techniques For Handling Digital Evidence. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 6(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v6i1.1266>
- Kävrestad, J., Birath, M., & Clarke, N. (2024). *Fundamentals of Digital Forensics: A Guide to Theory, Research and Applications*. Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-53649-6>
- Kumar, R., & Agrawal, A. K. (2021a). Drone GPS data analysis for flight path reconstruction: A study on DJI, Parrot & Yuneec make drones. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 38, 301182.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2021.301182>
- Kumar, R., & Agrawal, A. K. (2021b). Drone GPS data analysis for flight path reconstruction: A study on DJI, Parrot & Yuneec make drones. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 38, 301182.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2021.301182>
- Kumar, R., Rastogi, M., Singh, C. S., Ranjan, R., & Gupta, B. K. (2023). A Comprehensive Assessment of Applications of Drone Technology in the Coal Mining Industry.

- Journal of Mines, Metals, and Fuels*, 71(3), 304–310.  
<https://doi.org/10.18311/jmmf/2023/33709>
- Kurniandi, R., Marlana, D., & Clarissa, D. (2023). Analisis Forensik Drone Menggunakan Metode Clark et al. dan Renduchintala et al. (Studi Kasus: DJI Phantom 3 Standard). *Jurnal Ilmiah Keamanan Siber dan Kriptologi*, 17(2), 75–83.  
<https://doi.org/10.56706/ik.v17i2.75>
- Lan, J. K. W., & Lee, F. K. W. (2021). Drone Forensics: A Case Study on DJI Mavic Air 2. *2021 23rd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. 2021 23rd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), PyeongChang, Korea (South).  
<https://doi.org/10.23919/ICACT51234.2021.9370578>
- Lee, E., Oh, H., & Park, D. (2021). Big Data Processing on Single Board Computer Clusters: Exploring Challenges and Possibilities. *IEEE Access*, 9, 142551–142565.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3120660>
- Lee, S., Seo, H., & Kim, D. (2023). Digital Forensic Research for Analyzing Drone Pilot: Focusing on DJI Remote Controller. *Sensors*, 23(21), 8934.  
<https://doi.org/10.3390/s23218934>
- Leonardo, A., & Indrayani, R. (2022). The Comparison Performance of Digital Forensic Tools Using Additional Root Access Options. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika (JITEKI)*, 7(3), 512.  
<https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i3.22381>
- Loli, M., Mitoulis, S. A., Tsatsis, A., Manousakis, J., Kourkoulis, R., & Zekkos, D. (2022). Flood Characterization Based on Forensic Analysis of Bridge Collapse Using UAV Reconnaissance and CFD Simulations. *Science of The Total Environment*, 822, 153661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153661>

- Mantas, E., & Patsakis, C. (2022). Who watches the new watchmen? The challenges for drone digital forensics investigations. *Array*, *14*, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.array.2022.100135>
- Mekdad, Y., Aris, A., Babun, L., Fergougui, A. E., Conti, M., Lazzeretti, R., & Uluagac, A. S. (2023). A survey on security and privacy issues of UAVs. *Computer Networks*, *224*, 109626. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109626>
- Nowfeek, M. R. M. (2022). A Review of Android operating system security issues. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, *IX(I)*, 26–30.
- Pinatik, N. Y., & Papilaya, F. S. (2024). Pengolahan Foto Udara UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Menggunakan Software Agisoft Metashape. *JURNAL PERANGKAT LUNAK*, *6(1)*, 1–11. <https://doi.org/10.32520/jupel.v6i1.2838>
- Prastya, S. E., & Cipta, S. P. (2019). Forensic Data Acquisition in UAVs Using the Static Forensic Method to Obtain Digital Evidence. *NS-UNISM 2019: Proceedings of the First National Seminar Universitas Sari Mulia*, 91–101. <https://doi.org/DOI.10.4108/eai.23-11-2019.2298352>
- Prastya, S. E., & Cipta, S. P. (2020). Forensic Data Acquisition in UAVs Using the Static Forensic Method to Obtain Digital Evidence. In *Proceedings of the First National Seminar Universitas Sari Mulia* (pp. 91–101). European Alliance for Innovation. [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=bxM5EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA91&dq=prastya+drone+forensic&ots=sYMmHBLW1P&sig=ciiNjjOOIlowfMMzU9ekq4Mjo9E&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=bxM5EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA91&dq=prastya+drone+forensic&ots=sYMmHBLW1P&sig=ciiNjjOOIlowfMMzU9ekq4Mjo9E&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Prastya, S. E., Cipta, S. P., & Nugraha, B. (2020). Analisis Log Penerbangan Pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Sebagai Barang Bukti Digital. *Jurnal Teknologi Informasi Universitas Lambung Mangkurat (JTIULM)*, *5(1)*, 11–18. <https://doi.org/10.20527/jtiulm.v5i1.42>

- Putrawiyanta, I. P., Novalisae, Noveriady, Ferdinandus, & Drobank, A. (2023). Pemanfaatan Teknologi Drone Untuk Pemetaan Perubahan Rona Bentang Alam Pada Wilayah Pertambangan. *Jurnal Ilmiah Nasional*, 5(3), 50–56. <https://doi.org/10.54783/jin.v5i3.783>
- Renduchintala, A., Jahan, F., Khanna, R., & Javaid, A. Y. (2019). A comprehensive micro unmanned aerial vehicle (UAV/Drone) forensic framework. *Digital Investigation*, 30, 52–72. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2019.07.002>
- Salamh, F. E., Karabiyik, U., Rogers, M. K., & Matson, E. T. (2021). A Comparative UAV Forensic Analysis: Static and Live Digital Evidence Traceability Challenges. *Drones*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/drones5020042>
- Salamh, F. E., Mirza, M. M., & Karabiyik, U. (2021). UAV Forensic Analysis and Software Tools Assessment: DJI Phantom 4 and Matrice 210 as Case Studies. *Electronics*, 10(6), 733. <https://doi.org/10.3390/electronics10060733>
- Saragih, A. E., Christian, N., & Khoirunisa, P. (2024). Analisis Penggunaan Barang Bukti Digital di Dalam Sistem Hukum di Indonesia (Studi Kasus Putusan Nomor 3 K/PID.SUS/2019). *Media Hukum Indonesia (MHI)*, 2(2), 504–510. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.12082755>
- Sathe, S. C., & Dongre, N. M. (2018). Data Acquisition Techniques in Mobile Forensics. *Proceedings of the Second International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC 2018)*, 280–286. <https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399079>
- Shashidar, T. K., Shankara, J., & Shettigar, R. (2024). *Aerial Insights: The Role of Drone Forensics in Modern Investigations*. Centre for Cybercrime Investigation Training & Research (CCITR). [https://www.dsci.in/files/content/knowledge-centre/2024/Drone\\_Forensics\\_Investigation.pdf](https://www.dsci.in/files/content/knowledge-centre/2024/Drone_Forensics_Investigation.pdf)

- Shetty, B. S. K., & Shetty, P. (2020). *Digital Forensic Science*. IntechOpen. [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=pGstEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA101&dq=forensic+acquisition&ots=WKX3\\_eO4xu&sig=TmQJF\\_k4RhGpo8wvr bD0JJvgFd4&redir\\_esc=y#v=onepage&q=forensic%20acquisition&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=pGstEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA101&dq=forensic+acquisition&ots=WKX3_eO4xu&sig=TmQJF_k4RhGpo8wvr bD0JJvgFd4&redir_esc=y#v=onepage&q=forensic%20acquisition&f=false)
- Silalahi, S., Ahmad, T., & Studiawan, H. (2023). Transformer-Based Named Entity Recognition on Drone Flight Logs to Support Forensic Investigation. *IEEE Access*, *11*, 3257–3274. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3234605>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Stanković, M., Mirza, M. M., & Karabiyik, U. (2021). UAV Forensics: DJI Mini 2 Case Study. *Drones*, *5*(2), 49. <https://doi.org/10.3390/drones5020049>
- Statista.com. (2023). *DJI Drones Official Retail Prices in the United States as of July 2023, by model (in U.S. dollars)*. <https://www.statista.com/statistics/1240346/dji-drone-retail-price-united-states/>
- Statista.com. (2024, March). *Drones—Indonesia*. <https://www.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/drones/indonesia>
- Studiawan, H., Ahmad, T., Santoso, B. J., Shiddiqi, A. M., & Pratomo, B. A. (2022). DroneTimeline: Forensic timeline analysis for drones. *SoftwareX*, *20*, 101255. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101255>
- Studiawan, H., Grispos, G., & Choo, K.-K. R. (2023). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Forensics: The Good, The Bad, and the Unaddressed. *Computers & Security*, *132*, 103340. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103340>

- Syukri, F. (2024). Penggunaan Bukti Digital Dalam Persidangan Pidana: Antara Validitas dan Keadilan. *CAUSA: Jurnal Hukum dan Kewarganegaraan*, 6(6).  
<https://doi.org/10.3783/causa.v2i9.2461>
- Taan, H. (2021). Kemudahan Penggunaan dan Harga Terhadap Minat Beli Online Konsumen. *e-Journal Ekonomi Bisnis dan Akuntansi*, 8(1), 89.  
<https://doi.org/10.19184/ejeba.v8i1.19502>
- Thornton, G., & Bagheri Zadeh, P. (2022a). An investigation into Unmanned Aerial System (UAS) forensics: Data extraction & analysis. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 41, 301379. <https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2022.301379>
- Thornton, G., & Bagheri Zadeh, P. (2022b). An investigation into Unmanned Aerial System (UAS) forensics: Data extraction & analysis. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 41, 301379. <https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2022.301379>
- Yaacoub, J.-P., Noura, H., Salman, O., & Chehab, A. (2020). Security Analysis of Drones Systems: Attacks, Limitations, and Recommendations. *Internet of Things*, 11, 100218. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218>
- Yang, C.-C., Chuang, H., & Kao, D.-Y. (2021). Drone Forensic Analysis Using Relational Flight Data: A Case Study of DJI Spark and Mavic Air. *Procedia Computer Science*, 192, 1359–1368. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.139>
- Yousef, M., Iqbal, F., & Hussain, M. (2020a). Drone Forensics: A Detailed Analysis of Emerging DJI Models. *2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, 066–071.  
<https://doi.org/10.1109/ICICS49469.2020.239530>
- Yousef, M., Iqbal, F., & Hussain, M. (2020b). Drone Forensics: A Detailed Analysis of Emerging DJI Models. *2020 11th International Conference on Information and*

<https://doi.org/10.1109/ICICS49469.2020.239530>

Yu, Y., Barthaud, D., Price, B. A., Bandara, A. K., Zisman, A., & Nuseibeh, B. (2019).

LiveBox: A Self-Adaptive Forensic-Ready Service for Drones. *IEEE Access*, 7, 148401–148412. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2942033>

Zhao, Z., Wang, Y., & Liao, G. (2024). Digital Forensic Research for Analyzing Drone and

Mobile Device: Focusing on DJI Mavic 2 Pro. *Drones*, 8(7), 281.

<https://doi.org/10.3390/drones8070281>

## LAMPIRAN A

UAV DJI MINI 3 dan RC-N1



Gambar DJI Mini 3 dan DJI RC-N1

Informasi spesifikasi UAV Mini 3 untuk keperluan UAV forensik:

1. Global Navigation Satellite System: GPS + GLONASS + Galileo
2. Internal Storage: N/A
3. External storage: Micro SD Card
4. Photo format: JPEG/DNG (RAW)
5. Video format: MP4 (H.264)

## LAMPIRAN B

*Smartphone Android Vivo V19*



Gambar Vivo V19

Informasi spesifikasi Vivo V19 untuk keperluan UAV forensik:

1. Nomor model: vivo 1919
2. Sistem operasi: Android
3. Versi android: 12
4. Vivo ROM: Funtouch OS\_10.5
5. RAM: 8 GB
6. Penyimpanan internal telepon: 128 GB
7. IMEI 1: 867355047734439
8. IMEI 2: 867355047734421