ANALISIS ARTEFAK FORENSIK PADA SMARTWATCH GENERASI TERBARU MENGGUNAKAN METODE NIST UNTUK PEMBUKTIAN ALIBI DAN REKONSTRUKSI AKTIVITAS PENGGUNA

Mohammad Krisna Rifkiansyah, Azmuri Wahyu Azinar, Arif Senja Fitrani, Sukma Aji
Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Raya Gelam No.250, Pagerwaja, Gelam, Kec. Candi, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia
krisnarifkiansyah@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi *wearable* menjadikan *smartwatch* sebagai salah satu sumber bukti digital yang potensial dalam investigasi forensik. Perangkat ini mampu merekam berbagai artefak digital seperti lokasi, aktivitas fisik, dan data biometrik yang dapat dimanfaatkan untuk pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna. Analisis artefak digital pada smartwatch generasi terbaru masih menghadapi tantangan, terutama terkait kebutuhan akan metode investigasi yang terstandar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis artefak forensik yang dihasilkan oleh *smartwatch* generasi terbaru serta mengevaluasi pemanfaatannya dalam mendukung proses investigasi forensik digital. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental dan analitis dengan menerapkan kerangka kerja *National Institute of Standards and Technology* (NIST), yang meliputi tahapan *collection*, *examination*, *analysis*, dan *reporting*. Penelitian dilakukan menggunakan skenario simulasi aktivitas pengguna dengan objek penelitian berupa *smartwatch* Redmi Watch 5 Lite yang terhubung dengan *smartphone* dan layanan *cloud*. Hasil penelitian berupa artefak digital seperti data lokasi *Global Positioning System* (GPS), log aktivitas, serta data biometrik yang terekam oleh *smartwatch* yang dapat dikorelasikan secara temporal dan spasial untuk menyusun kronologi aktivitas pengguna. Artefak tersebut terbukti mampu mendukung pembuktian alibi serta rekonstruksi aktivitas secara sistematis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian forensik digital pada perangkat *wearable*, khususnya *smartwatch* generasi terbaru.

Kata kunci : *forensik digital, smartwatch, NIST, artefak digital, alibi, rekonstruksi aktivitas*

1. PENDAHULUAN

Era digital sekarang ini, bukti digital telah menjadi elemen yang sangat penting dalam proses investigasi forensik. Penelitian menunjukkan bahwa data digital seperti surat elektronik, metadata, serta log lokasi digunakan dalam sebagian besar kasus kriminal modern, sehingga menegaskan peran dominan bukti digital dalam proses pembuktian hukum [1]. Bukti digital tidak lagi berfungsi sebagai pelengkap, melainkan telah menjadi komponen utama dalam penegakan hukum berbasis teknologi.

Perkembangan teknologi pada perangkat *wearable* seperti *smartwatch* semakin berpotensi menjadi sumber bukti digital yang bernilai forensik. Aplikasi pendukung *smartwatch* seperti *Fitbit* mampu merekam berbagai data aktivitas pengguna, termasuk lokasi GPS, aktivitas olahraga, pola tidur, notifikasi, serta interaksi pengguna dengan asisten suara seperti *Alexa* atau *Google Assistant* [2]. Informasi tersebut memiliki nilai forensik yang signifikan dan dapat dimanfaatkan untuk mendukung pembuktian alibi maupun penyusunan kronologi kejadian secara temporal dan spasial [3].

Analisis artefak digital pada *smartwatch* generasi terbaru menghadapi sejumlah tantangan teknis. Perangkat ini umumnya menggunakan sistem operasi seperti *Wear OS*, *watchOS*, dan sistem operasi sejenis yang menerapkan mekanisme keamanan tingkat tinggi, termasuk enkripsi data dan manajemen sistem file yang kompleks [4]. Proses ekstraksi data menjadi lebih terbatas, di mana beberapa artefak hanya dapat diperoleh melalui pendekatan analisis tidak langsung akibat keterbatasan akses terhadap sistem penyimpanan internal perangkat [2]. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana cara menganalisis artefak digital dari smartwatch generasi terbaru secara sistematis dan valid untuk kepentingan pembuktian forensik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis artefak forensik yang dihasilkan oleh *smartwatch* generasi terbaru menggunakan metode NIST. Penelitian difokuskan pada identifikasi jenis artefak digital yang dapat diperoleh serta pemanfaatannya dalam pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna.

Kerangka kerja yang banyak digunakan dalam forensik digital adalah metode yang dikembangkan oleh NIST. Metode ini mencakup tahapan *collection*, *examination*, *analysis*, dan *reporting* yang dirancang untuk menjaga integritas data serta meningkatkan konsistensi dan validitas hasil investigasi digital [5]. Penerapan metode NIST juga telah digunakan dalam pengujian alat dan teknik forensik digital guna memastikan reliabilitas serta keterulangan hasil analisis [6].

Permasalahan dalam penilitian ini diselesaikan melalui penerapan metode NIST pada analisis artefak forensik smartwatch menggunakan skenario simulasi aktivitas pengguna. Hasil pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam

pengembangan kajian forensik digital pada perangkat *wearable*, khususnya *smartwatch*, serta menjadi referensi bagi penelitian dan investigasi forensik selanjutnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan teknologi *wearable* seperti *smartwatch* telah mendorong meningkatnya perhatian dalam bidang forensik digital, khususnya terkait identifikasi dan pemanfaatan artefak digital sebagai alat bukti dalam investigasi kriminal. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perangkat ini mampu menghasilkan data aktivitas, lokasi, dan biometrik yang memiliki nilai forensik tinggi, meskipun proses akuisisi dan analisisnya menghadapi tantangan teknis yang signifikan.

Studi terdahulu lainnya, juga menerapkan kerangka kerja forensik terstandar dalam menganalisis artefak dari aplikasi dan perangkat *wearable*. Penelitian oleh Shinelle Hutchinson et al [2] membuktikan bahwa penerapan metode NIST pada analisis aplikasi kebugaran berbasis Android mampu menjamin validitas dan konsistensi bukti digital. Temuan serupa juga ditunjukkan oleh penelitian pada berbagai perangkat *smartwatch* yang mengungkap keberadaan log aktivitas, data GPS, serta data biometrik yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna [7].

Penelitian lain menyoroti bahwa *smartwatch* generasi terbaru dengan sistem operasi modern menerapkan mekanisme proteksi sistem file dan enkripsi yang menyulitkan proses ekstraksi data secara langsung [4], kondisi ini mendorong penggunaan pendekatan alternatif, seperti analisis data hasil sinkronisasi atau pendekatan multi-perangkat, untuk menyusun konteks aktivitas pengguna secara lebih komprehensif [3], [8].

Penelitian terkini juga mengangkat tantangan lanjutan dalam analisis *smartwatch*, termasuk keterbatasan akses pada sistem berbasis *Real Time Operating System* (RTOS) serta kebutuhan akan metode analisis yang lebih spesifik terhadap *firmware* perangkat [9]. Studi lainnya mengembangkan kerangka rekonstruksi aktivitas pengguna dengan mengintegrasikan data biometrik, aktivitas fisik, dan notifikasi guna mendukung interpretasi kejadian secara temporal [10], [11].

Penelitian lain memperluas cakupan forensik *wearable* dengan mengeksplorasi data berbasis *cloud* serta keterkaitan *smartwatch* dalam ekosistem IoT dan *smarthome*, yang menuntut integrasi data lintas perangkat dan kepatuhan terhadap aspek hukum [12], [13], [14].

Tinjauan yang didapat tersebut, disimpulkan bahwa meskipun potensi forensik *smartwatch* telah banyak dikaji, masih terdapat kesenjangan dalam penerapan metode forensik yang terstandar secara sistematis, khususnya untuk analisis artefak *smartwatch* generasi terbaru dalam konteks pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna. Penelitian ini berfokus pada penerapan metode NIST untuk menganalisis artefak forensik dari *smartwatch* generasi terbaru guna mengisi celah tersebut.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Pendekatan eksperimental dan analitis dalam bidang forensik digital dengan skenario simulasi aktivitas digunakan dalam penilitian ini, objek penelitian berupa *smartwatch* generasi terbaru. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis artefak digital yang dihasilkan oleh perangkat smartwatch serta mengevaluasi pemanfaatannya dalam pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna [7].

3.2. Kerangka Kerja Forensik (Metode NIST)

Penelitian ini menerapkan metode forensik digital yang merujuk kepada kerangka kerja NIST. Metode NIST dipilih karena menyediakan tahapan investigasi yang sistematis dan terstandar, sehingga mampu menjaga integritas bukti digital serta meningkatkan validitas hasil analisis.

Gambar 1. Alur metode NIST

Tahapan metode NIST yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi *Collection*, *Examination*, *Analysis*, dan *Reporting* ditunjukkan pada Gambar 1.

3.3. Tahapan Penelitian

a. Collection
   Tahap *collection*, dilakukan pembuatan skenario aktivitas, proses pengumpulan data forensik. Akuisisi data *mencakup* artefak yang tersimpan pada perangkat *smartwatch*, aplikasi pendukung, serta data hasil sinkronisasi yang tersedia. Proses pengumpulan data dilakukan dengan tetap menjaga keutuhan data dan meminimalkan perubahan terhadap bukti digital.
b. Examination
   Tahap *examination* dilakukan untuk menyeleksi dan mengekstraksi artefak digital yang relevan dengan tujuan penelitian. Artefak yang dianalisis meliputi data aktivitas pengguna, informasi lokasi, *timestamp*, log aktivitas, serta data biometrik.
c. Analysis
   Tahap *analysis* bertujuan untuk menginterpretasikan artefak digital yang telah diekstraksi guna menyusun alibi dan merekonstruksi aktivitas pengguna. Analisis dilakukan dengan mengkorelasikan berbagai artefak berdasarkan aspek waktu dan aktivitas, sehingga diperoleh gambaran kronologi kejadian yang konsisten. Hasil analisis dievaluasi untuk

menilai relevansi dan keandalan artefak dalam konteks pembuktian forensik.

d. Reporting
Tahap *reporting* merupakan proses pelaporan dari hasil forensik yang didapat. Pelaporan dilakukan sesuai prinsip forensik digital untuk memastikan transparansi, keterulangan, dan keterterimaan hasil.

3.4. Lingkup dan Batasan Penelitian

Artefak digital pada penelitian ini dihasilkan oleh *smartwatch* Redmi Watch 5 Lite yang terhubung dengan *smartphone* pendaming melalui *bluetooth* sebagai objek penelitian. Perangkat ini dipilih berdasarkan pada karakteristik *smartwatch* generasi terbaru dengan sistem operasi dan mekanisme keamanan modern. Analisis forensik dalam penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan aspek legalitas penggunaan data. *User agreement* Xiaomi memiliki ketentuan, pengguna yang menggunakan produk Xiaomi telah menyetujui ketentuan dukungan teknis, termasuk kemungkinan pemberian akses terbatas terhadap data tertentu kepada pihak ketiga dalam rangka dukungan teknis dan layanan terkait. Penelitian ini berada dalam batasan legalitas yang telah disepakati antara pengguna dan pihak penyedia perangkat. Penelitian ini tidak membahas eksploitasi keamanan, pelanggaran privasi, maupun pengambilan data di luar ketentuan yang diizinkan oleh kebijakan resmi perangkat. Alat forensik yang digunakan terbatas hanya yang dapat diakses saja, sehingga pemaparan lebih detail tidak diterapkan. Metode forensik yang digunakan terbatas pada kerangka kerja NIST, tanpa melakukan perbandingan dengan metode forensik lainnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Fase 1: Collection (Pengumpulan)

a. Persiapan Skenario

Penelitian ini menggunakan skenario simulasi investigasi forensik berbasis kasus hipotetis untuk mengevaluasi pemanfaatan artefak digital dari *smartwatch* dalam pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna. Skenario ini dirancang secara terkontrol tanpa merujuk pada kasus nyata dan hanya digunakan sebagai konteks eksperimental.

Skenario ini meliputi, seorang pengguna *smartwatch* diasumsikan menjadi subjek investigasi terkait suatu peristiwa yang sedang diselidiki pada rentang waktu 8 Desember 2025 pukul 04:45 WIB. Subjek mengklaim melakukan aktivitas rutin berupa olahraga pagi yang melibatkan perpindahan lokasi dan aktivitas fisik. Subjek dalam skenario simulasi mengajukan klaim alibi berupa “saya melakukan kegiatan rutin saya pada hari itu, berolahraga seperti biasanya, kalau tidak salah pada persimpangan jalan bohar dan ganting, ada sepeda motor yang melewati saya berbelok ke arah ganting, pengemudinya sama seperti yang ada diciri-ciri, jika tidak percaya bisa cek *smartwatch* saya, ada catatan aktivitas saya pada hari itu lengkap dengan lokasi saya”,

Aktivitas simulasi dilakukan pada pagi hari pukul 04.31 WIB dengan rute pergerakan yang melibatkan beberapa ruas jalan berbeda. *Smartwatch* mencatat berbagai artefak digital, termasuk data lokasi GPS, langkah kaki, detak jantung, durasi aktivitas, serta log waktu.

Skenario ini digunakan sebagai dasar untuk menguji sejauh mana artefak digital dari smartwatch dapat mendukung atau menyangkal alibi pengguna melalui korelasi data temporal dan spasial menggunakan kerangka kerja NIST.

b. Identifikasi Sumber Bukti

1. *Smartwatch*

Gambar 2. *Smartwatch* xiaomi redmi watch 5 lite

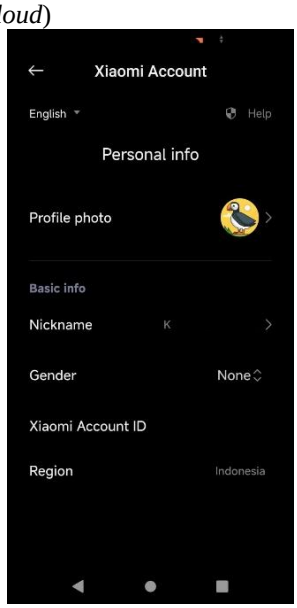
Gambar 2 merupakan *smartwatch* yang terehubung dengan *smartphone* pendamping, berisi data-data yang akan diekstrasksi pada penelitian ini.

2. *Smartphone* pendamping

Gambar 3. *Smartphone* pendaming

Smatphone pendamping yang terkoneksi dengan *smartwatch* lewat *bluetooth* pada Gambar 3 yang memungkinkan data *smartwatch* saling terhubung.

3. Sinkronisasi dengan akun *cloud* (Xiaomi *Cloud*)

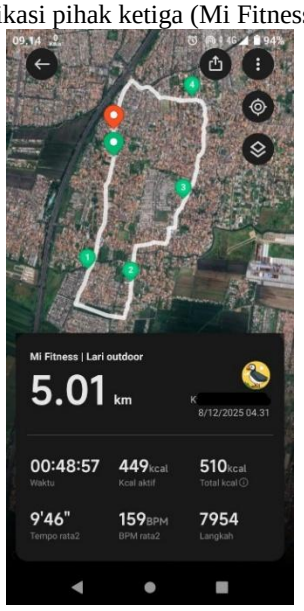


Gambar 4. Akun xiaomi

Akun Xiaomi subjek yang terhubung ke *cloud* pada Gambar 4 merupakan akun *cloud* yang dapat digunakan untuk ekstrasksi data *smartwatch*

c. Akuisisi Data

1. Aplikasi pihak ketiga (Mi Fitness)



Gambar 5. Data dari aplikasi

Tampilan data olahraga pada Gambar 5 yang menampilkan data paling penting yaitu waktu data itu dibuat, GPS, hingga kapan pengguna menyelesaikan aktivitasnya.

Gambar 6. Data lanjutan

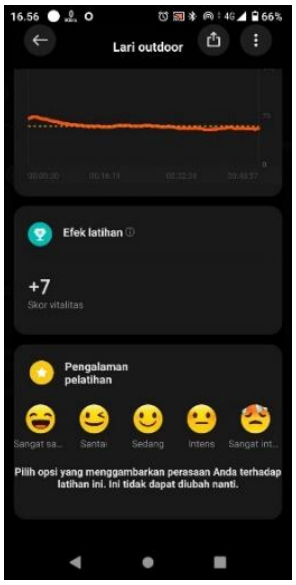
Peningkatan irama detak jantung oleh pengguna dapat dilihat pada Gambar 6, ini bisa mengindikasikan pengguna melakukan aktivitas yang membuat detak jantung berdetak dengan cepat, seperti berolahraga atau melakukan kejahatan.

Gambar 7. Data lanjutan ke-2

Tempo atau kecepatan pengguna bergerak, grafik tempo menunjukkan penurunan yang ditampilkan pada Gambar 7, artinya pengguna berlari dengan cepat pada awal dan melambat lalu stabil hingga akhir.

Gambar 8. Data lanjutan ke-3

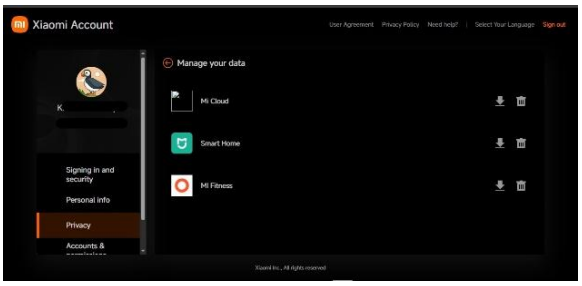
Irama atau cepatnya langkah kaki yang ada pada Gambar 8 mengindikasikan langkah kaki pengguna terlihat stabil, menunjukkan pengguna sedang berlari.



Gambar 9. Data lanjutan ke-4

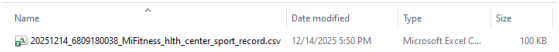
Grafik panjang langkah terlihat stabil dingka 50 an seperti di Gambar 9, ini menunjukkan pengguna sedang berlari pada saat itu.

2. Unduhan data dari *cloud*



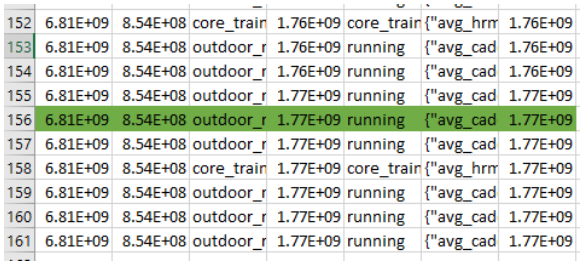
Gambar 10. Data dari *cloud*

Data dari *cloud* didapat dengan cara diunduh dari *website*, terlihat pada Gambar 10 menapilkan halaman unduhan.



Gambar 11. Data hasil unduhan

File data hasil unduhan pada Gambar 11 merupakan data yang didapat dari *website*, data tersebut berupa excel.



152	6.81E+09	8.54E+08	core_train	1.76E+09	core_train	{"avg_hrm	1.76E+09
153	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.76E+09	running	{"avg_cad	1.76E+09
154	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.76E+09	running	{"avg_cad	1.76E+09
155	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.77E+09	running	{"avg_cad	1.77E+09
156	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.77E+09	running	{"avg_cad	1.77E+09
157	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.77E+09	running	{"avg_cad	1.77E+09
158	6.81E+09	8.54E+08	core_train	1.77E+09	core_train	{"avg_hrm	1.77E+09
159	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.77E+09	running	{"avg_cad	1.77E+09
160	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.77E+09	running	{"avg_cad	1.77E+09
161	6.81E+09	8.54E+08	outdoor_r	1.77E+09	running	{"avg_cad	1.77E+09

Gambar 12. Isi data unduhan

Data-data yang terekstrak dari *smartwatch* yang terlihat pada Gamabar 12, data mulai dari awal pemakaian *smartwatch* hingga terakhir digunakan, kolom berwarna hijau merupakan data yang cocok dengan skenario yang telah dibuat.

Tabel 1. Isi data unduhan

Uid	Sid	Key	Time
6809180038	853629198	outdoor running	1765143088

Data unduhan berisi Uid, Sid, Key, Time, pada Tabel 1 menggunakan format value yang tersimpan pada sistem *cloud*.

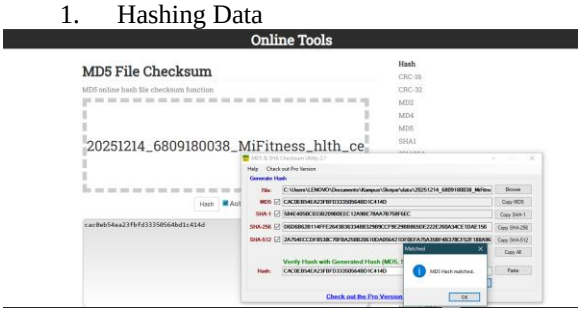
Tabel 2. Lanjutan isi data unduhan

Category	Value	Update Time
running	{"avg_cadence":162,"avg_hrm":159,"avg_pace":586,"avg_speed":6.13,"avg_stride":56,"calories":449,"distance":5008,"duration":2937,"end_time":1765146036,"hrm_aerobic_duration":972,"hrm_anaerobic_duration":1932,"hrm_extreme_duration":0,"hrm_fat_burning_duration":21,"hrm_warm_up_duration":12,"max_cadence":181,"max_hrm":176,"max_pace":435,"max_speed":8.26,"min_hrm":103,"min_pace":1500,"proto_type":22,"sport_type":1,"start_time":1765143088,"steps":7954,"target_value":{"3":"5000"},"time":1765143088,"total_cal":510,"timezone":28,"version":5,"vitality":7}	1765229892

Data berisi Category, Value, Update Time, dari Tabel 2 dapat dilihat isi value pada data tersebut sesuai dengan data dari aplikasi, menunjukkan data unduhan tersinkron dengan *smartwatch*.

d. Preservasi Integritas

1. Hashing Data



Gambar 13. MD5 checksum

File data unduhan dicek MD5 nya, didapat MD5 sesuai, ditunjukkan pada Gambar 13 dari website maupun dari alat forensik, sehingga ini menunjukkan keaslian data.

4.2. Fase 2: Examination (Pemeriksaan)

a. Ekstaraksi Artefak

Tabel 3. Artefak *Smartwatch*

Log	Aktivitas	Biometrik	Lokasi
04:31	Berolahraga	Detak jantung 115 BPM, Panjang langkah 67cm	Ketapang
04:40	Berolahraga	Detak jantung 158 BPM, Panjang langkah 58cm	Suko
04:50	Berolahraga	Detak jangtung, 158 BPM, Panjang langkah 57cm	Bohar
05:00	Berolahraga	Detak jantung, 161 BPM, Panjang langkah 56cm	Wage
05:10	Berolahraga	Detak jantung, 158 BPM, Panjang langkah 51cm	Wage
05:20	Berolahraga	Detak jantung 166 BPM, Panjang langkah 52cm	Ketapang

Artefak yang didapat dari *smartwatch* berisi data-data antara lain log, aktivitas, biometrik, dan juga lokasi, sesuai Tabel 3 artefak ini yang digunakan nanti untuk pembuktian alibi dan rekonstruksi aktivitas pengguna.

4.3. Fase 3: Analysis (Analisis)

a. Analisis Skenario Alibi

Pengguna berada di Tempat Kejadian Perkara (TKP) pada saat kejadian, terlihat dari korelasi waktu dan lokasi kejadian, lalu pengguna berpindah melewati jalan bohar, wage, lalu kembali ke ketempat awal aktivitas dimulai.

Pola aktivitas sesuai dengan apa yang subjek katakan, subjek berolahraga, dapat dilihat dari artefak biometrik nya, detak jantung pengguna dan langkah kakinya berada dikisaran seseorang pada saat berolahraga lari.

b. Rekonstruksi Aktivitas

Subjek memulai kegiatan berolahraga pada pukul 04:31 WIB, lokasi awal menunjukkan berada pada jalan ketapang dengan detak jantung diangka 115 *Bit Per Minute* (BPM) dan panjang langkah 67cm, pada pukul 04:40 subjek sudah bergerak sejauh 1 kilometer, lokasi berada pada jalan suko dengan detak jantung diangka 158 BPM dan panjang langkah 58cm, pada pukul 04:50 subjek sudah bergerak sejauh 2 kilometer, berada pada jalan bohar, pada kisaran waktu ini subjek melewati TKP, detak jantung diangka 158 BPM dan panjang langkah 57cm, pada pukul 05:00 subjek sudah bergerak sejauh 3 kilometer, berada pada jalan wage, detak jantung diangka 161 BPM dan panjang langkah 56cm, pada pukul 05:10 subjek sudah bergerak sejauh 4 kilometer, berada pada jalan wage, detak jantung 158 BPM panjang langkah 51cm, pada pukul 05:20 subjek sudah bergerak sejauh 5 kilometer dan mengakhiri aktivitasnya, berada pada jalan ketapang, detak jantung 166 BPM dan panjang langkah 52cm.

Hasil rekonstruksi aktivitas menunjukkan, alibi subjek sesuai dengan apa yang data-data artefak keluarakan, mulai dari log aktivitas, lokasi, dan juga biometrik, subjek juga mengatakan melihat seseorang dengan ciri-ciri sama mengendarai sepeda motor melewatinya lalu pergi ke arah jalan ganting, ini sesuai dengan artefak biometrik nya, dimana jika seseorang mengendarai sepeda motor maka kecepatannya tidak sama dengan aktivitas berolaraga, dan juga lokasi orang bermotor menuju ke arah jalan ganting sedangkan data artefak tidak menunjukkan lokasi jalan ganting, dan juga nilai detak jantung yang terekam berada dalam rentang aktivitas fisik intensitas sedang hingga tinggi, yang konsisten dengan pola olahraga lari.

4.4. Fase 4: Reporting (Pelaporan)

Laporan forensik disusun dengan hasil kesimpulan : “Hasil pemeriksaan digital forensik yang dianalisis, tidak ada data-data yang menunjukkan bahwa pengguna *smartwatch* melakukan tindak kejahatan melainkan sesuai dengan alibinya”.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini memiliki kesimpulan, *smartwatch* merupakan barang elektronik dengan fungsi menyimpan berbagai artefak digital yang dapat digunakan sebagai bukti untuk membantu proses penyelidikan sehingga mempermudah jalannya penyelidikan.

Saran untuk penelitian selanjutnya, diharapkan bisa menerapkan proses digital forensik dengan alat forensik yang memadai, sehingga akan didapatkan

hasil yang lebih mendetail untuk proses penyelidikan digital forensiknya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Naseeb and S. M. Zarkoon, "Revolutionizing Murder Investigations Through Digital Forensics: https://doi. org/10.5281/zenodo. 17758579," *Pakistan's Multidiscip. J. Arts Sci.*, pp. 30–39, 2025.

[2] S. Hutchinson *et al.*, "Investigating wearable fitness applications: Data privacy and digital forensics analysis on android," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 19, p. 9747, 2022.

[3] M. Kim, Y. Shin, W. Jo, and T. Shon, "Digital forensic analysis of intelligent and smart IoT devices," *J. Supercomput.*, vol. 79, no. 1, pp. 973–997, 2023.

[4] S. Jeon, J. Chung, and D. Jeong, "Watch Out! Smartwatches as criminal tool and digital forensic investigations," *arXiv Prepr. arXiv2308.09092*, 2023.

[5] W. Agustiono, D. W. Suci, and N. Prastiti, "Analisis Forensik Digital Menggunakan Metode NIST untuk Memulihkan Barang Bukti yang Dihapus," *J. Teknol. dan Inf.*, vol. 14, no. 2, pp. 174–185, 2024.

[6] J. Brunty, "Validation of forensic tools and methods: A primer for the digital forensics examiner," *Wiley Interdiscip. Rev. Forensic Sci.*, vol. 5, no. 2, p. e1474, 2023.

[7] L. Dawson and A. Akinbi, "Challenges and opportunities for wearable IoT forensics: TomTom Spark 3 as a case study," *Forensic Sci. Int. Reports*, vol. 3, p. 100198, 2021.

[8] N. A. Almubairik and F. A. Khan, "Systematic Literature Review on Wearable Digital Forensics: Acquisition Methods, Analysis Techniques, Tools, and Future Directions," *IEEE Internet Things J.*, 2024.

[9] B. Fakiha, "Unlocking Digital Evidence: Recent Challenges and Strategies in Mobile Device Forensic Analysis," *J. Internet Serv. Inf. Secur.*, vol. 14, no. 2, pp. 68–84, 2024.

[10] N. Almubairik, F. A. Khan, and R. Mohammad, "Wristsense: Unveiling the Potential of Wrist-Wear Devices Digital Forensics," *Available SSRN 4783421*, 2024.

[11] P. Donaire-Calleja, A. Robles-Gómez, L. Tobarra, and R. Pastor-Vargas, "Forensic analysis laboratory for sport devices: A practical use case," *Electronics*, vol. 12, no. 12, p. 2710, 2023.

[12] P. Hegde, "Forensic Insights: Analyzing and Visualizing Fitbit Cloud Data," 2023, *Purdue University*.

[13] H. Mahmood, M. Arshad, I. Ahmed, S. Fatima, and H. ur Rehman, "Comparative study of IoT forensic frameworks," *Forensic Sci. Int. Digit. Investig.*, vol. 49, p. 301748, 2024.

[14] J. M. Castelo Gómez, J. Carrillo-Mondéjar, J. Roldán-Gómez, and J. L. Martínez Martínez, "A concept forensic methodology for the investigation of IoT Cyberincidents," *Comput. J.*, vol. 67, no. 4, pp. 1324–1345, 2024.