

Analisis Pengaruh Jenis Air Terhadap Pembusukan Daging Sapi Untuk Memperkirakan Waktu Kematian Seseorang

Imelda Margaretha Irab,
Liauw Djai Yen,
Budiman Hartono,
Marcel Antoni

¹Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia,

²Departemen Forensik dan Medikolegal, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia.

³Departemen Biologi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia.

⁴Departemen Fisiologi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia.

Abstrak

Pembusukan merupakan proses alami yang terjadi segera setelah fungsi fisiologis tubuh terhenti, dengan laju yang dipengaruhi oleh kondisi tubuh dan lingkungan tempat jenazah berada. Perubahan pascakematian yang menyertai proses ini, seperti perubahan aroma, warna, dan konsistensi jaringan, menjadi parameter penting dalam penentuan waktu kematian. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental deskriptif dengan pendekatan *cross-sectional* yang bertujuan untuk menggambarkan pengaruh perbedaan jenis media air, yaitu air tawar, air payau, dan air laut, terhadap proses pembusukan daging sapi. Media udara digunakan sebagai kelompok kontrol pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembusukan daging sapi berlangsung paling cepat pada media air payau, diikuti oleh air tawar, air laut, dan paling lambat pada media udara tertutup. Percepatan pembusukan pada air payau ditandai oleh perubahan warna, aroma, dan konsistensi yang terjadi lebih awal, yang berkaitan dengan kondisi salinitas moderat dan pH mendekati netral sehingga mendukung aktivitas enzim endogen. Pembusukan pada media udara tertutup terhambat akibat rendahnya kelembapan yang memicu desikasi dan mummifikasi alami. Sisa jaringan ikat mengalami dekomposisi lebih lambat karena stabilitas struktural kolagen yang lebih resisten terhadap degradasi enzimatik. Perbedaan jenis media berpengaruh nyata terhadap laju pembusukan daging sapi, dengan urutan tercepat pada air payau, diikuti air tawar, air laut, dan paling lambat pada udara tertutup. Temuan ini menunjukkan bahwa *old rule of thumb* tidak selalu berlaku, karena laju pembusukan lebih ditentukan oleh karakteristik lingkungan, khususnya salinitas, pH, dan *water activity* yang memengaruhi proses autolisis dan degradasi jaringan.

Kata Kunci: air tawar, air payau, air laut, daging sapi, dekomposisi

Analysis of the Effect of Water Type on Beef Spoilage

*Corresponding Author : Imelda Margaretha Irab

Corresponding Email : imelda.102022125@civitas.ukrida.ac.id

Submission date : February 2nd, 2026

Revision date : March 7th, 2026

Accepted date : April 5th, 2026

Published date : April 30th, 2026

Copyright (c) 2026 Imelda Margaretha Irab, Liauw Djai Yen, Budiman Hartono, Marcel Antoni



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

Abstract

Decomposition is a natural process that occurs as soon as the physiological functions of the body cease, at a rate that is influenced by the condition of the body and the environment in which it is located. The post-mortem changes that accompany this process, such as changes in scent, color, and consistency of tissues, are important parameters in determining the time of death. According to the old rule of thumb, the rate of decomposition in air, water and soil is 1:2:8, but the dynamics of decomposition in different types of water are still not fully understood. The acceleration of spoilage in brackish water is characterized by changes in color, aroma, and consistency that occur earlier, which is related to moderate salinity and near-neutral pH conditions that support endogenous enzyme activity. In freshwater media, hypotonic conditions accelerate early changes but are less optimal for sustained autolysis, while in seawater, high salinity and alkaline pH reduce water activity and inhibit enzymatic activity so that decay proceeds more slowly. Decomposition in closed air media is inhibited due to low humidity, which triggers desiccation and natural mummification. The remaining connective tissue underwent slower decomposition due to the structural stability of collagen which is more resistant to enzymatic degradation. Different types of media significantly affected the rate of beef spoilage, in the order of fastest in brackish water, followed by freshwater, seawater, and slowest in closed air. This finding shows that the old rule of thumb does not always apply, because the rate of spoilage is more determined by environmental characteristics, especially salinity, pH, and water activity that affect the process of autolysis and tissue degradation.

Keywords: beef meat, brackish water, decomposition, freshwater, seawater

How to Cite :

Irab IM, Yen LD, Hartono B, Antoni M. Analysis of the Effect of Water Type on Beef Spoilage. JMedscientiae. 2026.;5(1): 15-20. Available from: <https://ejournal.ukrida.ac.id/index.php/ms/article/view/4208> DOI : <https://doi.org/10.36452/jmedscientiae.v5i1.4208>

Pendahuluan

Pembusukan merupakan sebuah proses alami yang akan terjadi sesaat setelah fungsi fisiologis tubuh manusia terhenti.¹ Lamanya proses ini bergantung pada keadaan tubuh jenazah itu sendiri maupun lingkungan tempat mayat berada.^{2,3} Tubuh jenazah yang membusuk selanjutnya akan mengalami berbagai perubahan pasca kematian seperti aroma, warna, konsistensi daging bahkan hingga bentuk tubuh.⁴ Perubahan-perubahan inilah yang digunakan sebagai parameter untuk mengidentifikasi waktu kematian.⁵ Merujuk pada *old-rule-of-thumb*, perbandingan laju pembusukan di udara:air:tanah adalah 1:2:8 yang berarti pembusukan berlangsung dua kali lebih cepat di air dibandingkan di tanah dan delapan kali lebih cepat di udara dibandingkan di tanah.⁶

Penelitian mengenai proses pembusukan manusia menjadi aspek yang penting dalam menentukan waktu dan penyebab kematian.⁴ Namun, pertimbangan etika dalam penggunaan tubuh manusia dalam penelitian eksperimental menjadi kendala sehingga penelitian harus menggunakan hewan, seperti sapi, sebagai objek penelitian. Daging sapi sendiri memiliki struktur dan komposisi yang sangat mirip dengan daging manusia.⁷ Kedua jenis daging ini sama-sama tersusun atas jaringan otot rangka yang dilapisi oleh jaringan ikat seperti *epimysium*, *perimysium*, dan *endomysium* serta memiliki jenis serat otot yang sama yaitu serat otot tipe 1 dan 2.^{7,8}

Secara global, *World Health Organization* (WHO) mencatat sekitar 236.000 orang meninggal setiap tahun akibat tenggelam. Namun data ini tidak memberikan rincian lebih lanjut mengenai karakteristik air tempat mayat ditemukan.⁹ Pada tahun 2022, Polri mencatat ada sebanyak 2.267 kasus penemuan mayat sepanjang tahun 2022 dengan lokasi penemuan terbanyak adalah perumahan dan perairan. Meskipun demikian, hingga kini belum ada data resmi yang mengklasifikasikan persentase penemuan mayat berdasarkan jenis perairan.¹⁰ Tak hanya itu, penelitian mengenai proses pembusukan di berbagai jenis air belum terlalu massif dilakukan di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis air terhadap proses pembusukan dengan cara membandingkan perubahan makroskopis yang terjadi pada

daging sapi yang mengalami pembusukan di air tawar, air payau, dan air laut. Melalui studi komparatif ini, diharapkan dapat diperolehnya pemahaman yang lebih mendalam terkait pengaruh jenis air terhadap kecepatan pembusukan yang pada akhirnya dapat diaplikasikan dalam analisis kasus-kasus forensik di perairan Indonesia.

Metodologi

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian dengan metode deskriptif menggunakan data primer yang diperoleh dari eksperimen. Alat yang dibutuhkan dalam menunjang penelitian ini adalah toples berukuran 400 mL sebanyak 28 buah, spidol, plastik penutup, lampu UV steril air, galon bekas, akuarium kaca, *handscoon*, dan kertas label. Bahan yang digunakan adalah daging sapi bagian paha belakang berukuran 5 x 4 x 3 cm³ sebanyak 28 potong yang dibeli langsung dari RPH Yoka dalam kurun waktu kurang dari 2 jam sebelum penelitian dimulai, sampel air tawar yang diambil dari Danau Sentani, sampel air payau yang diambil dari Teluk Youtefa, sampel air laut yang diambil dari Pantai Hamadi, dan alkohol 70%. Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2025 di rumah peneliti yang terletak di Sentani, Kabupaten Jayapura, Papua.

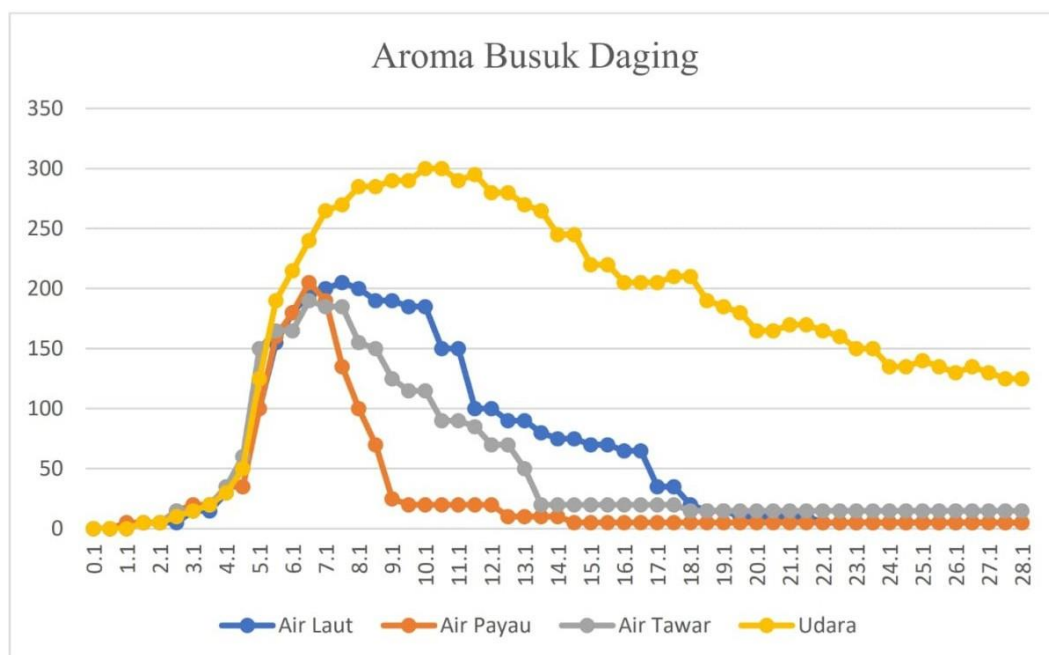
Daging sapi tiba di lokasi penelitian pada pukul 05.46 WIT di hari pertama penelitian yaitu 02 Agustus 2025. Potongan daging tersebut selanjutnya disterilisasi menggunakan alkohol 70% lalu dimasukkan ke dalam 28 toples berbeda yang sudah dilabeli nama yaitu 7 toples berisi sampel air tawar steril, 7 toples berisi sampel air payau steril, 7 toples berisi sampel air laut steril, dan 7 toples lainnya digunakan sebagai media kontrol (udara). Data yang diperoleh dari penelitian ini merupakan data primer kualitatif yang diperoleh dari hasil observasi setiap 12 jam selama 28 hari dengan menilai perubahan warna, bentuk, konsistensi, dan aroma pembusukan. Pengolahan data hasil penelitian ini dilakukan secara manual dengan mendeskripsikan hasil temuan berupa perubahan makroskopis yang terjadi pada setiap observasi yang dilakukan dan selanjutnya dituangkan dalam bentuk tulisan dan grafik.

Hasil

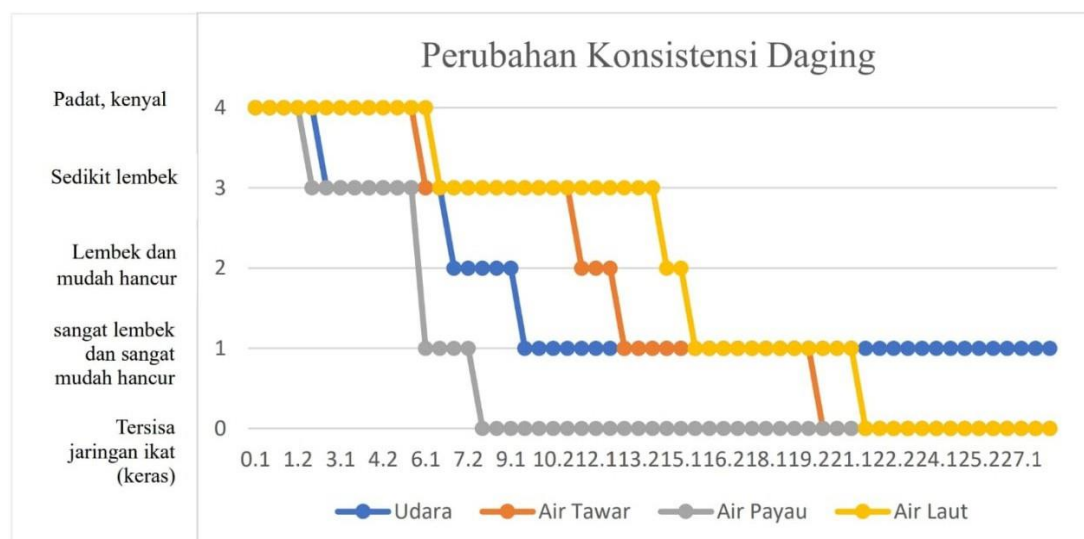
Perbandingan perubahan makroskopis yang tampak pada sampel daging di empat media steril yaitu air tawar, air payau, air laut, dan udara

tertutup menunjukkan bahwa pembusukan pada air payau berlangsung lebih cepat lalu disusul oleh air tawar, air laut dan terakhir adalah udara tertutup. Temuan ini tentu bertolak belakang dari teori *old-rule-of-thumb* yang menyatakan bahwa laju pembusukan di udara berlangsung dua kali lebih cepat dibandingkan di air.⁶ Meski begitu, berdasarkan teori forensik, proses pembusukan secara umum dipengaruhi oleh faktor intrinsik seperti usia, komposisi lemak tubuh, kondisi fisik dan faktor ekstrinsik seperti suhu lingkungan sekitar, kondisi oksigen sekitar, hingga aktivitas hewan sekitar lokasi pembusukan.^{2,3} Disamping itu, proses pembusukan pada media air dipengaruhi oleh suhu air, salinitas, kadar

oksigen terlarut, keberadaan organisme akuatik, dan ukuran tubuh.¹¹ Temuan ini juga sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sitohang et al., yang menunjukkan bahwa laju pembusukan mencit pada media air tawar berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan laju pembusukan mencit pada media air laut.¹² Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan sterilisasi media air menggunakan sinar UV dan media kontrol yang digunakan adalah udara tertutup yang tujuannya untuk meminimalisasi faktor ekstrinsik yaitu hewan dan mikroorganisme pembusuk yang berperan dalam mempercepat proses pembusukan.



Gambar 1. Grafik perubahan aroma daging



Gambar 2. Grafik perubahan konsistensi daging

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dilihat bahwa pembusukan daging pada media air payau menunjukkan perkembangan yang relatif lebih cepat dibandingkan media lainnya. Hal ini ditandai dengan perubahan awal berupa perubahan warna daging dari yang awalnya berwarna merah segar menjadi cokelat pucat dalam 12 jam. Selain itu, pada 24 jam pertama, sampel daging pada media ini mulai mengeluarkan aroma busuk yang puncaknya tercium sangat menyengat pada hari ke-7 dan perlahan berkurang seiring dengan terurainya bagian merah daging. Sampel daging pada media ini juga cenderung lebih cepat mengalami perubahan konsistensi dari yang awalnya padat dan kenyal menjadi lembek dalam 36 jam pertama. Memasuki hari-hari selanjutnya, konsistensi dan bentuk daging mengalami perubahan yang sangat signifikan hingga hanya menyisakan jaringan ikat pada observasi hari ke-8.

Proses pembusukan sampel daging pada media air tawar juga berlangsung secara bertahap dan progresif meskipun tidak signifikan media air payau. Dalam kurun waktu 12 jam, seluruh sampel menunjukkan perubahan warna menjadi sedikit kecoklatan yang kemudian perlahan berubah menjadi lebih pucat. Pada observasi ke-3 atau 36 jam setelah penelitian dilakukan, sampel daging pada media ini menunjukkan perubahan aroma yang selanjutnya tercium semakin menyengat setiap harinya dengan puncaknya pada hari ke-6. Setelah itu, aroma busuk perlahan menghilang seiring dengan mulai terurainya bagian merah daging. Sampel daging pada media ini mengalami pembengkakan pada hari ke-3 dan

perlahan mulai menyusut hingga menyisakan jaringan ikat pada hari ke-17. Pada hari ke-6, sampel daging mulai teraba melembek setelah sebelumnya teraba paling padat dibandingkan konsistensi sampel pada media lainnya.

Proses pembusukan daging pada media air laut cenderung lebih lambat dibandingkan dengan media air lainnya meskipun perubahan warna sampel daging pada media air laut tampak lebih pucat dalam 12 jam pertama. Pada observasi ke-3 atau dalam 36 jam, mulai tercium perubahan aroma dalam jarak dekat yang meningkat seiring berjalannya hari sampai puncaknya tercium aroma menyengat pada hari ke-8. Konsistensi sampel daging juga teraba mulai melembek pada hari ke-4 walaupun secara keseluruhan konsistensinya teraba paling padat dibandingkan dengan media lainnya. Pada hari ke-19, seluruh sampel tampak kehilangan sebagian besar bagian merah daging sebelum pada akhirnya hanya tersisa jaringan ikat pada hari ke-21.

Pembahasan

Temuan dari sampel daging sapi di air payau dapat dijelaskan melalui mekanisme biologis dan kimawi jaringan dimana media air dengan salinitas sedang (0,05-3%) menghasilkan tekanan osmotik yang paling seimbang sehingga memungkinkan pertukaran cairan intra dan ekstraseluler yang stabil.¹³⁻¹⁵ Kondisi ini memungkinkan berlangsungnya proses autolisis dan putrefaksi yang optimal karena aktivitas enzim meningkat ketika stabilitas membran dan *water activity* berada pada kisaran yang tidak ekstrem. Kadar salinitas yang moderat ini memungkinkan enzim

endogen untuk memulai autolisis sel yang efeknya menyebabkan degradasi aktin dan miosin serta melemahnya integrasi jaringan.¹⁵ Selain itu, rentang pH dari air payau yang mendekati netral (6,8-7,4) memungkinkan enzim endogen seperti protease dan lipase memiliki kestabilan struktural tinggi sehingga proses autolisis dapat berlangsung dengan efisien serta tidak menghambat proliferasi bakteri pembusuk.^{13,14} Perubahan warna yang terjadi sangat cepat menunjukkan bahwa adanya kerusakan hemoglobin dan myoglobin yang intens. Kandungan mineral dan bahan organik yang tinggi pada media air ini juga turut menyediakan nutrisi bagi bakteri, mempercepat pembentukan amonia dan hidrogen sulfida yang menimbulkan aroma busuk.

Selanjutnya, hasil temuan pada daging sapi yang direndam dalam air tawar dipengaruhi oleh tingkat salinitas air tawar yang sangat rendah (<0,05%) menciptakan kondisi lingkungan yang hipotonik sehingga menyebabkan air dapat bergerak masuk ke dalam sel dan memicu pembengkakan serta ruptur membran.^{13,14} Pada kondisi ini, proses autolisis tetap terjadi tetapi ketidakseimbangan osmotik yang ekstrem menyebabkan kerusakan sel yang cepat sehingga mengurangi aktivitas enzim endogen seperti protease dan lipase. Kadar pH yang sedikit asam hingga netral masih mendukung aktivitas enzim meskipun tidak setinggi pada media air payau. Kandungan mineral yang rendah pada media air ini menyebabkan sedikitnya katalis oksidasi miooglobin sehingga perubahan warna yang terjadi tampak lebih lambat dibandingkan air payau. Dengan demikian, proses pembusukan dapat berlangsung cepat meskipun tidak secepat dan seoptimal pembusukan pada media air payau.

Sementara itu, kadar salinitas air laut yang cenderung lebih tinggi (>3%) menciptakan kondisi lingkungan yang hipertonic sehingga memicu air untuk keluar dari jaringan yang berdampak pada menurunnya *water activity*, mengerutkan sel, dan memicu denaturasi parsial protein sehingga memperlambat proses terjadinya autolisis sekaligus menghambat aktivitas bakteri pembusuk. Selain itu, pH air laut yang cenderung lebih alkali (7,6-8,3) mengganggu stabilitas kinerja enzim proteolitik endogen yang menyebabkan penurunan efisiensi proses autolisis.¹⁶ Kombinasi dari kondisi inilah yang membuat proses pembusukan di air laut

berjalan lebih lambat dibandingkan kedua media air lainnya.

Temuan pada media udara tertutup tampak bertolakbelakang dengan teori forensik yang menyebutkan bahwa laju pembusukan di udara:air:tanah adalah 1:2:8. Hal ini terjadi karena minimnya kelembapan menyebabkan terjadinya desikasi jaringan atau hilangnya air sehingga memperlambat terjadinya proses autolisis.³ Temuan ini sejalan dengan penelitian taphonomi modern yang dilakukan pada 102 kasus forensik di Swedia yang menunjukkan bahwa kelembapan yang rendah dalam ruangan tertutup dapat menahan atau menghentikan pembusukan aktif melalui proses mummifikasi alami dimana jaringan tetap utuh dalam waktu yang lebih lama karena proses pengeringan progresif. Selain itu, penelitian lainnya juga menegaskan bahwa jaringan yang mengalami desikasi akan memasuki fase *natural mummification* sehingga proses pembusukan yang terjadi akan melambat dibandingkan kondisi berair.¹⁷⁻¹⁹ Penggunaan wadah tertutup juga turut mencegah gangguan hewan pengerat yang secara alami dapat mempercepat kehilangan massa jaringan dan merubah pola pembusukan. Temuan ini membuktikan bahwa hilangnya kelembapan, aktivitas mikroba, dan gangguan eksternal^{3,4,20} berpengaruh dalam proses pembusukan.

Sampel daging yang menyisakan jaringan ikat mengalami penurunan laju pembusukan karena struktur jaringan ikat pada otot seperti serabut kolagen, matriks ekstraseluler, dan proteoglikan lebih stabil secara mekanik dan kimiawi sehingga jaringan ikat cenderung lebih tahan terhadap penetrasi enzim.²¹ Hal inilah yang menyebabkan dekomposisi jaringan ikat lebih lambat dibandingkan dengan jaringan otot.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perbedaan jenis media menunjukkan pengaruh secara nyata terhadap proses pembusukan dan perubahan makroskopis yang terjadi. Media air payau menunjukkan proses pembusukan paling cepat berdasarkan perubahan warna, konsistensi, aroma, dan bentuk sampel daging kemudian yang diikuti oleh air tawar, air laut dan media kontrol yaitu udara tertutup yang menunjukkan proses pembusukan paling lambat. Temuan ini menunjukkan bahwa teori *old-rule-of-thumb* tidak selalu berlaku karena kondisi lingkungan

sekitar yang memiliki peran lebih dominan dalam menentukan cepat atau lambatnya laju pembusukan. Dengan demikian, laju pembusukan pada media air dipengaruhi oleh kadar salinitas, pH, dan *water activity* yang mempengaruhi kecepatan proses autolisis dan degradasi jaringan.

Daftar Pustaka

1. Sihombing AP, Karyanto, Antosia RM. Identifikasi keberadaan mayat manusia menggunakan metode resistivitas 2D. Lampung: Institut Teknologi Sumatera; 2020.
2. Janaway RC, Percival SL, Wilson AS. Decomposition of human remains. Microbiology and Aging: Clinical Manifestations. 2009:313-34.
3. Novitasari D, Istiqomah I, Trisnadi S. Analisa dan investigasi forensik dalam mengungkap sebab kematian pada kasus tenggelam. Jurnal Cahaya Mandalika. 2023;4(1):1-7.
4. Almulhim AM, Menezes RG. Evaluation of postmortem changes. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
5. Widowati W, Ohoiwutun YT, Nugroho FM, Samsudi S, Suyudi GA. Peranan autopsi forensik dan korelasinya dengan kasus kematian tidak wajar. Refleksi Hukum: Jurnal Ilmu Hukum. 2021;6(1):1-8.
6. Pangaila SKI, Kristanto EG, Mallo JF. Gambaran kecepatan pembusukan hewan coba di daerah pesisir Pantai Manado. E-Clinic (eCl). 2014;2(1):1-9.
7. Zhu X, Li H, Chen Y, Liu H, Zhang C, Wang S, et al. Structural and mechanical properties of bovine and human skeletal muscle: implications for biomedical engineering. J Mech Behav Biomed Mater. 2017;65:100-8.
8. Schiaffino S, Reggiani C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. Physiol Rev. 2011;91(4):1447-1531.
9. World Drowning Prevention Day 2023. WHO; 2023.
10. Pusiknas Bareskrim Polri. Sungai dan perumahan menjadi lokasi paling sering ditemukan mayat. Disitasi pada tanggal 4 Mei 2025. Diunduh dari: https://pusiknas.polri.go.id/detail_artikel/sungai_dan_perumahan_menjadi_lokasi_paling_serin_g_ditemukan_mayat
11. Putri NPPE, Yudianto A. Pengaruh tanah dan air laut terhadap kualitas DNA dari otot psoas jenazah melalui metode STR. Jurnal Biosains Pascasarjana. 2016;18(3):203-208.
12. Sitohang Z, Zaluchu RB, Nawan. Perbedaan laju pembusukan mencit di air tawar, air asin, dan udara terbuka. Barigas: Jurnal Riset Mahasiswa. 2023;1(1):9-12.
13. Sudirman S. Pengaruh perendaman air payau dan air tawar terhadap mutu beton f'c 20 Mpa. J Ilmiah Ecosyst. 2024;24(2):251-258.
14. Muhamad NA, Kurnia NMI. Potensi air laut sebagai sumber air tawar dan pembangkit energi. 2015. Disitasi pada tanggal 16 April 2025. Diunduh dari: https://www.researchgate.net/publication/287643835_Potensi_Air_Laut_sebagai_Sumber_Air_Tawar_dan_Pembangkit_Energi
15. Mizukami H, Hathway B, Procopio N. Aquatic decomposition of mammalian corpses: A forensic proteomic approach. Journal of Proteome Research. 2020;19(5):2122-2135.
16. Jasman. Modifikasi alat pengolahan air payau menjadi air tawar. 2023. Disitasi pada tanggal 16 April 2025. Diunduh dari: http://repository.poltekkes-manado.ac.id/608/1/6.%20Jurnal%20Jasman_Modifikasi%20alat%20Pengolahan_P_R_1_2.pdf
17. Ceciliason AS, Carter DO, Tibbett M. Mummification in a forensic context: an observational study of indoor human remains. Forensic Sci Res. 2023.
18. Teo CH, Hamzah NH, Lian HH, Amir Hamzah SPA. Decomposition process and post mortem changes: Review (Proses pereputan dan perubahan pasca kematian: Ulasan). Sains Malaysiana. 2014;43(12):1873-1882
19. Shedje R, Krishan K, Warriar V, Kanchan T. Postmortem changes. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
20. Wescott DJ. Recent advances in forensic anthropology: decomposition research. Forensic Sci Res. 2018;3(4):327-342.
21. Tuttle LJ, Alperin M, Lieber RL. Post-mortem timing of skeletal muscle biochemical and mechanical degradation. Journal of Biomechanics. 2014;47(6):1506-9.