

TOUCH DNA DALAM PENERAPAN ILMU FORENSIK: TINJAUAN LITERATUR

Baety Adhayati^{1*}, Luluk Hermawati², Abdul Hadi Furqoni³

¹Departemen Humaniora dan medikolegal, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Departemen biologi medis, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

³Center for Biomedical Research, National Research and Innovation Agency (BRIN), Bogor, Indonesia

*)Email korespondensi: baety.adhayati@untirta.ac.id

Abstract: Touch DNA in the Application of Forensic Science: Literature Review.

Touch DNA, derived from epithelial cells left behind by minimal physical contact, has become an essential component of modern forensic science. This review aims to systematically review the fundamental and applicable aspects of Touch DNA, including its biological origin, collection methods, analysis techniques, and interpretive challenges faced in forensic practice. The literature was collected through a systematic search of the electronic databases PubMed, Scopus, and Google Scholar, using a combination of relevant keywords. Articles were screened based on pre-defined inclusion and exclusion criteria, to ensure methodological quality and thematic relevance. The review results show that although STR analysis allows DNA identification with minimal sample size, the success of extraction and interpretation is greatly influenced by factors such as surface type, duration and pressure of contact, and environmental conditions. Collection techniques such as wet swabbing and adhesive removal have proven to be important in maximizing DNA recovery. In addition, the presence of mixed DNA, the risk of contamination, and secondary transfer pose major challenges to the validity of the results. Probabilistic-based approaches to genotype interpretation are increasingly being adopted to address these complexities. This review underscores the importance of developing rigorous operational standards and rigorous analytical approaches to improve the accuracy, reliability and probative value of Touch DNA evidence in the justice system.

Keywords: DNA Touch, Forensics, STR Analysis, DNA Transfer

Abstrak: Touch DNA dalam Penerapan Ilmu Forensik: Tinjauan Literatur.

Touch DNA berasal dari sel-sel epitel yang tertinggal akibat kontak fisik minimal, telah menjadi komponen penting dalam ilmu forensik modern. Kajian ini bertujuan untuk menelaah secara sistematis aspek fundamental dan aplikatif dari Touch DNA, termasuk asal-usul biologis, metode pengumpulan, teknik analisis, serta tantangan interpretatif yang dihadapi dalam praktik forensik. Literatur dikumpulkan melalui penelusuran sistematis pada basis data elektronik PubMed, Scopus, dan Google Scholar, dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan. Seleksi artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan, untuk memastikan kualitas metodologis dan relevansi tematik. Hasil kajian menunjukkan bahwa meskipun analisis STR memungkinkan identifikasi DNA dengan jumlah sampel minimal, keberhasilan ekstraksi dan interpretasi sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis permukaan, durasi dan tekanan sentuhan, serta kondisi lingkungan. Teknik pengumpulan seperti pengusapan basah dan angkat perekat terbukti krusial dalam memaksimalkan perolehan DNA. Selain itu, keberadaan DNA campuran, risiko kontaminasi, dan transfer sekunder menjadi tantangan utama dalam validitas hasil. Pendekatan berbasis probabilistik dalam interpretasi genotipe kini semakin banyak diadopsi untuk mengatasi kompleksitas ini.

Kata kunci Touch DNA, Forensik, Analisis STR, Transfer DNA

PENDAHULUAN

Touch DNA merupakan istilah yang merujuk pada jejak DNA yang berasal dari sel-sel epitel kulit yang terlepas akibat kontak fisik dengan suatu permukaan. Konsep ini pertama kali diperkenalkan pada akhir tahun 1990-an, ketika Van Oorschot dan Jones (1997) menunjukkan bahwa interaksi minimal antara kulit manusia dan permukaan benda dapat menghasilkan residu genetik yang cukup untuk dianalisis. Temuan ini merevolusi praktik forensik yang sebelumnya sangat bergantung pada bukti biologis yang lebih jelas, seperti darah, air liur, atau cairan tubuh lainnya (Yudianto, Nzilibili, *et al.*, 2020). Dengan adanya touch DNA, analisis genetik dapat dilakukan meskipun jumlah material biologis sangat terbatas, sehingga membuka peluang baru dalam mengungkap kasus-kasus kriminal dengan jejak forensik yang minim (Yudianto, Nuraini, *et al.*, 2020; Manqana *et al.*, 2025).

Analisis touch DNA umumnya menggunakan teknik Short Tandem Repeat (STR), yang saat ini menjadi metode standar dalam pemeriksaan DNA forensik. STR mengeksplorasi urutan DNA pendek yang berulang dan sangat polimorfik, memungkinkan identifikasi individu dengan sensitivitas tinggi, bahkan hanya dengan 6–10 sel epitel (Manela *et al.*, 2022; Nimbkar and D. Bhatt, 2022). Keunggulan teknik ini menjadikan touch DNA sangat berguna dalam berbagai konteks penyidikan, terutama pada lokasi kejadian yang tidak menunjukkan adanya bukti biologis kasatmata namun menyimpan jejak kontak manusia secara tidak langsung (Haddrill, 2021).

Kendati potensial, penerapan touch DNA menghadapi berbagai tantangan teknis dan interpretatif. Salah satu hambatan utama adalah risiko kontaminasi silang dan transfer sekunder, yaitu perpindahan DNA secara tidak sengaja dari satu objek ke objek lain tanpa kontak langsung, yang dapat mengaburkan sumber sebenarnya dari profil genetik (Coble and Bright, 2019; Woollacott *et al.*, 2025). Oleh karena itu, prosedur pengumpulan, ekstraksi, dan

analisis harus dilakukan secara ketat dan terstandar guna memastikan integritas bukti. Selain itu, penggunaan pendekatan statistik canggih seperti genotipe probabilistik semakin dibutuhkan untuk menangani profil DNA campuran yang sering muncul pada sampel touch DNA, guna meningkatkan ketepatan dan objektivitas dalam interpretasi hasil (Kokshoorn *et al.*, 2018).

Analisis DNA telah menjadi pondasi utama dalam ilmu forensik modern, memungkinkan identifikasi individu secara akurat berdasarkan informasi genetik. Kemajuan dalam teknologi biologi molekuler telah memperluas kemampuan analisis forensik, termasuk pengujian terhadap touch DNA dalam jumlah sangat kecil yang ditinggalkan melalui kontak tidak langsung, seperti sentuhan pada permukaan benda. Touch DNA umumnya berasal dari sel-sel epitel kulit yang terlepas, dan meskipun kuantitasnya sangat terbatas, jejak ini dapat memberikan informasi genetik yang relevan dalam proses investigatif, terutama pada kasus yang minim atau tanpa bukti biologis yang kasatmata (Van Oorschot and Jones, 1997; Manqana *et al.*, 2025).

Dengan meningkatnya sensitivitas teknik seperti analisis STR, penggunaan touch DNA semakin meluas dalam kasus-kasus forensik, mulai dari pencurian hingga pembunuhan (Nimbkar and D. Bhatt, 2022). Namun, penerapan metode ini masih menghadapi berbagai tantangan. Permasalahan seperti kontaminasi silang, transfer sekunder, serta kompleksitas interpretasi profil DNA campuran dapat menurunkan keandalan hasil analisis dan berdampak pada penerimaannya sebagai alat bukti di pengadilan (Gusmão *et al.*, 2006; Meakin and Jamieson, 2013; Neves and Zieger, 2023; Woollacott *et al.*, 2025). Oleh karena itu, keberhasilan analisis touch DNA tidak hanya bergantung pada sensitivitas metode, tetapi juga pada pengelolaan prosedur pengambilan sampel, validasi laboratorium, dan pendekatan interpretatif yang ketat. Beberapa penelitian terdahulu mengungkapkan fenomena yang memperkuat urgensi kajian mendalam

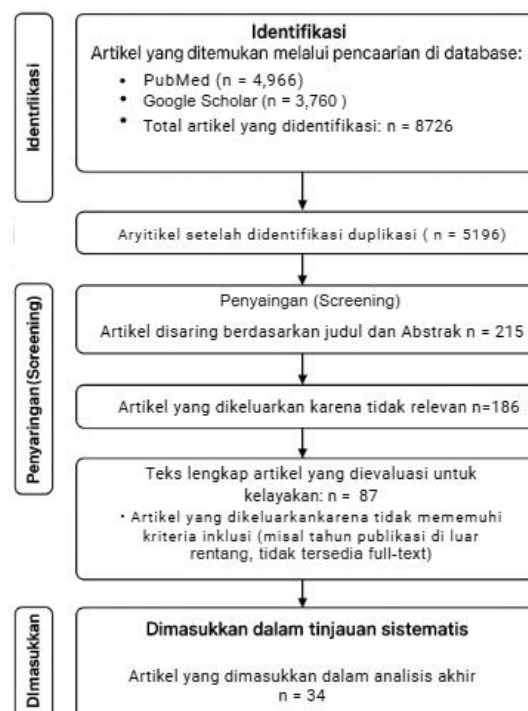
terhadap touch DNA. Misalnya, transfer sekunder DNA yaitu ketika DNA individu berpindah ke suatu objek melalui perantara, bukan melalui kontak langsung telah ditemukan dapat menyebabkan kesalahan interpretasi dalam konteks kriminal (Meakin and Jamieson, 2013). Dalam studi kasus tertentu, individu yang tidak pernah menyentuh suatu barang dapat terlibat dalam investigasi karena adanya transfer sekunder tersebut. Selain itu, keberadaan DNA campuran dari beberapa individu dalam satu sampel sering kali menyulitkan analisis, terutama dalam lingkungan dengan lalu lintas manusia tinggi seperti tempat umum atau ruang tahanan (Neves and Zieger, 2023). Fenomena ini menunjukkan bahwa pemahaman lebih dalam mengenai perilaku dan distribusi touch DNA sangat penting untuk meningkatkan validitas forensik.

Prospek penggunaan touch DNA ke depan sangat luas dan menjanjikan, terutama dengan adanya perkembangan teknologi seperti next-generation sequencing (NGS) dan peningkatan kapasitas analisis mikroskopis. Touch DNA berpotensi digunakan tidak hanya untuk

identifikasi pelaku, tetapi juga dalam pemetaan urutan kejadian di tempat kejadian perkara melalui analisis spasial DNA (Woollacott *et al.*, 2025). Selain itu, pengembangan protokol yang lebih presisi dapat mengurangi kesalahan akibat kontaminasi dan meningkatkan penerimaan touch DNA sebagai bukti kuat di pengadilan. Dengan potensi aplikatif yang tinggi dan tantangan ilmiah yang kompleks, touch DNA menjadi salah satu aspek krusial dalam ilmu forensik yang layak untuk terus dikembangkan dan dikaji secara multidisipliner.

METODE

Penelitian ini merupakan studi tinjauan sistematis yang disusun sesuai dengan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Penelusuran literatur dilakukan melalui tiga basis data elektronik yang bereputasi, yaitu PubMed dan Google Scholar. Strategi pencarian dikembangkan dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan dengan topik, antara lain: "*Touch DNA*" AND "*Forensic*" AND "*STR analysis*" AND "*DNA transfer*". Artikel yang diterbitkan 2010–2025.



Gambar 1. Metode penelusuran literatur

HASIL

Sebanyak 34 artikel terpilih dari hasil penelusuran sistematis yang dilakukan melalui dua basis data elektronik bereputasi, yaitu PubMed dan Google Scholar. Artikel-artikel tersebut

membahas mengenai pengumpulan, analisis, dan tantangan dalam penggunaan Touch DNA.

Tabel 1. Jumlah Artikel Berdasarkan Kriteria Tahun Publikasi

Tahun Publikasi	Frekuensi
2020-2025	17
2013-2019	13
2010-2015	4

PEMBAHASAN

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Transfer DNA

Transfer DNA melalui kontak kulit merupakan fenomena yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi. Proses ini memiliki peran penting dalam analisis forensik, terutama dalam memperoleh bukti DNA

yang dapat diandalkan. Berbagai elemen seperti durasi dan tekanan kontak, kondisi kulit, jenis permukaan yang disentuh, serta kontaminan yang mungkin ada, dapat memengaruhi jumlah dan kualitas DNA yang ditransfer (Goray *et al.*, 2010; Gosch and Courts, 2019; Tozzo *et al.*, 2022; Woollacott *et al.*, 2025).

Tabel 2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Transfer DNA dan Penjelasannya

Faktor	Deskripsi	Referensi
Durasi dan Tekanan Kontak	Kontak dengan tekanan tinggi dan durasi lama meningkatkan jumlah sel kulit yang berpindah ke permukaan.	(Goray <i>et al.</i> , 2010; van Oorschot <i>et al.</i> , 2019; Tozzo <i>et al.</i> , 2022)
Kondisi Kulit	Kulit kering atau berkeriat cenderung melepaskan lebih banyak sel, sementara kulit bersih dan sehat melepaskan lebih sedikit.	(Gosch and Courts, 2019; van Oorschot <i>et al.</i> , 2019; Tozzo <i>et al.</i> , 2022)
Jenis Permukaan	Permukaan non-porus (misalnya plastik) mempertahankan lebih banyak DNA dibandingkan permukaan porous (misalnya kain). Tekstur kasar juga meningkatkan retensi.	(Goray <i>et al.</i> , 2010; van Oorschot <i>et al.</i> , 2019; Tozzo <i>et al.</i> , 2022)
Kontaminan	Kehadiran lotion, keringat, atau bahan kimia dapat memperkuat atau menghambat transfer DNA tergantung pada sifat zat tersebut.	(Goray <i>et al.</i> , 2010; Tozzo <i>et al.</i> , 2022; Woollacott <i>et al.</i> , 2025)

Metode Pengumpulan dan Ekstraksi DNA Sentuhan

Keberhasilan analisis DNA sentuhan sangat bergantung pada metode pengumpulan dan ekstraksi yang digunakan, karena sensitivitasnya terhadap jumlah DNA yang sangat rendah yang diperoleh dari permukaan yang terkontaminasi. Menurut Van Oorschot dan Jones (1997), teknik *swabbing* basah lebih efektif dibandingkan dengan *swabbing* kering dalam mengumpulkan material seluler dari permukaan halus dan non-porus, seperti kaca dan logam. Mereka mencatat bahwa *swabbing* basah dapat lebih baik memfasilitasi pelepasan sel-sel yang tertinggal pada permukaan tersebut. Sebaliknya, untuk permukaan yang lebih bertekstur atau berpori, seperti kain atau kayu, metode pengumpulan menggunakan pita perekat (*tape lifting*) lebih disarankan. Pita perekat khusus, seperti SceneSafe FAST tape, telah terbukti menghasilkan ekstraksi DNA yang lebih banyak dan deteksi alel yang lebih tinggi dibandingkan dengan *swabbing* basah menggunakan kapas (Butler, 2015; Lee and Shewale, 2017; Kokshoorn *et al.*, 2018). Penggunaan pita perekat dalam pengumpulan sampel dari permukaan yang berpori juga dapat mengurangi kehilangan DNA yang terjadi selama proses pengumpulan, sehingga meningkatkan peluang keberhasilan analisis forensik.

Karena jumlah DNA yang diperoleh dari sentuhan umumnya sangat rendah, protokol ekstraksi yang tepat menjadi langkah krusial dalam memastikan keberhasilan analisis. Beberapa metode ekstraksi yang umum digunakan meliputi ekstraksi berbasis silika, Chelex, dan manik-manik magnetik, yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan tergantung pada jenis sampel dan tujuan analisis (Manamperi *et al.*, 2009; Lee and Shewale, 2017; Kokshoorn *et al.*, 2018; Aryani Perwitasari *et al.*, 2020; Suharta, Junitha and Sukmaningsih, 2021). Metode berbasis silika dikenal karena kemampuannya dalam menghasilkan DNA yang murni dan bebas pengotor, sementara Chelex lebih cepat dan dapat digunakan untuk sampel yang lebih kecil, meskipun mungkin

menghasilkan hasil yang kurang murni dibandingkan ekstraksi berbasis silika. Manik-manik magnetik, di sisi lain, menawarkan keuntungan dalam hal kemudahan dan kecepatan, meskipun dapat lebih mahal (Dadhania *et al.*, 2013; van Oorschot *et al.*, 2021).

Selain itu, langkah kuantifikasi DNA sebelum amplifikasi sangat penting. Kuantifikasi DNA dilakukan menggunakan teknik PCR kuantitatif waktu nyata (*quantitative real-time PCR* atau qPCR), yang memungkinkan penentuan jumlah *template* DNA yang optimal sebelum amplifikasi STR (*Short Tandem Repeat*). Teknik ini sangat penting untuk memastikan bahwa jumlah DNA yang cukup tersedia untuk analisis tanpa risiko *overamplification*, yang dapat menyebabkan hasil yang tidak akurat atau bias (Budowle, Bieber and Eisenberg, 2005; Kokshoorn *et al.*, 2018; Munir and Inayatullah, 2021; Sophian, Sri and Sofia, 2022).

Analisis dan Interpretasi

Analisis DNA sentuhan umumnya dilakukan dengan teknik Short Tandem Repeat (STR), yang merupakan salah satu metode paling sensitif dalam analisis DNA. Teknik ini mampu menghasilkan profil DNA dari jumlah materi genetik yang sangat sedikit, menjadikannya sangat berguna dalam investigasi forensik di mana sampel yang tersedia sering kali terbatas. Namun, sensitivitas tinggi ini juga meningkatkan kemungkinan terdeteksinya profil campuran dari lebih dari satu individu, yang menjadi tantangan tersendiri, terutama dalam konteks tempat kejadian perkara yang kompleks, di mana lebih dari satu individu dapat meninggalkan jejak DNA yang saling tercampur (Butler, 2015; Neves and Zieger, 2023). Hal ini menjadi masalah penting dalam interpretasi hasil, karena sampel campuran dapat menyulitkan identifikasi sumber-sumber DNA yang terlibat.

Untuk mengatasi tantangan interpretasi profil campuran tersebut, metode statistik seperti probabilistic genotyping telah menjadi sangat penting dalam memastikan bahwa analisis DNA tetap objektif dan dapat diandalkan. Probabilistic genotyping memungkinkan

analisis campuran DNA yang lebih kompleks dengan pendekatan berbasis probabilitas, sehingga meminimalkan subjektivitas dalam penafsiran hasil. Perangkat lunak seperti STRmix™ dan TrueAllele™ kini banyak digunakan di laboratorium forensik untuk menganalisis campuran DNA secara kuantitatif dan objektif. STRmix™ menggunakan pendekatan Bayesian untuk memperkirakan kemungkinan asal profil DNA dengan menghitung kemungkinan distribusi alel yang dapat berasal dari satu atau lebih individu (Ward, Henry and Taylor, 2022). Sebaliknya, TrueAllele™ menerapkan model likelihood maksimum berbasis probabilitas, yang dapat mengevaluasi berbagai kombinasi sumber DNA dalam campuran (Bauer *et al.*, 2020). Kedua perangkat lunak ini telah terbukti meningkatkan akurasi dalam analisis campuran dan memungkinkan pengambilan keputusan forensik yang lebih tepat, transparan, dan dapat diterima di pengadilan.

Kontaminasi dan Transfer Sekunder

Salah satu tantangan signifikan dalam interpretasi DNA sentuhan adalah risiko kontaminasi dan transfer sekunder. Kontaminasi dapat terjadi ketika DNA yang tidak relevan dari individu lain tercampur dengan sampel yang sedang dianalisis, mengganggu integritas hasil analisis. Transfer sekunder merujuk pada fenomena di mana DNA seseorang dapat berpindah ke suatu objek bukan hanya melalui kontak langsung, tetapi juga melalui media perantara atau permukaan yang sebelumnya telah disentuh oleh orang lain (Meakin and Jamieson, 2013; van Oorschot *et al.*, 2019) (Meakin & Jamieson, 2013; van Oorschot *et al.*, 2019). Sebagai contoh, DNA dapat berpindah dari satu individu ke individu lain melalui benda-benda yang sama-sama mereka sentuh, sehingga menyebabkan hubungan yang salah antara individu dengan barang bukti. Fenomena ini dapat menciptakan keraguan terhadap hasil analisis DNA sentuhan, terutama jika tidak ada bukti kontekstual yang mendukung asosiasi antara individu dan tempat kejadian perkara.

Dalam beberapa studi, ditemukan bahwa individu dapat terhubung secara salah dengan barang bukti hanya karena DNA mereka ditransfer secara tidak langsung melalui objek lain, yang sering kali melibatkan benda yang telah disentuh oleh orang lain sebelumnya (Goray *et al.*, 2010; van Oorschot *et al.*, 2019). Hal ini menyoroti pentingnya memahami mekanisme transfer DNA dan mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil analisis, seperti waktu yang telah berlalu sejak transfer DNA terjadi dan kemungkinan kontak langsung atau tidak langsung dengan objek yang terkontaminasi. Risiko ini semakin diperburuk dalam lingkungan yang padat atau tempat kejadian perkara yang penuh dengan banyak individu yang berinteraksi dengan berbagai benda.

Oleh karena itu, untuk memastikan keandalan bukti DNA sentuhan, interpretasi hasil analisis harus dilakukan dengan mempertimbangkan kemungkinan kontaminasi dan transfer sekunder. Protokol ketat dalam pengumpulan sampel, termasuk penggunaan alat yang terjaga kebersihannya dan prosedur yang meminimalkan kontak dengan permukaan lain, sangat penting untuk meminimalkan risiko tersebut. Selain itu, hasil analisis DNA harus dipertimbangkan dalam konteks bukti lain, seperti bukti saksi, rekaman video, atau jejak lainnya yang dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hubungan antara individu dan barang bukti. Dengan mengikuti protokol yang ketat dan mempertimbangkan faktor-faktor kontekstual, keandalan dan akurasi analisis DNA sentuhan dapat lebih terjaga (Imran Tarique Samoo *et al.*, 2017; Ziubrii, 2019; Abdel Hady *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Touch DNA merupakan inovasi penting dalam ilmu forensik modern, memungkinkan analisis genetik dari jejak kontak yang sangat minimal. Meskipun sangat potensial dalam mengaitkan pelaku dengan tempat kejadian perkara, penggunaan touch DNA tidak lepas dari tantangan, seperti risiko kontaminasi, transfer sekunder, dan interpretasi profil campuran. Faktor-faktor seperti metode

pengambilan sampel, kondisi kulit, dan jenis permukaan sangat memengaruhi kualitas dan kuantitas DNA yang diperoleh. Oleh karena itu, diperlukan protokol standar dan pendekatan statistik canggih seperti genotipe probabilistik untuk memastikan hasil yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Dengan pendekatan yang tepat, touch DNA dapat menjadi bukti kuat dalam proses identifikasi forensik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Hady, R. H. *et al.* (2021) 'Thermal Effects on DNA Degradation in Blood and Seminal Stains: Forensic View', *Academic Forensic Pathology*, 11(1), pp. 7–23. doi: 10.1177/1925362121998547.
- Aryani Perwitasari, D. *et al.* (2020) 'Comparison of DNA Isolation Methods using FTA Card: Wizard® Kit Genomic DNA Purification, PureLink® Genomic DNA, and Chelex-100', *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 18(2), pp. 241–245.
- Bauer, D. W. *et al.* (2020) 'Validating TrueAllele® Interpretation of DNA Mixtures Containing up to Ten Unknown Contributors', *Journal of Forensic Sciences*, 65(2), pp. 380–398. doi: 10.1111/1556-4029.14204.
- Budowle, B., Bieber, F. R. and Eisenberg, A. J. (2005) 'Forensic aspects of mass disasters: Strategic considerations for DNA-based human identification', *Legal Medicine*, 7(4), pp. 230–243. doi: 10.1016/j.legalmed.2005.01.001.
- Butler, J. M. (2015) *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Interpretation*. U.S.A: academic press elsevier.
- Coble, M. D. and Bright, J. A. (2019) 'Probabilistic genotyping software: An overview', *Forensic Science International: Genetics*, 38(November 2018), pp. 219–224. doi: 10.1016/j.fsigen.2018.11.009.
- Dadhania, A. *et al.* (2013) 'Evaluation of Copan 4N6FLOQSwabs™ used for crime scene evidence collection', *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 4(1), pp. e336–e337. doi: 10.1016/j.fsigss.2013.10.171.
- Goray, M. *et al.* (2010) 'Secondary DNA transfer of biological substances under varying test conditions', *Forensic Science International: Genetics*, 4(2), pp. 62–67. doi: 10.1016/j.fsigen.2009.05.001.
- Gosch, A. and Courts, C. (2019) 'On DNA transfer: The lack and difficulty of systematic research and how to do it better', *Forensic Science International: Genetics*, 40(October 2018), pp. 24–36. doi: 10.1016/j.fsigen.2019.01.012.
- Gusmão, L. *et al.* (2006) 'DNA Commission of the International Society of Forensic Genetics (ISFG): An update of the recommendations on the use of Y-STRs in forensic analysis', *Forensic Science International*, 157(2–3), pp. 187–197. doi: 10.1016/j.forsciint.2005.04.002.
- Hadrill, P. R. (2021) 'Developments in forensic DNA analysis', *Emerging Topics in Life Sciences*, 5(3), pp. 381–393. doi: 10.1042/ETLS20200304.
- Imran Tarique Samoo *et al.* (2017) 'Effect of Temperature and Storage Time on DNA Quality and Quantity from Normal and Diseased Tissues', *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13(May), pp. 203–206. doi: 10.6000/1927-5129.2017.13.35.
- Kokshoorn, B. *et al.* (2018) 'Sharing data on DNA transfer, persistence, prevalence and recovery: Arguments for harmonization and standardization', *Forensic Science International: Genetics*, 37(August), pp. 260–269. doi: 10.1016/j.fsigen.2018.09.006.
- Lee, S. B. and Shewale, J. G. (2017) 'DNA Extraction Methods in Forensic Analysis', *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, (June 2017), pp. 1–18. doi: 10.1002/9780470027318.a1104m.pub2.
- Manamperi, A. *et al.* (2009) 'STR polymorphisms in Sri Lanka: evaluation of forensic utility in identification of individuals and

- parentage testing.', *The Ceylon medical journal*, 54(3), pp. 85–89. doi: 10.4038/cmj.v54i3.1201.
- Manela, C. et al. (2022) 'Genetic Analysis 21 Short Tandem Repeats (STR) Locus in Minangkabau Population, West Sumatera, Indonesia', *African Journal of Infectious Diseases*, 16(2), pp. 35–41.
- Manqana, M. M. et al. (2025) 'Exploring the techniques and challenges for recovering human touch DNA from white rhino (*Ceratotherium simum*) to combat poaching', *Forensic Science International*, 369(January), p. 112417. doi: 10.1016/j.forsciint.2025.112417.
- Meakin, G. and Jamieson, A. (2013) 'DNA transfer: Review and implications for casework', *Forensic Science International: Genetics*, 7(4), pp. 434–443. doi: 10.1016/j.fsigen.2013.03.013.
- Munir, M. A. and Inayatullah, A. (2021) 'Comparison of real time PCR and conventional PCR by identifying genomic DNA of bovine and porcine', *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 23(2), pp. 63–71. doi: 10.14203/inajac.v23i2.491.
- Neves, C. and Zieger, M. (2023) '“Total Human DNA Sampling” – Forensic DNA profiles from large areas', *Forensic Science International: Genetics*, 67(September), pp. 1–7. doi: 10.1016/j.fsigen.2023.102939.
- Nimbkar, P. H. and D. Bhatt, V. (2022) 'A review on touch DNA collection, extraction, amplification, analysis and determination of phenotype', *Forensic Science International*, 336, p. 111352. doi: 10.1016/j.forsciint.2022.111352.
- Van Oorschot, R. A. H. et al. (2019) 'DNA transfer in forensic science: A review', *Forensic Science International: Genetics*, 38(October 2018), pp. 140–166. doi: 10.1016/j.fsigen.2018.10.014.
- Van Oorschot, R. A. H. et al. (2021) 'DNA transfer in forensic science: recent progress towards meeting challenges', *Genes*, 12(11). doi: 10.3390/genes12111766.
- Van Oorschot, R. A. H. and Jones, M. K. (1997) 'DNA fingerprints from fingerprints', in *Nature*, pp. 767–768. doi: 10.1038/42838.
- Sophian, A., Sri, U. and Sofia, U. D. (2022) 'DNA isolation in processed chicken meat products (nugget) using modified DNeasy Mericon Food kit (Qiagen)', *Ho Chi Minh City Open University Journal of Science - Engineering and Technology*, 12(2), pp. 15–21. doi: 10.46223/hcmcoujs.tech.en.12.2.2463.2022.
- Suharta, I. G. Y., Junitha, I. K. and Sukmaningsih, A. A. S. . (2021) 'Dna Hasil Ekstraksi Dari Bercak Sperma Pada Kain Katun Dan Poliester Yang Disimpan Hingga 40 Hari', *Simbiosis*, 9(2), p. 94. doi: 10.24843/jsimbiosis.2021.v09.i02.p04.
- Tozzo, P. et al. (2022) 'Touch DNA Sampling Methods: Efficacy Evaluation and Systematic Review', *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24). doi: 10.3390/ijms232415541.
- Ward, D., Henry, J. and Taylor, D. (2022) 'Analysis of mixed DNA profiles from the RapidHIT™ ID platform using probabilistic genotyping software STRmix™', *Forensic Science International: Genetics*, 58(January), p. 102664. doi: 10.1016/j.fsigen.2022.102664.
- Woollacott, C. et al. (2025) 'The Transfer, Prevalence, Persistence, and Recovery of DNA from Body Areas in Forensic Science: A Review', *Forensic Sciences*, 5(1), pp. 15–19. doi: 10.3390/forensicsci5010009.
- Yudianto, A., Nuraini, I., et al. (2020) 'The use of touch DNA analysis in forensic identification focusing on Short Tandem Repeat- Combined DNA Index System loci TH01, CSF1PO and TPOX', *Infectious Disease Reports*, 12(s1), p. 8716. doi: 10.4081/idr.2020.
- Yudianto, A., Nzilibili, S. M. M., et al. (2020) 'The use of touch DNA analysis in forensic identification focusing on STR CODIS LOCI TH01, CSF1PO and TPOX', *Indian Journal of*

- Forensic Medicine and Toxicology*,
14(3), pp. 1692–1696. doi:
10.37506/ijfmt.v14i3.10667.
- Ziubrii, S. (2019) 'Comparative
Characteristic of Effectiveness of
Some Decontamination Facilities
Used for Carrying Out of Forensic
Molecular Genetic Examination',
*Theory and Practice of Forensic
Science and Criminalistics*, 19(1),
pp. 489–502. doi:
10.32353/khrife.1.2019.39.