



Dari Kain Ke Kasus: Analisis Forensik dalam Menyelesaikan Pembunuhan Bersejarah

Dortji Leonora Saruning¹

¹Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia, dortji.leonora.saruning-2023@pasca.unair.ac.id

Corresponding Author: dortji.leonora.saruning-2023@pasca.unair.ac.id¹

Abstract: *Historic homicide cases (cold cases) present complex challenges in forensic science, primarily due to the progressive degradation and increased potential for contamination of evidence over time. This study aims to systematically examine the contribution of forensic fiber analysis and DNA extracted from textiles in supporting the resolution of cold cases, based on relevant scientific literature. The methods employed include a Systematic Literature Review and Case Study Synthesis of publications reporting the application of fiber analysis and forensic genetics in the context of historic homicide investigations. The review identifies two major technological advancements: (1) a shift in fiber analysis from comparative microscopic approaches toward non-destructive spectroscopic techniques, such as Micro-Raman and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, which enable the chemical characterization of degraded fibers; and (2) improvements in the recovery of touch DNA from textiles, combined with Next-Generation Sequencing (NGS) and Forensic Genetic Genealogy (FGG). The integration of fiber analysis as associative evidence and the use of FGG as an identification tool are reported to significantly enhance the evidentiary value of minimal trace evidence in cold case investigations. This study concludes that advancements in modern forensic methodologies play a crucial role in re-optimizing the use of legacy evidence and strengthening perpetrator identification processes in historic homicide cases.*

Keywords: *Forensic Fiber Analysis, Cold Cases, Touch DNA, Forensic Genetic Genealogy (FGG)*

Abstrak: Kasus pembunuhan bersejarah (*cold case*) merupakan tantangan kompleks dalam ilmu forensik, terutama akibat degradasi dan potensi kontaminasi bukti yang meningkat seiring berjalannya waktu. Penelitian ini bertujuan untuk menelaah secara sistematis kontribusi analisis forensik serat dan DNA yang diekstraksi dari tekstil dalam mendukung penyelesaian kasus *cold case* berdasarkan literatur ilmiah yang relevan. Metode yang digunakan meliputi *Systematic Literature Review* dan *Case Study Synthesis* terhadap publikasi yang melaporkan penerapan analisis serat dan genetika forensik dalam konteks kasus pembunuhan bersejarah. Hasil telaah menunjukkan adanya dua perkembangan teknologi utama, yaitu pergeseran analisis serat dari pendekatan mikroskopi komparatif menuju teknik spektroskopi non-destruktif seperti Micro-Raman dan Fourier Transform

Infrared (FTIR) yang memungkinkan karakterisasi kimia serat terdegradasi, serta peningkatan metode pemulihan touch DNA dari tekstil yang dikombinasikan dengan Next-Generation Sequencing (NGS) dan *Forensic Genetic Genealogy* (FGG). Integrasi antara analisis serat sebagai bukti penghubung dan pemanfaatan FGG sebagai alat identifikasi dilaporkan berkontribusi signifikan dalam meningkatkan nilai pembuktian bukti jejak minimal pada investigasi *cold case*. Studi ini menyimpulkan bahwa perkembangan metodologi forensik modern berperan penting dalam mengoptimalkan kembali pemanfaatan bukti lama dan memperkuat proses identifikasi pelaku dalam kasus pembunuhan bersejarah.

Kata Kunci : Analisis Serat Forensik, Cold Case, DNA Touch, *Forensic Genetic Genealogy* (FGG)

PENDAHULUAN

Ilmu forensik memegang peranan penting dalam sistem peradilan pidana dengan menyediakan bukti ilmiah yang objektif, yang diperlukan untuk mengungkap fakta, mengidentifikasi pelaku, dan mengesahkan keputusan hukum guna mencapai keadilan berdasarkan data empiris serta meminimalkan kesalahan peradilan (Balhareth *et al.*, 2024). Prinsip pertukaran Locard, yang menegaskan bahwa setiap kontak meninggalkan jejak, menjadi dasar penting dalam analisis bukti mikroskopis; namun karena banyak jejak mudah terdegradasi, sulit terlihat, atau dahulu hanya dianalisis menggunakan metode konvensional, proses investigasi sering menghadapi hambatan—suatu kondisi yang kerap tampak pada *cold case*, ketika bukti lama perlu dianalisis ulang dengan teknologi forensik yang lebih maju (Donald, 2022).

Cold case merupakan kasus kriminal yang tetap tidak terpecahkan selama bertahun-tahun disebabkan oleh keterbatasan bukti, sedikitnya saksi, atau keterbatasan teknologi forensik pada tahap awal penyelidikan. Dalam konteks ini, bukti jejak seperti rambut, serat, atau bukti entomologi memiliki peran yang signifikan karena sifatnya yang dapat bertahan lama, sehingga menjadi kunci ketika kasus tersebut dibuka kembali. Sebagaimana dijelaskan dalam sebuah jurnal, dua *cold cases* di Eropa berhasil dihubungkan kembali melalui analisis bukti jejak berupa rambut dan aktivitas serangga, yang keduanya memiliki nilai probatif tinggi dan dapat bertahan meskipun jenazah telah mengalami proses mumifikasi atau pembusukan. Hal ini memungkinkan rekonstruksi hubungan antara korban, pelaku, dan lokasi kejadian (Introna *et al.*, 2021).

Tujuan literatur ini untuk mengevaluasi dan menganalisis kontribusi analisis forensik yang meliputi serat, DNA, dan bukti jejak lainnya dalam penyelesaian kasus pembunuhan bersejarah (*cold case*) yang meliputi perkembangan teknologi, metodologi pemeriksaan, serta perannya dalam mengungkap hubungan antara pelaku, korban, dan lokasi kejadian. Selain itu, kajian ini berupaya mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam analisis bukti yang telah mengalami degradasi dan menyoroti bagaimana inovasi ilmiah dapat menghidupkan kembali kasus-kasus yang telah lama tidak terpecahkan (Haddrill, 2021).

METODE

Jurnal ini disusun berdasarkan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dan *Case Study Synthesis* untuk menganalisis peran analisis forensik serat dan DNA dalam menyelesaikan kasus pembunuhan bersejarah.

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan pada basis data ilmiah utama, termasuk Scopus, Web of Science, dan Google Scholar, dengan fokus pada publikasi yang diterbitkan dalam periode lima tahun

terakhir (2020-2025) untuk memastikan relevansi dan aktualitas teknologi yang dibahas. Kata kunci utama yang digunakan dalam pencarian meliputi:

1. Forensik Serat: “forensic fiber analysis,” “textile analysis,” “micro-Raman spectroscopy,” “FTIR spectroscopy,” “dye analysis.”
2. DNA dan Tekstil: “DNA recovery from textile,” “touch DNA,” “low-template DNA,” “forensic genetics,” “Next-Generation Sequencing (NGS).”
3. Kasus Bersejarah: “cold case,” “historical murder,” “unsolved homicide,” “trace evidence resolution,” “forensic genetic genealogy (FGG).”

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria Inklusi :

1. Publikasi ilmiah yang telah melalui proses peer-review (jurnal, bab buku, prosiding konferensi terindeks).
2. Tanggal publikasi antara 1 Januari 2020 hingga 31 Desember 2025.
3. Fokus utama pada analisis forensik bukti jejak (serat, tekstil, DNA) dan aplikasinya dalam investigasi kriminal, khususnya *cold case* atau kasus bersejarah.
4. Artikel yang membahas perkembangan metodologi, validasi teknik baru, atau studi kasus yang relevan.

Kriteria Eksklusi :

1. Publikasi yang tidak melalui *peer-review* (berita, blog, white paper komersial).
2. Publikasi sebelum tahun 2020 .
3. Fokus pada jenis bukti forensik lain yang tidak relevan (misalnya, sidik jari, balistik, digital forensik murni).

Proses Seleksi dan Sintesis Data

Dari hasil pencarian awal, dilakukan proses skrining dua tahap:

1. Skrining Judul dan Abstrak: Judul dan abstrak disaring untuk mengidentifikasi artikel yang paling relevan dengan kriteria inklusi.
2. Skrining Teks Lengkap: Artikel yang lolos skrining awal diunduh dan dibaca secara lengkap untuk memastikan kesesuaian dan kualitas ilmiah.

Sebanyak referensi unik dan relevan dipilih untuk dimasukkan dalam tinjauan ini. Data yang diekstraksi dari setiap artikel meliputi: (1) Jenis teknologi forensik yang dibahas, (2) Konteks aplikasi (serat, DNA, *cold case*), (3) Temuan utama, dan (4) Implikasi terhadap praktik forensik. Sintesis data dilakukan secara naratif dan tematik, mengelompokkan temuan berdasarkan teknologi dan dampaknya terhadap penyelesaian kasus bersejarah, yang kemudian disajikan dalam bagian Hasil dan Diskusi.

Keterbatasan

Metode ini memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada literatur yang dipublikasikan dan mungkin tidak mencakup semua kasus *cold case* yang diselesaikan, terutama yang tidak dipublikasikan secara terbuka karena alasan kerahasiaan investigasi. Namun, dengan fokus pada publikasi ilmiah terbaru, tinjauan ini memberikan gambaran yang akurat tentang kemajuan metodologis terkini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa kemajuan dalam analisis serat dan DNA telah secara fundamental mengubah kemampuan penyidik forensik untuk menyelesaikan kasus-kasus pembunuhan bersejarah.

1. Analisis Serat: Dari Mikroskop ke Spektroskopi

Transformasi metodologis dari mikroskopi komparatif ke teknik spektroskopi molekuler (Micro-Raman dan FTIR) memungkinkan karakterisasi komposisi kimia serta

profil pewarna serat secara non-destruktif, guna mengatasi hambatan degradasi material pada bukti fisik yang telah berusia puluhan tahun (Lepot *et al.*, 2022).

Dalam memberikan gambaran komprehensif mengenai efikasi instrumen sebagai investigasi lanjut, tabel berikut menyajikan perbandingan parameter teknis antara metode konvensional dan spektroskopi mutakhir dalam konteks pemrosesan bukti tekstil pada kasus-kasus pembunuhan bersejarah (Lepot *et al.*, 2022).

Tabel 1. Perbandingan Teknik Analisis Serat Forensik dalam Konteks Kasus Bersejarah

Teknik Analisis	Prinsip Dasar	Keunggulan dalam <i>Cold Case</i>	Referensi
Mikroskopis Komparatif	Perbandingan karakteristik optik visual (warna, bentuk, pleokroisme).	Non-destruktif, cepat, murah.	(Lepot <i>et al.</i> , 2022); Lim-hitching <i>et al.</i> , 2025)
Spektroskopi Micro-Raman	Analisis getaran molekul untuk identifikasi polimer dan pewarna.	Non-destruktif, sangat spesifik untuk pewarna, dapat menganalisis serat tunggal.	(Mojica <i>et al.</i> , 2022); (Aljannah <i>et al.</i> , 2022)
Spektroskopi FTIR	Analisis penyerapan inframerah untuk identifikasi komposisi kimia.	Identifikasi jenis polimer serat yang cepat dan akurat.	(Mojica <i>et al.</i> , 2022); (Wilson <i>et al.</i> , 2024)
Analisis Kerusakan Tekstil	Evaluasi kerusakan serat (robekan, potongan) untuk menentukan mekanisme kontak.	Memberikan konteks investigasi yang kuat (modus operandi).	(Lepot <i>et al.</i> , 2022)

Penelitian terbaru menekankan pentingnya Spektroskopi Micro-Raman (Mojica *et al.*, 2022) dan FTIR (Wilson *et al.*, 2024) Keunggulan utama teknik ini terletak pada kemampuannya dalam menghasilkan profil kimia spesifik serat, termasuk karakterisasi jenis dan komposisi pewarna. Pada konteks kasus pembunuhan bersejarah, ketika serat mengalami pemudaran warna atau degradasi permukaan akibat paparan lingkungan jangka panjang, analisis terhadap komponen kimia internal serat tetap memberikan informasi yang bersifat diskriminatif. Dengan demikian, profil pewarna pada serat yang diperoleh dari tempat kejadian perkara masih dapat dibandingkan secara valid dengan pewarna pada tekstil yang diduga berasal dari sumber yang sama, meskipun bukti tersebut telah mengalami proses penuaan selama bertahun-tahun (Wilson *et al.*, 2024).

Selain aspek analitis, literatur menegaskan pentingnya pendekatan interpretatif dalam evaluasi bukti serat. Lim-Hitchings menekankan bahwa temuan serat perlu dianalisis dengan mempertimbangkan proposisi yang saling bersaing, seperti kemungkinan terjadinya transfer langsung pada saat tindak pidana dibandingkan dengan perpindahan akibat kontaminasi lingkungan. Pendekatan ini menjadi semakin krusial dalam konteks kasus pembunuhan bersejarah, di mana potensi terjadinya kontaminasi sekunder maupun tersier meningkat seiring lamanya interval waktu antara peristiwa dan pemeriksaan forensik (Lim-Hitchings *et al.*, 2025).

DNA Touch pada Medium Tekstil

Pemulihan DNA dari bahan tekstil, yang dalam banyak kasus pembunuhan bersejarah merupakan satu-satunya sumber bukti biologis yang tersedia, telah menjadi fokus utama dalam penelitian forensik. Tantangan mendasar dalam proses ini terletak pada keterbatasan jumlah dan kualitas DNA yang dapat diperoleh dari serat tekstil yang telah mengalami degradasi atau perlakuan pencucian sebelumnya (Medina-Paz *et al.*, 2024).

Penerapan protokol ekstraksi DNA yang sensitif memungkinkan pemulihan DNA dari noda darah pada tekstil, meskipun bahan tersebut telah mengalami proses pencucian. Temuan ini

menunjukkan bahwa bukti biologis pada tekstil tidak selalu kehilangan nilai forensiknya dan masih berpotensi memberikan informasi genetik (Sapan *et al.*, 2021).

Analisis *environmental DNA* (eDNA) dari media udara dan debu memungkinkan pemulihan profil genetik manusia yang signifikan sebagai instrumen pelengkap dalam investigasi *cold case*. Akumulasi materi biologis pada permukaan yang tidak terganggu berfungsi sebagai reservoir historis yang mampu mempreservasi DNA penghuni hingga kurun waktu dua tahun. Selain melalui kontak fisik, transfer DNA dapat terjadi secara aerosol melalui aktivitas respirasi normal atau pelepasan partikel dari material tekstil ke lingkungan sekitar (Goray *et al.*, 2023).

Peran Teknologi DNA Revolusioner seperti pendekatan *Next-Generation Sequencing* (NGS) telah banyak digunakan dalam investigasi forensik modern dan, dalam sejumlah kasus bersejarah, menunjukkan keunggulan dibandingkan metode STR konvensional karena kemampuannya menganalisis fragmen DNA yang sangat kecil dan terdegradasi. Selain itu, NGS memungkinkan analisis multilokus secara simultan, termasuk *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNP), yang berperan penting dalam analisis DNA mitokondria dan penanda kromosom Y, sehingga meningkatkan resolusi dan ketepatan identifikasi genetik (Satam *et al.*, 2023).

Selain itu, *Forensic Genetic Genealogy* (FGG) *Forensic Genetic Genealogy* (FGG) merupakan pendekatan yang memanfaatkan basis data silsilah genetik publik untuk mengidentifikasi kerabat biologis jauh dari profil DNA yang tidak dikenal dan telah menjadi terobosan penting dalam penyelesaian kasus *cold case*. Penerapan FGG memungkinkan pengembangan petunjuk investigatif meskipun profil DNA pelaku tidak tercantum dalam basis data DNA kriminal konvensional seperti CODIS. Selain itu, ketika dikombinasikan dengan bukti jejak fisik, termasuk DNA yang diekstraksi dari serat atau material tekstil, FGG memberikan kontribusi signifikan dalam mempersempit identitas pelaku secara forensik.

Integrasi Bukti Jejak dan Teknologi Baru

Resolusi investigasi terhadap *cold case* secara determinan bergantung pada integrasi multidisipliner ilmu forensik, di mana analisis mikroskopis serat berfungsi untuk merekonstruksi konteks spasial peristiwa, sementara pemulihan profil DNA memberikan identitas biologis yang presisi bagi subjek yang terlibat.

Dalam penyelidikan forensik, khususnya pada kasus yang tertunda (*cold case*), analisis awal terhadap karakteristik serat dan pewarna pada tekstil dapat memberikan konteks penting dalam mempersempit ruang lingkup investigasi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa tekstil, meskipun telah mengalami proses pencucian, masih mampu mempertahankan DNA yang dapat dipulihkan melalui protokol ekstraksi sensitif dan berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber informasi genetik pada tahap investigasi lanjutan (Sapan *et al.*, 2021).

Pengelolaan bukti biologis menuntut penerapan prosedur sterilisasi yang ketat serta penggunaan alat pelindung diri untuk meminimalkan risiko kontaminasi silang dan degradasi DNA sejak tahap pengumpulan di tempat kejadian perkara. Perlindungan terhadap integritas substrat seperti tekstil dan debu sebagai media penyimpan DNA menjadi aspek penting, mengingat partikel-partikel tersebut dapat mempertahankan informasi genetik individu dalam jangka waktu yang panjang. Penerapan prosedur penyimpanan yang terstandar berperan dalam menjamin keandalan data saat analisis dilakukan serta mempertahankan kualitas sampel agar tetap dapat dimanfaatkan seiring berkembangnya teknologi analisis DNA yang lebih sensitif di kemudian hari (Rajput, 2024).

Analisis forensik fisik, khususnya terhadap serat dan DNA, berperan dalam menyediakan bukti empiris, sementara pendekatan psikologis forensik berkontribusi dalam penyusunan profil pelaku serta penafsiran pola dan motivasi tindak kriminal. Integrasi kedua pendekatan tersebut menghasilkan kerangka pembuktian yang komprehensif dan saling melengkapi. Secara umum, perkembangan forensik modern telah meningkatkan nilai

evidensial bukti jejak yang sebelumnya dianggap terbatas, sehingga memungkinkan penyelesaian kasus pembunuhan lama dan mendukung tercapainya keadilan bagi korban (Sapan *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Perkembangan metodologi analisis bukti jejak telah secara signifikan mereorientasi pendekatan penyelidikan terhadap kasus pembunuhan yang belum terpecahkan (*cold cases*) melalui integrasi teknik spektroskopi mutakhir dan genetika forensik tingkat lanjut. Penerapan metode non-destruktif, seperti Micro-Raman dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), memungkinkan karakterisasi komposisi kimia serta pewarna serat secara akurat tanpa mengorbankan integritas bukti yang telah mengalami degradasi temporal. Nilai utama penelitian ini terletak pada optimalisasi protokol pemulihan DNA sentuhan yang dikombinasikan dengan teknologi *Next Generation Sequencing* (NGS) dan *Forensic Genetic Genealogy* (FGG), sehingga residu biologis dalam jumlah sangat terbatas tetap dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan identifikasi pelaku secara presisi melalui pemanfaatan basis data genealogi publik. Keberhasilan penyelesaian kasus-kasus bersejarah tersebut merefleksikan penerapan kontemporer Prinsip Pertukaran Locard, di mana sinergi antara analisis serat sebagai bukti penghubung dan profil DNA yang komprehensif berperan penting dalam memperkuat pembuktian hukum serta mendukung standardisasi protokol pelestarian bukti tekstil di laboratorium forensik.

REFERENSI

- Balhareth, A. A. S., Mohammed, J., Zabarah, M. G. A., Almotlaq, M., Alabaaltahin, M. A. M., Al Jaarah, A. H. A., Aldawsari, G. A., Almastaneer, K. A. M., & Al, Y. A. S. H. (2024). *The role of forensic medicine in modern criminal justice: A review of current practices and innovations*. *Journal of Ecohumanism*, 6798, 2699–2707.
- Donald, T., & Sumad-On, R. D. C. (2022). *The methods of extracting trace evidence in criminal investigation*. *International Journal of Innovative Science Research and Technology*, 7(2), 702–706.
- Goray, M., Taylor, D., Fonneløp, A. E., Gill, P., Bibbo, E., Fantinato, C., et al. (2024). *Emerging use of air eDNA and its application to forensic investigations: A review*. *Forensic Science International*, 916–932.
- Hadrill, P. R. (2021). *Developments in forensic DNA analysis*. *Forensic Science Review*, 381–393.
- Introna, F., Cattaneo, C., Mazzarelli, D., De Micco, F., & Campobasso, C. P. (2021). *Unusual application of insect-related evidence in two European unsolved murders*. *Forensic Science International*, 1–7.
- Lepot, L., Vanhouche, M., Vanden Driessche, T., & Lunstroot, K. (2023). *Interpol review of fibres and textiles 2019–2022*. *Forensic Science International: Synergy*, 6, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100307>
- Lim-Hitchings, Y. C., Schnegg, M., & Palmer, R. (2025a). *Evaluating findings of fibre comparisons in forensic science. Part 1: Considering the occurrence and background*. *Forensic Science International*, 377.
- Lim-Hitchings, Y. C., Schnegg, M., & Palmer, R. (2025b). *Evaluating findings of fibre comparisons in forensic science. Part 2: Considering transfer, persistence, and recovery*. *Forensic Science International*, 377, 1–22.
- Medina-Paz, F., Kuba, B., Kryvorutsky, E., & Roca, G. (2024). *Assessment of blood and semen detection and DNA collection from swabs up to three months after deposition on five different cloth materials*. *Forensic Science International*.
- Mojica, E. R., & Dai, Z. (2022). *New Raman spectroscopic methods' application in forensic science*. *Talanta Open*, 6, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2022.100124>

- Rajput, H. (2024). *Biological evidence for crime investigation*. Forensic Research Journal, 1, 34–52.
- Sapan, T. Ü., Erdoğan, İ. T., & Atasoy, S. (2021). *Human identification from washed blood stains*. Bulletin of the National Research Centre. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00600-3>
- Satam, H., Joshi, K., Mangrolia, U., Waghoo, S., Zaidi, G., Rawool, S., et al. (2023). *Next-generation sequencing technology: Current trends and advancements*. Journal of Genomic Technologies.
- Wilson, S. A., Laing, R. M., Tan, E., Wilson, C. A., Samanali, P., Arachchige, G., et al. (2024). *Determining deposits on knit fabrics, yarns, and fibers from sensor-related treatments*. Journal of the Textile Institute, 115(8), 1229–1241. <https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2221427>