

KONTRIBUSI BIOLOGI DALAM ILMU FORENSIK

¹Rosyid Ridlo Al Hakim*, ²Esa Rinjani Cantika Putri, ²Siti Rukayah, ²Erie Kolya Nasution

¹IPB University, Bogor, Jawa Barat

²Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Jawa Tengah

*Email: alhakimrosyid@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Biologi forensik merupakan cabang ilmu forensik yang menggunakan pendekatan biologis dari skala jasad hingga molekuler dalam mengungkap suatu kebenaran bukti hayati. Dalam penerapannya, biologi forensik melibatkan banyak bidang ilmu lain untuk memaksimalkan pengungkapan bukti kebenaran. Biologi forensik dewasa ini telah berkembang menjadi bagian penting dalam ilmu forensik dan kriminologi untuk mengungkap kasus kejahatan kriminal. Studi ini memberikan penjabaran bagaimana ilmu biologi dapat berkontribusi dalam ilmu forensik, dari segi pandangan, fundamental ilmu forensik hayati, dan peran biologi dalam mengungkap kebenaran.

Kata Kunci: ekologi forensik, entomologi, molekuler, palinologi, toksikologi forensik.

1. PENDAHULUAN

Forensik berasal dari bahasa latin *forensis* yang maknanya “dari luar” atau “tempat umum”. Forensik dapat dimaknai sebagai bidang ilmu pengetahuan yang digunakan membantu proses penegakan keadilan melalui proses penerapan sains atau ilmiah (Aflanief et al., 2020). Forensik berperan penting dalam mengungkapkan kebenaran dalam kasus peradilan (Dror, 2018).

Pengungkapan kebenaran dalam investigasi kasus-kasus tertentu jika diperlukan melalui pendekatan ilmu forensik hayati. Dalam hal ini, peran biologi forensik sangat berkontribusi untuk mengungkap bukti-bukti ilmiah berdasarkan pendekatan biologis, dari pendekatan jasad hingga molekuler. Pengungkapan kebenaran bukti ilmiah berdasarkan pendekatan jasad melalui ilmu ekologi forensik, entomologi forensik, patologi forensik, dan morfologi forensik. Namun, semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, dalam beberapa kasus yang memerlukan kebenaran bukti ilmiah pada parameter hayati memerlukan pendekatan molekuler. Beberapa pendekatan molekuler seperti dalam kasus forensik hewan liar (Dalton et al., 2020), identifikasi spesies produk perburuan liar (ASHRIFURRAHMAN et al., 2022; Pertiwi et al., 2020) ataupun identifikasi spesies melalui pendekatan morfologi (Knecht, 2012). Selain itu, dalam prakteknya, biologi forensik dapat diperkuat pada hasil analisis laboratorium toksikologi, sehingga keduanya dapat menjadi alat pengungkap kebenaran bukti ilmiah. Studi ini memberikan penjabaran bagaimana ilmu biologi dapat berkontribusi dalam ilmu forensik, dari segi pandangan, fundamental ilmu forensik hayati, dan peran biologi dalam mengungkap kebenaran dalam praktek ilmu forensik yang didasarkan riset-riset ilmiah yang telah dipublikasikan.

2. PANDANGAN ILMU FORENSIK

Ilmu forensik tidak hanya mempelajari mengenai kedokteran forensik saja, banyak cabang ilmu lain yang turut berkontribusi dan menjadi aspek penting dalam ilmu forensik. Beberapa bidang ilmu lain tersebut antara lain kimia forensik, psikologi forensik, kedokteran forensik, patologi forensik, toksikologi forensik, psikiatri forensik, komputer atau digital forensik (Aflanief et al., 2020), biologi forensik, ekologi forensik, entomologi forensik, botani (palinologi) forensik, zoologi (veteriner) forensik, fisika forensik, antropologi forensik.

Umumnya, cabang ilmu forensik yang berkaitan dengan bukti jasad atau makhluk hidup memerlukan parameter biologis dalam analisis pembuktian kebenaran, seperti rambut, darah,

feses, sidik jari, cairan semen pada sperma, urine, jaringan kulit, jaringan lunak, cairan vagina, cairan kelenjar saliva, struktur atau lapisan tulang (Al Hakim et al., 2022).

Pandangan biologi forensik umumnya dikaitkan dengan tingkat molekuler, seperti analisis genetik (DNA) yang diambil dari sampel parameter biologis. Identifikasi secara analisis DNA umumnya menggunakan kromosom somatik maupun mtDNA (DNA mitokondria). Melalui analisis DNA ini, upaya mendapatkan jejak DNA berasal dari parameter-parameter biologis (Yudianto & Sispitasi, 2017). Karena sifatnya skala molekuler, pembuktian kebenaran berdasarkan analisis molekuler ini memunculkan bidang ilmu baru dalam ilmu forensik berupa genetika forensik (Pertwi et al., 2020; Vitošević et al., 2019) atau DNA forensik (Bianchi & Liò, 2007; Butler, 2011).

3. BIOLOGI SEBAGAI BAGIAN DARI ILMU FORENSIK

3.1. Biologi Forensik: Berdasarkan DNA dan Serologi

Bukti molekuler sering digunakan dalam mengungkapkan permasalahan kriminal, identifikasi korban, hingga pelacakan jejak. Dalam pemprofilan DNA (*DNA profiling*) memainkan peran penting bagi ahli forensik. Pemprofilan DNA semakin berkembang khususnya dalam mencari kemajuan dalam teknologi genom (Mortera et al., 2003; C. Smith et al., 2012). Dalam perkembangannya, keahlian biologi molekuler diperlukan lebih lanjut dalam praktek biologi forensik, seperti ekstraksi DNA. Namun tantangan terbesarnya ialah ekstraksi DNA sering kali menimbulkan degradasi struktur DNA, nilai kuantitas DNA yang minim, inhibitor PCR, dan kegagalan pemisahan untai DNA (Lee & Shewale, 2017). Penemuan-penemuan dalam biologi molekuler telah membuat perkembangan biologi forensik menjadi lebih sempurna dalam membuktikan kebenaran (Gill, 2005). Terlebih seiring dengan perkembangan teknik PCR (*polymerase chain reaction*) (Opel et al., 2010) yang memungkinkan dapat memperbanyak DNA hingga jutaan bahkan miliaran kali, mengingat sampel parameter biologis dalam ilmu forensik yang cenderung minim bahkan dalam kondisi *post mortem* yang tidak segar lagi (Aflanie et al., 2020).

Serologi dalam perannya di bidang ilmu forensik memainkan peran penting berdasarkan pemeriksaan darah. Umumnya, pemeriksaan darah ini adalah untuk menentukan golongan darah. Prinsip pemeriksaan serologi berasal dari tiap-tiap individu mempunyai salah satu dari keempat golongan darah primer A, B, AB, O. Sebagai manifestasinya, apakah dari sel darah terdapat atau tidaknya aglutinogen. Fakta permanen dari golongan darah ini adalah tidak dapat diubah baik oleh waktu maupun patogen hingga penyakit apa pun. Pengambilan sampel serologi dapat berasal dari saliva, keringat, cairan semen, gastrik, dan cairan tubuh lain (Aflanie et al., 2020).

Dalam prakteknya, pemeriksaan DNA dan serologi dapat saling berkaitan bahkan saling mendukung dalam mengungkap bukti kebenaran ilmiah berdasarkan parameter hayati. Pemeriksaan DNA dalam biologi forensik atau DNA forensik umumnya terdiri atas teknik RFLP (*restriction fragmen length polymorphism*), VNTR (*variable number tandem repeat*), STR (*short tandem repeat*), AMPSFLPS (*amplified fragmen length polymorphism*), dan ASO (*allele specific oligonucleotide*). Selain itu, peran biologi molekuler ini dalam ilmu forensik didasarkan pada polimorfisme pada struktur genetik, karena sifat polimorfik ini membuat bentuk yang berbeda-beda pada struktur dasar sehingga dapat dijadikan pembeda antara satu individu dengan lainnya (Aflanie et al., 2020).

3.2. Biologi Forensik: Berdasarkan Morfologi

Berdasarkan morfologi suatu parameter biologis, suatu kebenaran ilmiah dapat dibuktikan dengan pemeriksaan morfologi atau jika diperlukan digabungkan dengan pemeriksaan molekuler. Rambut merupakan salah satu sampel hayati yang dapat dijadikan sebagai bahan pemeriksaan morfologi dalam mengungkap kasus tertentu (Knecht, 2012), seperti perdagangan

ilegal (Mariacher et al., 2019). Selain itu, secara makroskopis dan dengan bantuan mikroskop secara mikroskopis kondisi morfologi suatu jaringan histologi dapat digunakan untuk menentukan penyebab dan keadaan jaringan histologi, khususnya ketika jasad sudah berada dalam fase *post mortem* (Al Haris et al., 2019; Mangestu et al., 2016; Prakoso et al., 2016). Pemeriksaan morfologi juga dapat dilakukan pada kondisi jasad yang sudah dalam kondisi kerangka (Aflanier et al., 2020; Ashfyatus Sa'idah, 2020; Best et al., 2018; Notohamiprodjo et al., 2022) atau bahkan fosil (Rowe et al., 2016), khususnya dalam hal penentuan umur dan estimasi jenis kelamin (Aflanier et al., 2020; Spradley & Jantz, 2011). Penelitian terbaru juga menggunakan pendekatan morfologi dan pemeriksaan klinis terhadap korban trauma kejutan listrik (Endradita et al., 2020). Kondisi gigi secara struktur morfologinya dapat juga digunakan sebagai bahan analisis forensik untuk keperluan identifikasi (Lanteri et al., 2020). Karakter morfologi juga dapat dijadikan asesmen morfotipe dalam mengidentifikasi suatu spesies (Maratussholihah, 2018). Namun, dalam prakteknya, pemeriksaan morfologi sering kali mengalami jalan buntu dalam identifikasi suatu hal, sehingga melalui pendekatan molekuler (DNA) dapat menjadi solusi dari permasalahan ini (Riani et al., 2021). Dalam aplikasinya, pemeriksaan morfologi melibatkan fotografi forensik (Wander & Ireland, 2014).

3.3. Biologi Forensik: Berdasarkan Ekologi Forensik

Ekologi forensik terdiri atas entomologi forensik (Alexa et al., 2022; Greenberg, 1991; Tomberlin et al., 2011), ekologi tanah forensik dan mikroba forensik (Demanèche et al., 2017; Finley et al., 2015), botani (palinologi) forensik (Bock, 2013; Nguyen & Weber, 2015; Schield et al., 2016; Wiltshire, 2009), fenologi (Bock & Norris, 2016a, 2016b), limnologi forensik (Kakizaki et al., 2019; Levin et al., 2017; Liu et al., 2020; Marezza et al., 2021; Scott et al., 2014, 2017, 2019; Thakar & Singh, 2010; Zhao et al., 2016; Zimmerman & Wallace, 2008), geoforensik (Ruffell & McKinley, 2005; Scott et al., 2014). Dalam prakteknya di lapangan atau tempat kejadian perkara, peran ekologi forensik sering dihubungkan dengan kondisi lingkungan dan fenologi suatu jasad hayati yang terlibat atau berada dalam tubuh korban (Wiltshire, 2019). Namun, beberapa kasus dijumpai pengungkapan kebenaran ilmiah berdasarkan fenomena-fenomena fenologi yang terjadi di lingkungan dan uji toksikologi. Dalam beberapa kasus kriminal, seperti tenggelam atau jasad dalam air, peran ekologi perairan sangat diperlukan untuk menentukan penyebab dan waktu kematian. Keberadaan jasad diatom menjadi kunci penting dalam pembuktian suatu kebenaran ilmiah (Kakizaki et al., 2019; Levin et al., 2017; Scott et al., 2017; Zhao et al., 2016). Karena sifat ekologi yang makroskopis, beberapa kasus forensik yang berhubungan dengan ekologi forensik memerlukan pendekatan mikroskopis, seperti identifikasi jasad diatom (Liu et al., 2020) dan entomologi forensik khususnya larva (Gligorescu et al., 2019; Greenberg, 1991). Dewasa ini, peran isotop stabil menjadi kunci keberhasilan analisis jejak dalam ekologi forensik (Bearhop et al., 2003; Meier-Augenstein, 2019; Retief et al., 2014; Soto et al., 2013; Vander Zanden et al., 2018; Vlam et al., 2018; West et al., 2006).

4. PERAN BIOLOGI DALAM MENGUNGKAP KEBENARAN

Ilmu biologi sangat berkontribusi dalam pengungkapan bukti kebenaran ilmiah. Melalui pendekatan-pendekatan biologis, uji atau analisis suatu sampel hayati dapat diselesaikan atau dibuktikan kebenarannya. Dalam beberapa aplikasinya, biologi forensik melibatkan juga kemungkinan bioterrorisme (Valdivia-Granda, 2010), biologi molekuler forensik (DNA forensik atau genetika forensik) (Bianchi & Liò, 2007; Butler, 2011; Pertiwi et al., 2020; Vitošević et al., 2019), patologi forensik dan patologi klinis forensik (Aflanier et al., 2020; Endradita et al., 2020), toksikologi forensik (Bangsa et al., 2019; Ventura Spagnolo et al., 2019), dan serologi (Aflanier et al., 2020; Gefrides & Welch, 2011).

Kejadian wabah dapat juga ditelusuri asal muasal dan jejaknya melalui pendekatan biologi molekuler atau bioinformatika dalam biologi forensik (Fakiha, 2020; Li et al., 2020). Kondisi kerangka tubuh makhluk hidup yang sulit diidentifikasi secara morfologi tentunya dapat juga dijelaskan secara morfometri (Best et al., 2018; Nater et al., 2017; Toy et al., 2022), morfotipe (Maratussholihah, 2018), antropologi forensik (Spradley & Jantz, 2011), dan analisis molekuler (Oh et al., 2017).

Biologi menjadi cabang ilmu penting dalam penyempurnaan ilmu forensik secara umum. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi hayati memungkinkan kemajuan ilmu biologi forensik menjadi lebih baik, dengan ditemukannya metode-metode, alat-alat, serta pendekatan-pendekatan baru dalam DNA forensik sangat memberikan kontribusi yang baik untuk upaya manajemen pembuktian bukti hayati. Dalam prakteknya, penerapan genetika forensik juga digunakan untuk kepentingan forensik bukan manusia (Amorim, 2019) seperti pada kasus perdagangan ilegal (ASHRIFURRAHMAN et al., 2022; Dalton et al., 2020; Pertiwi et al., 2020), meskipun pendekatan morfologi juga dilakukan dan peran genetika forensik menjadi pelengkap dari pembuktian kebenaran perdagangan ilegal ini (Knecht, 2012; Mariacher et al., 2019). Selain itu, genetika forensik juga digunakan dalam identifikasi spesies (Amaral et al., 2017; P. A. Smith et al., 2019). Pendekatan ekologi forensik dalam pemanfaatan isotop stabil juga menjadi kunci dari keberhasilan ilmu forensik (Meier-Augenstein, 2019; Retief et al., 2014).

5. SIMPULAN, SARAN, DAN REKOMENDASI

5.1. Simpulan

Ilmu forensik terdiri atas banyak cabang ilmu yang membantu mengungkap bukti kebenaran suatu kasus, tak terkecuali bidang ilmu hayati. Biologi forensik telah berkembang menjadi multidisiplin ilmu forensik yang menggunakan pendekatan-pendekatan biologis dalam menganalisis sampel forensik. Fokus perhatian biologi forensik selain dalam pengungkapan kasus kejahatan manusia juga digunakan dalam bidang satwa liar, seperti melacak jejak perdagangan ilegal, identifikasi spesies, dan isotop ekologi forensik. Namun, dalam prakteknya, banyak cabang ilmu forensik yang diterapkan untuk mengungkap suatu kebenaran ilmiah berdasarkan bukti-bukti biologis yang telah dianalisis melalui berbagai teknik dan metode yang telah berkembang.

5.2. Saran

Studi ini terbatas pada kajian literatur yang relevan dengan topik biologi forensik, sehingga perlu studi lebih lanjut pada sistematik review dan meta-analisis pada topik biologi forensik.

5.3. Rekomendasi

Penelitian ini dapat dijadikan rujukan terkait penerapan biologi terapan dalam kontribusinya pada ilmu forensik dan kriminologi. Beberapa hasil riset membuktikan peran biologi forensik dalam mengungkap bukti-bukti kebenaran ilmiah didasarkan sampel biologis, baik pada jasad hidup maupun jasad mati. Penelitian lebih lanjut diperlukan dengan menggunakan pendekatan-pendekatan beberapa biologi forensik dalam mengungkap kebenaran ilmiah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aflanie, I., Nirmalasari, N., & Arizal, M. H. (2020). *Ilmu Kedokteran Forensik & Medikolegal*. Rajawali Press.
- Al Hakim, R. R., Putri, E. R. C., Pangestu, A., Hidayah, H. A., & Riani, S. (2022). *Bioinformatics and Digital Forensics Contribute to Prove Evidence-Based in the Criminal Investigation* (Unpublished).

- Al Haris, M. S., Rohmah, I. N., & Miranti, I. P. (2019). PERBANDINGAN GAMBARAN HISTOPATOLOGI KULIT LEHER TIKUS WISTAR YANG DIGANTUNG DENGAN PEMBEDAAN PERIODE POSTMORTEM. *DIPONEGORO MEDICAL JOURNAL (JURNAL KEDOKTERAN DIPONEGORO)*, 8(1), 313–322. <https://doi.org/10.14710/DMJ.V8I1.23346>
- Alexa, V.-Q., Carlos, P.-L., Mirsha, Q.-S., Alejandra, C.-A., Ana María, S.-R., Jorge A, G.-V., Margarita, O.-C., Jesús-Bonilla Vladimir, D., Roxana, E.-F., & Luis Jiro, S.-H. (2022). Teaching Forensic Entomology, Forensic Anthropology, and Haematology & Serology during the COVID-19 pandemic: practical activities for distance learning. *Science & Justice*. <https://doi.org/10.1016/J.SCIJUS.2022.04.009>
- Amaral, C. R. L., Silva, D. A., Amorim, A., & Carvalho, E. F. (2017). The amplification of the mitochondrial genome of the endangered buffy-tufted-ear marmoset *Callithrix aurita* (Primates: Cebidae) for massive parallel sequencing using the HiSeq 2500 platform. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 6, e187–e188. <https://doi.org/10.1016/J.FSIGSS.2017.09.070>
- Amorim, A. (2019). Nonhuman forensic genetics. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 7(1), 44–46. <https://doi.org/10.1016/j.fsigss.2019.09.019>
- Ashfyatus Sa'idah. (2020). *Variasi Kranium Pada Populasi Indonesia Dan Thailand (Studi Komparasi Tengkorak Jawa Dan Thailand Utara)* [Universitas Airlangga]. <https://repository.unair.ac.id/96758/>
- ASHRIFURRAHMAN, A., SIMAMORA, S., RITONGA, R., NOVARINO, W., TJONG, D. H., RIZALDI, R., SYAIFULLAH, S., & ROESMA, D. I. (2022). Sumatran tiger identification and phylogenetic analysis based on the CO1 gene: Molecular forensic application. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(4), 1788–1794. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D230410>
- Bangsa, F. M., Retnoningrum, D., & Bhima, S. K. L. (2019). PENGARUH INHALASI CAIRAN ROKOK ELEKTRIK TERHADAP KADAR MALONDIALDEHID SERUM TIKUS. *DIPONEGORO MEDICAL JOURNAL (JURNAL KEDOKTERAN DIPONEGORO)*, 8(3), 970–978. <https://doi.org/10.14710/DMJ.V8I3.24425>
- Bearhop, S., Furness, R. W., Hilton, G. M., Votier, S. C., & Waldron, S. (2003). A forensic approach to understanding diet and habitat use from stable isotope analysis of (avian) claw material. *Functional Ecology*, 17(2), 270–275. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2435.2003.00725.X>
- Best, K. C., Garvin, H. M., & Cabo, L. L. (2018). An Investigation into the Relationship between Human Cranial and Pelvic Sexual Dimorphism. *Journal of Forensic Sciences*, 63(4), 990–1000. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13669>
- Bianchi, L., & Liò, P. (2007). Forensic DNA and bioinformatics. *Briefings in Bioinformatics*, 8(2), 117–128. <https://doi.org/10.1093/BIB/BBM006>
- Bock, J. H. (2013). USE OF QUATERNARY PROXIES IN FORENSIC SCIENCE | The Use of Macroscopic Plant Remains in Forensic Science. *Encyclopedia of Quaternary Science: Second Edition*, 542–547. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00361-7>
- Bock, J. H., & Norris, D. O. (2016a). Forensic Plant Ecology Cases. In *Forensic Plant Science* (pp. 121–127). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801475-2.00009-9>
- Bock, J. H., & Norris, D. O. (2016b). Sources for Forensic Plant Science Evidence. In *Forensic Plant Science* (pp. 35–50). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801475-2.00003-8>
- Butler, J. M. (2011). Forensic DNA testing. *Cold Spring Harbor Protocols*, 6(12), 1438–1450. <https://doi.org/10.1101/PDB.TOP066928>

- Dalton, D. L., de Bruyn, M., Thompson, T., & Kotzé, A. (2020). Assessing the utility of DNA barcoding in wildlife forensic cases involving South African antelope. *Forensic Science International: Reports*, 2, 100071. <https://doi.org/10.1016/J.FSIR.2020.100071>
- Demanèche, S., Schausser, L., Dawson, L., Franqueville, L., & Simonet, P. (2017). Microbial soil community analyses for forensic science: Application to a blind test. *Forensic Science International*, 270, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.12.004>
- Dror, I. E. (2018). Biases in forensic experts. *Science*, 360(6386), 243. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAT8443>
- Endradita, G., Yudianto, A., Kumala, R., & Jauhani, M. A. (2020). Clinical Forensics in Electric Shock Trauma: A Case Study. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 140(International Conference on Law, Economics and Health (ICLEH 2020)).
- Fakiha, B. S. (2020). Bioinformatics as a Forensic Tool in Coronavirus Outbreak. *Journal of Indian Academy of Forensic Medicine*, 42(3), 219–223. <https://doi.org/10.5958/0974-0848.2020.00057.3>
- Finley, S. J., Benbow, M. E., & Javan, G. T. (2015). Potential applications of soil microbial ecology and next-generation sequencing in criminal investigations. *Applied Soil Ecology*, 88, 69–78. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2015.01.001>
- Gefrides, L., & Welch, K. (2011). Forensic Biology: Serology and DNA. In *The Forensic Laboratory Handbook Procedures and Practice*. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-872-0_2
- Gill, P. (2005). DNA as Evidence — The Technology of Identification. *New England Journal of Medicine*, 352(26), 2669–2671. <https://doi.org/10.1056/NEJMP048359>
- Gligorescu, A., Toft, S., Hauggaard-Nielsen, H., Axelsen, J. A., & Nielsen, S. A. (2019). Development, growth and metabolic rate of *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Applied Entomology*, 143(8), 875–881. <https://doi.org/10.1111/JEN.12653>
- Greenberg, B. (1991). Flies as forensic indicators. *Journal of Medical Entomology*, 28(5), 565–577. <https://doi.org/10.1093/JMEDENT/28.5.565>
- Kakizaki, E., Sonoda, A., Shinkawa, N., & Yukawa, N. (2019). A new enzymatic method for extracting diatoms from organs of suspected drowning cases using papain: Optimal digestion and first practical application. *Forensic Science International*, 297, 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.02.008>
- Knecht, L. (2012). The Use of Hair Morphology in the Identification of Mammals. *Wildlife Forensics: Methods and Applications*, 129–143. <https://doi.org/10.1002/9781119953142.CH8>
- Lanteri, V., Cossellu, G., Farronato, M., Ugolini, A., Leonardi, R., Rusconi, F., De Luca, S., Biagi, R., & Maspero, C. (2020). Assessment of the Stability of the Palatal Rugae in a 3D-3D Superimposition Technique Following Slow Maxillary Expansion (SME). *Scientific Reports*, 10, 2676. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59637-5>
- Lee, S. B., & Shewale, J. G. (2017). DNA Extraction Methods in Forensic Analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 1–18. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.A1104M.PUB2>
- Levin, E. A., Morgan, R. M., Scott, K. R., & Jones, V. J. (2017). The transfer of diatoms from freshwater to footwear materials: An experimental study assessing transfer, persistence, and extraction methods for forensic reconstruction. *Science and Justice*, 57(5), 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2017.05.005>
- Li, Y. K., Zhao, S., Lou, Y. J., Gao, D. Z., Yang, L., & He, D. H. (2020). Epidemiological parameters and models of coronavirus disease 2019. *Wuli Xuebao/Acta Physica Sinica*, 69(9). <https://doi.org/10.7498/APS.69.20200389>

- Liu, M., Zhao, Y., Sun, Y., Li, Y., Wu, P., Zhou, S., & Ren, L. (2020). Comparative study on diatom morphology and molecular identification in drowning cases. *Forensic Science International*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110552>
- Mangestu, A. A., Suharto, G., & Amarwati, S. (2016). Analisa Gambaran Post Mortem Makroskopis dan Mikroskopis Organ Jantung dan Ginjal pada Tikus Wistar Setelah Pemberian Warfarin LD50 dan LD 100. *DIPONEGORO MEDICAL JOURNAL (JURNAL KEDOKTERAN DIPONEGORO)*, 5(2), 145–159. <https://doi.org/10.14710/DMJ.V5I2.11820>
- Maratussholihah, N. (2018). *Identifikasi Morfotipe Teritip Amphibalaninae dari Segara Anakan Cilacap berdasarkan Karakter Morfologi dan Molekuler* [Universitas Jenderal Soedirman]. <http://repository.unsoed.ac.id/7261/>
- Marezza, F., Marchetti, C., Lanzi, G., Lusetti, A., Bertani, A., & Cecchi, R. (2021). Diatom extraction: A new technique with heated H₂O₂. A technical note. *Legal Medicine*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101861>
- Mariacher, A., Garofalo, L., Fanelli, R., Lorenzini, R., & Fico, R. (2019). A combined morphological and molecular approach for hair identification to comply with the European ban on dog and cat fur trade. *PeerJ*, 2019(11). <https://doi.org/10.7717/PEERJ.7955>
- Meier-Augenstein, W. (2019). From stable isotope ecology to forensic isotope ecology — Isotopes' tales. *Forensic Science International*, 300, 89–98. <https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2019.04.023>
- Mortera, J., Dawid, A. P., & Lauritzen, S. L. (2003). Probabilistic expert systems for DNA mixture profiling. *Theoretical Population Biology*, 63(3), 191–205. [https://doi.org/10.1016/S0040-5809\(03\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S0040-5809(03)00006-6)
- Nater, A., Mattle-Greminger, M. P., Nurcahyo, A., Nowak, M. G., de Manuel, M., Desai, T., Groves, C., Pybus, M., Sonay, T. B., Roos, C., Lameira, A. R., Wich, S. A., Askew, J., Davila-Ross, M., Fredriksson, G., de Valles, G., Casals, F., Prado-Martinez, J., Goossens, B., ... Krutzen, M. (2017). Morphometric, Behavioral, and Genomic Evidence for a New Orangutan Species. *Current Biology*, 27, 3487–3498. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.09.047>
- Nguyen, P., & Weber, M. (2015). Forensic value of pollen from ornamental indoor plants. *Grana*, 54(3), 236–246. <https://doi.org/10.1080/00173134.2015.1045024>
- Notohamiprodjo, S., Roeper, K. M., Mueck, F. G., Maxien, D., Wanninger, F., Hoberg, B., Verstrepen, L., Treitl, K. M., Fischer, F., Peschel, O., & Wirth, S. (2022). Advances in multiscale image processing and its effects on image quality in skeletal radiography. *Scientific Reports*, 12, 4726. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08699-8>
- Oh, Y. N., Park, J. H., Hong, S. B., & Shin, K. J. (2017). Genetic analysis of old skeletal remains from Korean War victims using PowerPlex® Fusion 6C and MiniSTR system for human identification. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 6, e192–e194. <https://doi.org/10.1016/J.FSIGSS.2017.09.068>
- Opel, K. L., Chung, D., & McCord, B. R. (2010). A Study of PCR Inhibition Mechanisms Using Real Time PCR*,†. *Journal of Forensic Sciences*, 55(1), 25–33. <https://doi.org/10.1111/J.1556-4029.2009.01245.X>
- Pertiwi, N. P. D., Suhendro, M. D., Yusmalinda, N. L. A., Putra, I. N. G., Putri, I. G. R. M., Artiningsih, E. Y., Al-Malik, M. D., Cahyani, N. K. D., & Sembiring, A. (2020). Forensic genetic case study: Species identification and traceability of sea turtle caught in illegal trade in Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(9), 4276–4283. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D210945>
- Prakoso, M. A., Suharto, G., & Amarwati, S. (2016). ANALISA GAMBARAN POST MORTEM MAKROSKOPIS DAN MIKROSKOPIS ORGAN PARU DAN USUS

- HALUS PADA TIKUS WISTAR SETELAH PEMBERIAN WARFARIN LD-50 DAN LD-100. *DIPONEGORO MEDICAL JOURNAL (JURNAL KEDOKTERAN DIPONEGORO)*, 5(2), 89–99. <https://doi.org/10.14710/DMJ.V5I2.11571>
- Retief, K., West, A. G., & Pfab, M. F. (2014). Can stable isotopes and radiocarbon dating provide a forensic solution for curbing illegal harvesting of threatened cycads? *Journal of Forensic Sciences*, 59(6), 1541–1551. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12644>
- Riani, S., Prabowo, R. E., & Nuryanto, A. (2021). Molecular characteristics and taxonomic status of morphologically similar barnacles (Amphibalanus) assessed using the cytochrome c oxidase 1 gene. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(3), 1456–1466. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D220349>
- Rowe, T. B., Luo, Z. X., Ketcham, R. A., Maisano, J. A., & Colbert, M. W. (2016). X-ray computed tomography datasets for forensic analysis of vertebrate fossils. *Scientific Data*, 3, 160040. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.40>
- Ruffell, A., & McKinley, J. (2005). Forensic geoscience: Applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. *Earth-Science Reviews*, 69(3–4), 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.08.002>
- Schild, C., Campelli, C., Sycalik, J., Randle, C., Hughes-Stamm, S., & Gangitano, D. (2016). Identification and persistence of Pinus pollen DNA on cotton fabrics: A forensic application. *Science and Justice*, 56(1), 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.11.005>
- Scott, K. R., Morgan, R. M., Cameron, N. G., & Jones, V. J. (2019). Freshwater diatom transfer to clothing: Spatial and temporal influences on trace evidence in forensic reconstructions. *Science & Justice*, 59(3), 292–305. <https://doi.org/10.1016/J.SCIJUS.2018.11.004>
- Scott, K. R., Morgan, R. M., Jones, V. J., & Cameron, N. G. (2014). The transferability of diatoms to clothing and the methods appropriate for their collection and analysis in forensic geoscience. *Forensic Science International*, 241, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.05.011>
- Scott, K. R., Morgan, R. M., Jones, V. J., Dudley, A., Cameron, N., & Bull, P. A. (2017). The Value of an Empirical Approach for the Assessment of Diatoms as Environmental Trace Evidence in Forensic Limnology. *Archaeological and Environmental Forensic Science*, 1(1), 49–78. <https://doi.org/10.1558/AEFS.32474>
- Smith, C., Strauss, S., & De Francesco, L. (2012). DNA goes to court. *Nature Biotechnology*, 30, 1047–1053. <https://doi.org/10.1038/nbt.2408>
- Smith, P. A., Pamment, N., Cox, C., Reed, J., Chappell, B., & Plowman, C. (2019). Disrupting wildlife crime: The benefits of meaningful collaboration. *Forensic Science International*, 299, e1–e2. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.04.021>
- Soto, D. X., Wassenaar, L. I., & Hobson, K. A. (2013). Stable hydrogen and oxygen isotopes in aquatic food webs are tracers of diet and provenance. *Functional Ecology*, 27(2), 535–543. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12054>
- Spradley, M. K., & Jantz, R. L. (2011). Sex Estimation in Forensic Anthropology: Skull Versus Postcranial Elements. *Journal of Forensic Sciences*, 56(2), 289–296. <https://doi.org/10.1111/J.1556-4029.2010.01635.X>
- Thakar, M. K., & Singh, R. (2010). Diatomological mapping of water bodies for the diagnosis of drowning cases. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 17(1), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2009.07.016>
- Tomberlin, J. K., Mohr, R., Benbow, M. E., Tarone, A. M., & Vanlaerhoven, S. (2011). A roadmap for bridging basic and applied research in forensic entomology. *Annual Review of Entomology*, 56, 401–421. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENTO-051710-103143>

- Toy, S., Secgin, Y., Oner, Z., Turan, M. K., Oner, S., & Senol, D. (2022). A study on sex estimation by using machine learning algorithms with parameters obtained from computerized tomography images of the cranium. *Scientific Reports*, 12, 4278. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07415-w>
- Valdivia-Granda, W. A. (2010). Bioinformatics for Biodefense: Challenges and Opportunities. *Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice, and Science*, 8(1), 69–77. <https://doi.org/10.1089/BSP.2009.0024>
- Vander Zanden, H. B., Nelson, D. M., Wunder, M. B., Conkling, T. J., & Katzner, T. (2018). Application of isoscapes to determine geographic origin of terrestrial wildlife for conservation and management. *Biological Conservation*, 228, 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.019>
- Ventura Spagnolo, E., Romano, G., Zuccarello, P., Laudani, A., Mondello, C., Argo, A., Zerbo, S., & Barbera, N. (2019). Toxicological investigations in a fatal and non-fatal accident due to hydrogen sulphide (H₂S) poisoning. *Forensic Science International*, 300, e4–e8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.04.026>
- Vitošević, K., Todorovic, D., Slovic, Z., Zivkovic-Zaric, R., & Todorovic, M. (2019). Forensic genetics and genotyping. *Serbian Journal of Experimental and Clinical Research*, 20(2), 75–86. <https://doi.org/10.1515/SJECR-2016-0074>
- Vlam, M., de Groot, G. A., Boom, A., Copini, P., Laros, I., Veldhuijzen, K., Zakamdi, D., & Zuidema, P. A. (2018). Developing forensic tools for an African timber: Regional origin is revealed by genetic characteristics, but not by isotopic signature. *Biological Conservation*, 220, 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.031>
- Wander, P., & Ireland, R. S. (2014). Dental photography in record keeping and litigation. *British Dental Journal*, 217, 133–137. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.649>
- West, J. B., Bowen, G. J., Cerling, T. E., & Ehleringer, J. R. (2006). Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(7), 408–414. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.04.002>
- Wiltshire, P. E. J. (2009). Forensic ecology, botany, and palynology: Some aspects of their role in criminal investigation. *Criminal and Environmental Soil Forensics*, 129–149. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9204-6_9
- Wiltshire, P. E. J. (2019). Introduction to the Special Issue for Forensic Ecology. *Forensic Science International*, 299, 238. <https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2019.01.024>
- Yudianto, A., & Sispitasari, Y. E. (2017). Isolasi DNA dari Bercak Urine Manusia sebagai Bahan Alternatif Pemeriksaan Identifikasi Personal. *MPI (Media Pharmaceutica Indonesiana)*, 1(1), 53–61. <https://doi.org/10.24123/MPI.V1I1.54>
- Zhao, J., Ma, Y., Liu, C., Wen, J., Hu, S., Shi, H., & Zhu, L. (2016). A quantitative comparison analysis of diatoms in the lung tissues and the drowning medium as an indicator of drowning. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 42, 75–78. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2016.05.021>
- Zimmerman, K. A., & Wallace, J. R. (2008). The potential to determine a postmortem submersion interval based on algal/diatom diversity on decomposing mammalian carcasses in brackish ponds in Delaware. *Journal of Forensic Sciences*, 53(4), 935–941. <https://doi.org/10.1111/J.1556-4029.2008.00748.X>