

Diatom Similarity in Experimental Drowning of *Rattus norvegicus* as Forensic Evidence for Determining The Drowning Site

Taufik Hidayattuloh¹, Nofrita^{1*}, Jabang Nurdin¹

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia;

Article History

Received : October 29th, 2025

Revised : December 01th, 2025

Accepted : December 05th, 2025

*Corresponding Author:

Nofrita, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia;
Email: nofrita@sci.unand.ac.id

Abstract: Diatom analysis is one of the most reliable indicators for confirming death due to drowning. Diatoms are microscopic algae that can enter the respiratory tract during water aspiration and provide ecological evidence linking the victim to the drowning site. This study aimed to analyze the presence of diatom species and taxonomic similarity between water samples and the internal organs of experimentally drowned white rats (*Rattus norvegicus*) to validate their use as a forensic model. Experimental drowning was performed using water of the Batang Arau River, West Sumatra in the February 2024 to January 2025. In this study, we were found 56 species of diatoms in the waters, while 31 were found in white rats' internal organs. The highest diversity found in the esophagus (31 species) and lungs (19 species). No diatoms were detected in the heart, liver, or kidneys. The distribution pattern, limited to the respiratory system, indicated early drowning aspiration with no systemic circulation. The typical species is a diatom species only found in water and in the internal organs of white rats in specific locations. *Achnanthes adnata*, *Cocconeis pellucida*, *Cocconeis pseudomarginata*, *Eunotia bilunaris*, and *Gomphonema pumilum* are typical species at Location I. *Amphora bigibba* and *Amphora bioculata* are typical species at Location IV. At the same time, *Navicula viridula* is the typical species at Location VI. These findings validate the white rat as an effective experimental model for drowning research and demonstrate that species-specific diatom fingerprints can aid forensic investigators in determining both the vitality of drowning and the probable crime scene.

Keywords: Diatom test, drowning diagnosis, *Rattus norvegicus*, forensic ecology.

Pendahuluan

Mikroalga merupakan komponen dasar ekosistem perairan yang memainkan peran penting dalam siklus biogeokimia global, termasuk produksi primer, regulasi karbon, dan menjaga stabilitas rantai makanan akuatik. Diatom merupakan salah satu kelompok mikroalga yang paling melimpah dan tersebar luas di berbagai tipe perairan, dari lingkungan laut hingga air tawar. Keunikan utama diatom terletak pada frustula, suatu dinding sel berornamen yang tersusun atas silika ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Frustula ini tidak hanya merepresentasikan adaptasi evolusioner terhadap

tekanan lingkungan, tetapi juga menjadikannya indikator ekologis yang kuat untuk mempelajari perubahan lingkungan perairan, termasuk kondisi fisika-kimia dan dinamika habitat.

Komposisi frustula yang kaya silika membuat dinding sel diatom sangat tahan terhadap suhu tinggi, asam kuat, dan proses degradasi biologis, sehingga mampu bertahan dalam berbagai kondisi ekstrem (Round *et al.*, 1990). Sifat resisten ini menjadikan diatom bukan hanya organisme ekologis penting, tetapi juga memiliki nilai aplikatif dalam bidang forensik akuatik. Dalam konteks kematian akibat tenggelam, keberadaan diatom di dalam tubuh korban dapat berfungsi sebagai indikator kuat

yang mencerminkan keterpaparan air ke dalam saluran pernapasan dan sirkulasi tubuh. Tenggelam sendiri merupakan proses patologis akibat hambatan pertukaran oksigen ketika jalan napas terendam air (Martinez & Hooper, 2014), dan secara global menyebabkan sekitar 388.000 kematian setiap tahun, dengan mayoritas kasus terjadi di perairan tawar (Elsi & Gusti, 2020).

Diagnosis forensik terhadap kasus tenggelam seringkali mengalami tantangan karena minimnya bukti langsung pada tubuh korban, terutama ketika kematian terjadi di lingkungan perairan yang kompleks atau ketika tubuh sudah mengalami perubahan pasca mati. Analisis diatom pada organ internal korban tenggelam telah menjadi salah satu metode yang direkomendasikan untuk mendukung diagnosis, karena diatom yang terhirup bersama air dapat terdistribusi ke jaringan tubuh melalui sistem sirkulasi (Piette & Letter, 2006). Selain sebagai indikator proses tenggelam, profil spesies diatom juga berpotensi memberikan petunjuk mengenai lokasi kejadian (TKP) (Peabody & Cameron, 2010). Meskipun demikian, variasi komunitas diatom antar lokasi, perbedaan metode ekstraksi, serta keterbatasan data lokal dapat menghambat ketepatan interpretasi forensik. Penelitian terkait aplikasi diatom dalam forensik sudah dilakukan di Kota Padang dan beberapa wilayah Sumatera Barat.

Studi Nofrita *et al.* (2019) telah mengidentifikasi jenis dan karakteristik diatom di sungai-sungai Kota Padang sebagai basis referensi lingkungan. Kurniawan (2022) meneliti pola kolonisasi diatom dan karakteristiknya pada substrat buatan untuk mendukung diagnosis waktu dan lokasi tenggelam. Penelitian lain oleh Nurdin *et al.* (2022) serta Hidayattuloh (2023) mengevaluasi keberadaan dan sebaran diatom pada organ internal tikus putih sebagai model forensik tenggelam. Namun, temuan Hidayattuloh (2023) menunjukkan bahwa spesies yang mengindikasikan lokasi tenggelam baru dapat ditentukan untuk wilayah muara Sungai Batang Arau dan belum mencakup lokasi lain pada sungai yang sama. Selain itu, penelitian sebelumnya menggunakan metode pencacahan organ internal tikus yang berpotensi menyebabkan beberapa diatom tidak terkoleksi secara optimal, serta membandingkan data organ dengan data perairan dari penelitian terdahulu, bukan sampel yang dikoleksi secara simultan.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh spesies-spesies diatom yang dapat berfungsi sebagai indikator forensik lokasi kejadian tenggelam di Sungai Batang Arau, Kota Padang dengan menggunakan tikus putih (*Rattus norvegicus*) sebagai hewan model. Pengoleksian diatom pada organ internal dilakukan dengan metode destruksi asam, sebuah pendekatan dengan biaya rendah, prosedur sederhana, dan kemampuan pelestarian frustula yang sangat baik (Nofrita *et al.*, 2024). Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk meningkatkan akurasi diagnosis forensik tenggelam dan memetakan *fingerprint* diatom spesifik lokasi secara lebih representatif. Dengan memperoleh profil diatom yang komprehensif dari berbagai titik Sungai Batang Arau, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat data pembanding lokal dan memberikan kontribusi bagi pengungkapan kasus tenggelam maupun dugaan kriminalitas yang melibatkan perairan tersebut.

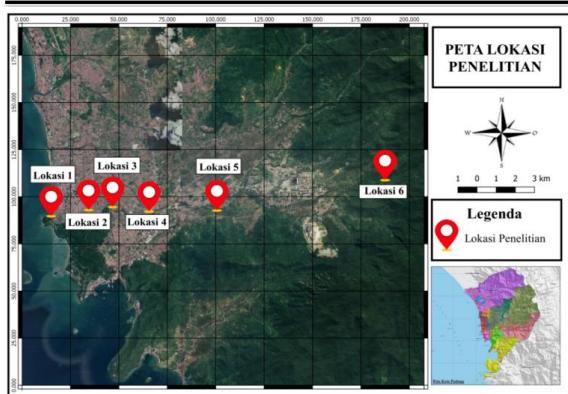
Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2024 sampai Januari 2025 pada enam lokasi di Sungai Batang Arau, Kota Padang, Sumatera Barat. Identifikasi diatom dilakukan di Laboratorium Riset Ekologi Hewan, Departemen Biologi, FMIPA, Universitas Andalas.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei. Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling* berdasarkan rona lingkungan dan merujuk pada lokasi yang pernah ditemukannya korban tenggelam. Lokasi tersebut adalah: Muara Sungai Batang Arau ($0^{\circ}57'50''S\ 100^{\circ}21'04''E$), Kelurahan Alang Laweh ($0^{\circ}57'33''S\ 100^{\circ}22'18''E$), Kelurahan Tanjung Aur ($0^{\circ}57'37''S\ 100^{\circ}22'45''E$), Kelurahan Parak Laweh ($0^{\circ}57'34''S\ 100^{\circ}24'15''E$), Kelurahan Koto Lalang ($0^{\circ}57'38''S\ 100^{\circ}25'43''E$), dan Kelurahan Indarung ($0^{\circ}56'47''S\ 100^{\circ}30'28''E$) (Gambar 1). Pengoleksian sampel pada organ internal tikus dilakukan dengan menggunakan metode destruksi asam.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Diatom pada perairan Sungai Batang Arau (Sumber: QGIS diakses 29 November 2023)

Prosedur Penelitian

Pengoleksian sampel diatom di perairan

Sampel air pada masing-masing lokasi diambil dengan menggunakan *van don bottle* sebanyak 100 liter pada kedalaman satu meter dan disaring menggunakan plankton net no 25. Sampling diatom di perairan dilakukan sebanyak tiga ulangan. Sampel diatom yang tersaring dimasukkan ke dalam botol sampel dan diberi lugol dan formalin 4% sebagai pengawet.

Penenggelaman Tikus Putih

Tikus putih yang digunakan pada penelitian ini adalah tikus dalam keadaan sehat yang memiliki berat tubuh dan usia yang seragam. Sebanyak 3 ekor tikus hidup dimasukkan ke dalam kotak kawat dan ditenggelamkan pada masing-masing lokasi pada kedalaman 1-2 meter. Tikus putih dibiarkan dalam perairan sampai benar-benar mati. Selanjutnya tikus yang telah mati tersebut diangkat dari perairan dan dibawa ke laboratorium.

Pengoleksian sampel diatom pada organ internal tikus

Tikus putih yang sudah ditenggelamkan selanjutnya dilakukan pembedahan untuk pengambilan organ-organ internal yaitu: paru-paru, jantung, hati, usus, ginjal dan esofagus. Untuk mendapatkan diatom pada organ-organ internal tikus putih dilakukan dengan metode destruksi asam. Sebanyak 0,05 gram tiap organ internal tikus dimasukkan ke dalam labu kjedhal dan ditambahkan asam sulfat pekat sampai organ terendam dan dibiarkan selama 12 jam. Kemudian dipanaskan dalam lemari asam sambil diteteskan

asam nitrat pekat sampai terbentuk cairan dan dihomogenkan menggunakan sentrifus sampai terbentuk supernatan dan pelet. Selanjutnya supernatan dibuang dan pelet yang dihasilkan ditambahkan akuadest dan disentrifus kembali. Pelet yang dihasilkan selanjutnya diamati di bawah mikroskop untuk dilakukan identifikasi diatom (Imaniah et al., 2023).

Identifikasi sampel diatom

Sampel diatom yang didapatkan dari perairan dan dari organ internal tikus putih diidentifikasi sampai tingkat spesies dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran 10x10 dan 10x40. Identifikasi dilakukan merujuk pada buku identifikasi Prescott (1978), Yamaji (1980), Bold and Waine (1985), Masaharu (1977) serta www.algaebase.org, www.marinespecies.org serta www.diatom.org.

Analisis Data

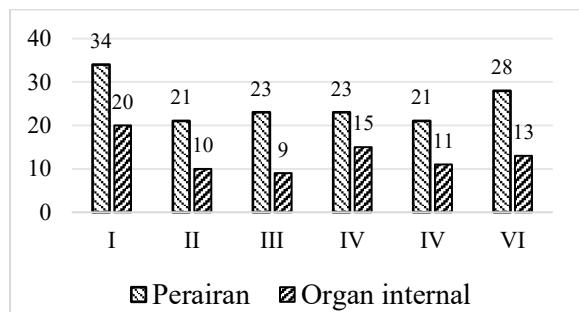
Data yang didapatkan dianalisis secara deskriptif. Untuk menentukan spesies diatom khas pada masing-masing lokasi adalah dengan membandingkan spesies diatom yang ditemukan pada perairan dengan diatom pada organ internal tikus putih.

Hasil dan Pembahasan

Komposisi dan Distribusi Diatom pada Perairan dan Organ Internal Tikus Putih

Hasil penelitian, telah teridentifikasi 56 spesies diatom pada perairan Sungai Batang Arau dan 31 spesies pada organ internal tikus. (Gambar 2). Lokasi I tercatat sebagai stasiun dengan jumlah spesies tertinggi, baik pada sampel perairan maupun pada organ tikus putih. Lokasi ini berada pada bagian muara Sungai Batang Arau, yang secara ekologis merupakan wilayah dengan kondisi lingkungan kompleks dan kaya nutrien. Adanya percampuran air tawar dan air laut, serta dinamika pasang surut, menghasilkan gradien habitat dan salinitas yang luas sehingga menyediakan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan dan keberagaman diatom, baik yang berasosiasi dengan lingkungan laut maupun air tawar. Hasil penelitian Hidayattulloh et al., (2025) mendapatkan jumlah spesies pada organ internal tikus putih lebih sedikit dibandingkan dengan hasil penelitian ini, yaitu 19 spesies. Sedangkan lokasi dengan jumlah spesies

terbanyak juga didapatkan pada lokasi yang sama, yaitu Lokasi I.



Gambar 2. Jumlah spesies diatom pada perairan dan organ internal tikus putih di Sungai Batang Arau Kota Padang

Perbandingan spesies diatom yang ditemukan pada perairan dengan organ internal tikus putih disajikan pada Gambar 2. Jumlah spesies diatom yang ditemukan pada perairan Muara Sungai Batang Arau lebih banyak dibandingkan dengan jumlah diatom yang terdapat pada organ internal tikus putih. Pola ini sejalan dengan konsep dasar ekologi diatom yang menjelaskan bahwa komunitas diatom perairan merefleksikan keseluruhan struktur komunitas yang terdiri atas spesies berukuran kecil hingga sangat besar, baik planktonik maupun bentik (Round *et al.*, 1990). Diatom di lingkungan perairan memiliki distribusi spasial dan temporal yang luas, dipengaruhi oleh parameter fisika-kimia seperti nutrien, pH, turbulensi, dan salinitas (Wetzel, 2001; Reynolds, 2006), sehingga jumlah spesies di perairan akan selalu lebih tinggi dibandingkan yang dapat masuk ke dalam tubuh organisme.

Keanekaragaman spesies diatom perairan tersebut tidak sepenuhnya dapat tertranslokasi ke organ internal organisme yang mengalami proses tenggelam sehingga hanya sebagian fraksi komunitas yang terdeteksi pada organ internal. Menurut Piette & De Letter (2006) dan Pollanen (1997), secara mekanistik hanya spesies diatom berukuran kecil ($<20\text{--}30\ \mu\text{m}$), ringan, dan memiliki bentuk *streamline* yang dapat memasuki saluran pernapasan dan kemudian terbawa aliran darah hingga mencapai organ internal. Perbedaan komposisi yang jelas antara diatom perairan dan organ tubuh inilah yang menjadi dasar mengapa analisis diatom untuk forensik tenggelam lebih menekankan pada kecocokan keberadaan spesies tertentu daripada

kesamaan seluruh komunitas (Littleton & Hodge, 1997). Dengan demikian, temuan bahwa keberagaman diatom perairan Muara Sungai Batang Arau lebih tinggi dibandingkan organ tikus putih sepenuhnya konsisten dengan teori dan praktik forensik akuatik internasional.

Berdasarkan hasil identifikasi diatom yang terdapat pada organ internal tikus putih (Tabel 1.), spesies diatom paling banyak ditemukan pada organ esofagus (31 spesies), diikuti oleh paru-paru (19 spesies), lambung (12 spesies) dan usus (3 spesies). Sebaliknya, tidak ditemukan diatom pada organ jantung, hati, dan ginjal. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa jalur masuk utama diatom ke dalam tubuh tikus putih adalah melalui sistem pernapasan, bukan melalui sirkulasi darah atau organ viseral lain. Menurut Lunetta & Modell (2005) bahwa proses masuknya diatom ke organ tubuh mengikuti prinsip biomekanika inhalasi yaitu saat air terhirup secara paksa, tekanan hidrodinamik menyebabkan partikel halus seperti diatom planktonik tersedot ke dalam alveolus paru. Spesies dengan diameter besar atau frustula kompleks cenderung tertahan di saluran napas bagian atas dan tidak mampu melewati barier alveolar. Oleh karena itu, ukuran sel menjadi faktor kritis yang menentukan spesies diatom mana yang mampu memasuki sirkulasi sistemik.

Temuan hasil penelitian ini juga sesuai dengan prinsip dasar uji diatom (*diatom test*) yang banyak digunakan dalam forensik kasus tenggelam. Pada individu yang tenggelam dalam keadaan hidup (*vital drowning*), air yang terhirup ke dalam paru-paru akan membawa serta partikel diatom. Partikel ini kemudian dapat mencapai bronkiolus atau bahkan aliran darah bila proses aspirasi air berlangsung cukup lama (Peabody, 1980; Ludes *et al.*, 1999). Namun, pada penelitian ini penenggelaman tikus putih berlangsung singkat dan pembedahan dilakukan dalam waktu kurang dari 24 jam, sehingga diatom hanya ditemukan hingga tingkat saluran pernapasan atas, belum mencapai sirkulasi sistemik. Dengan demikian, hasil ini memperkuat hipotesis bahwa diatom yang ditemukan hanya pada esofagus dan paru mencerminkan fase awal proses tenggelam, ketika aspirasi air baru mencapai sistem pernapasan tanpa sempat tersebar sistemik. Dalam diagnosis forensik waktu tenggelam, temuan ini dapat menjadi indikator bahwa subjek

tenggelam tidak terlalu lama berada di dalam air, dan kematian kemungkinan terjadi segera setelah aspirasi awal.

Ketidakhadiran diatom pada jantung, hati, dan ginjal mendukung dugaan bahwa belum terjadi sirkulasi sistemik, sehingga proses distribusi diatom melalui aliran darah tidak berlangsung. Dalam kasus tenggelam yang lebih lama atau pada korban manusia yang meninggal akibat aspirasi air dalam waktu lebih panjang, diatom biasanya ditemukan pula di organ-organ tersebut karena ikut terbawa oleh aliran darah melalui sirkulasi pulmoner (Lunetta & Miettinen,

1995; Pollanen, 1998). Fenomena ini sesuai dengan tahapan patofisiologi tenggelam dini, di mana air hanya mencapai saluran napas dan alveolus tanpa sempat menembus membran alveolo-kapiler (Lunetta & Modell, 2005). Pada kasus tenggelam yang lebih lanjut atau lama, diatom dapat menembus pembuluh darah paru dan menyebar ke organ-organ viseral, sehingga deteksinya pada organ dalam menjadi bukti bahwa individu sempat hidup cukup lama selama proses tenggelam (Pollanen, 1998; Huys et al., 2013).

Tabel 1. Spesies diatom yang ditemukan pada organ internal tikus putih yang ditenggelamkan di Sungai Batang Arau, Kota Padang, Sumatera Barat

Spesies	Organ Internal						
	Esofagus	Paru-paru	Jantung	Hati	Ginjal	Lambung	Usus
<i>Achnanthes adnata</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes armillaris</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes brevipes</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Amphora bigibba</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Amphora bioculata</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella aspera</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Cymbella tumida</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Cymbella ventricosa</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Eunotia arcus</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Eunotia bilunaris</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria capucina</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Fragilaria construens</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Fragilaria crotonensis</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria islandica</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Frustulia rhombooides</i>	✓	✓	-	-	-	✓	✓
<i>Gomphonema pumilum</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Navicula anglica</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Navicula bacillum</i>	✓	✓	-	-	-	✓	✓
<i>Navicula cryptocephala</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula lanceolata</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Navicula viridula</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia amphibia</i>	✓	-	-	-	-	✓	✓
<i>Nitzschia clausii</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia dissipata</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia longissima</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia viridis</i>	✓	✓	-	-	-	✓	-
<i>Rhopalodia gibba</i>	✓	-	-	-	-	-	-
<i>Synedra acus</i>	✓	✓	-	-	-	-	-
<i>Synedra ulna</i>	✓	-	-	-	-	✓	-
Jumlah Spesies	31	19	0	0	0	12	3

Ket: (✓): ditemukan; (-): tidak ditemukan

Secara forensik, temuan ini memiliki implikasi penting untuk penentuan status vital dan estimasi lama waktu korban tenggelam (*post-immersion interval*). Kehadiran diatom hanya pada sistem pernapasan (tanpa pada organ sirkulasi dan viseral) dapat dijadikan indikator bahwa aspirasi air terjadi pada saat awal tenggelam dan korban meninggal segera setelah terendam (Lunetta & Miettinen, 1995). Dengan demikian, hasil ini membantu membedakan antara tenggelam vital (*vital drowning*) dan tenggelam post-mortem (*postmortem immersion*).

Tabel 1. Juga memperlihatkan kehadiran diatom pada lambung dan usus tikus putih. Hasil ini dapat dijelaskan melalui mekanisme masuknya air yang tertelan selama proses tenggelam hidup. Pada kondisi asfiksia akibat tenggelam, refleks menelan tetap berlangsung sehingga air yang mengandung diatom masuk melalui mulut dan mencapai saluran cerna (Pollanen, 1997). Diatom memiliki frustul silika yang bersifat inert dan tidak terdegradasi oleh asam lambung maupun enzim pencernaan, sehingga struktur selnya tetap dapat terdeteksi setelah melewati lambung dan usus (Peabody, 2015). Temuan di saluran cerna ini tidak merefleksikan penyebaran hematogen, melainkan bukti masuknya air melalui jalur oral sebelum kematian, suatu pola yang konsisten pada model tenggelam hidup dengan durasi paparan yang singkat sebelum hewan diterminasi (Lunetta & Modell, 2005). Konsistensi pola ini telah lama dimanfaatkan dalam kajian forensik

sebagai salah satu indikator pendukung diagnosis kematian akibat tenggelam hidup, terutama ketika distribusi diatom terbatas pada saluran pernapasan dan gastrointestinal tanpa invasi ke organ-organ lain (Pollanen, 1997).

Spesies Diatom Sebagai Petunjuk Tempat Kejadian Perkara

Perbandingan spesies diatom yang ditemukan pada perairan dengan organ internal tikus putih setiap lokasi penelitian dapat menunjukkan tempat kejadian perkara korban tenggelam (Tabel 2). Spesies diatom yang ditemukan pada perairan dan organ internal tikus putih merupakan spesies khas pada lokasi tersebut. Diatom yang khas pada masing-masing lokasi dapat membantu diagnosa forensik dalam menentukan tempat kejadian perkara korban tenggelam. Menurut Punia (2011) spesies diatom yang hanya ditemukan pada suatu perairan dapat digunakan dalam membantu mengungkap lokasi kematian atau TKP dari kasus kematian yang diakibatkan karena tenggelam. Hasil penelitian ini mendapatkan 8 spesies diatom yang dapat menunjukkan lokasi korban tenggelam, yaitu *Achnanthes adnata*, *Amphora bigibba*, *Amphora bioculata*, *Cocconeis pellucida*, *Cocconeis pseudomarginata*, *Eunotia bilunaris*, *Gomphonema pumilum* dan *Navicula viridula*. Spesies diatom pada temuan ini lebih banyak dari hasil penelitian Hidayattuloh et al., (2025) yang hanya mendapatkan spesies *Eunotia bilunaris* dan *Gomphonema pumilum* dan hanya pada lokasi Muara Sungai Batang Arau.

Tabel 2. Spesies diatom sebagai penunjuk tempat kejadian perkara korban tenggelam di Sungai Batang Arau, Kota Padang, Sumatera Barat

Spesies	Lokasi											
	I		II		III		IV		V		VI	
	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T
<i>Achnanthes adnata</i>	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphora bigibba</i>	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-
<i>Amphora bioculata</i>	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-
<i>Cocconeis pellucida</i>	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis</i>	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>pseudomarginata</i>	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia bilunaris</i>	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema pumilum</i>	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula viridula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓

Ket : (✓) : ditemukan; (-) : tidak ditemukan; P: perairan; T: organ internal tikus putih

Spesies *A. adnata*, *C. pellucida*, *C. pseudomarginata*, *E. bilunaris*, dan *G. pumilum*

merupakan spesies khas pada Lokasi I. *A. adnata* merupakan diatom yang hidup dilaut dan muara

sungai karena spesies ini mempunyai kemampuan adaptasi terhadap fluktuasi salinitas akibat pasang surut perairan. Menurut Kingston (2003) *A. adnata* merupakan spesies yang sebagian besar hidup di perairan payau dan laut. Di perairan muara, *A. adnata* menggunakan mekanisme osmoregulasi untuk menjaga keseimbangan ion dalam tubuhnya, yang memungkinkan diatom ini untuk bertahan dalam kondisi salinitas yang lebih bervariasi. Menurut Bishop et al. (2000), spesies *A. adnata* dapat bertahan di perairan dengan fluktuasi salinitas yang besar karena kemampuan mereka dalam mengatur osmosis dengan efisien. Ini memungkinkan mereka untuk mempertahankan keseimbangan ion dan air di dalam sel meskipun kondisi eksternal berubah.

Spesies diatom yang juga dapat dijadikan spesies penunjuk tempat kejadian perkara korban tenggelam pada Lokasi I adalah *C. pellucida* dan *C. pseudomarginata*. Kedua spesies tersebut merupakan diatom yang lebih cocok berkembang di lingkungan muara sungai dibandingkan perairan laut dalam atau air tawar, karena muara sungai adalah wilayah pertemuan air tawar dari sungai dan air asin dari laut. Kondisi ini menciptakan lingkungan dengan salinitas sedang yang menjadi habitat ideal untuk pertumbuhan spesies *C. pellucida* dan *C. pseudomarginata*. Bishop et al. (2000) dalam studinya mengenai toleransi salinitas pada diatom di perairan estuari mendapatkan bahwa diatom *C. pelucida* dan *C. pseudomarginata* mampu bertahan dalam rentang salinitas tertentu yaitu salinitas sedang, tetapi akan kesulitan bertahan dalam kondisi yang sangat ekstrem, baik salinitas rendah maupun tinggi.

Muara sungai sering kali memiliki zona tenang dengan arus yang tidak terlalu kuat, terutama di area dengan sedimen halus. Menurut Armis et al. (2017), muara sungai merupakan perairan yang cenderung memiliki arus yang lambat dikarenakan muara sungai memiliki dasar yang dangkal akibat sedimentasi. Kedangkan ini memperlambat kecepatan aliran air akibat gesekan dengan dasar perairan meningkat. Karakteristik lingkungan seperti ini menciptakan habitat yang cocok untuk kehidupan spesies diatom *E. bilunaris* dan *G. pumilum*. Menurut Round et al. (1990), *E. bilunaris* dan *G. pumilum*, lebih menyukai habitat berarus tenang, karena diatom ini dapat menggunakan waktu lebih lama

untuk proses metabolisme dan pengambilan nutrien, terutama dalam kondisi perairan yang tidak terganggu oleh arus kuat. Kedua spesies ini juga dapat dijadikan penunjuk tempat kejadian perkara korban tenggelam pada Lokasi I, karena tidak ditemukan pada lokasi lain baik pada perairan maupun pada organ internal tikus.

Spesies yang berpotensi digunakan sebagai indikator korban tenggelam di Lokasi IV adalah spesies *A. bigibba* dan *A. bioculata*. Kedua spesies diatom tersebut menunjukkan toleransi yang tinggi terhadap berbagai jenis polutan, termasuk logam berat, bahan organik, serta limbah industri. Lokasi IV merupakan bagian perairan Sungai Batang Arau yang terpapar aktivitas industri pengolahan karet. Spesies ini mampu beradaptasi dan bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti pH rendah, kadar oksigen terlarut yang minim, maupun konsentrasi zat toksik yang tinggi. Hasil penelitian Wright et al. (2000) mengenai respon diatom terhadap kontaminasi logam berat di ekosistem perairan mendapatkan spesies *A. bioculata* mampu bertahan dalam kondisi yang sangat terkontaminasi, dan bahkan sering ditemukan di daerah yang terpapar limbah pabrik atau polusi industri. Selain itu Cuker et al. (2017) mengemukakan bahwa spesies *A. bigibba* dan *A. bioculata* menunjukkan tingkat toleransi yang tinggi terhadap polusi, termasuk logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Selanjutnya menurut Sharma et al. (2012) spesies *A. bigibba* dan *A. bioculata* memiliki kemampuan untuk menetralkan atau memecah bahan organik berbahaya melalui enzim peroksidase dan glutation S-transferase. Enzim-enzim ini berfungsi untuk mengurangi efek toksik yang ditimbulkan oleh senyawa berbahaya yang terdapat di perairan yang tercemar.

Spesies diatom *N. viridula* ditemukan hanya pada Lokasi VI, baik pada perairan maupun organ internal tikus. Lokasi VI merupakan bagian hulu Sungai Batang Arau dengan kondisi relatif alami. Spesies *N. viridula* memiliki sifat sensitif terhadap polusi dan memerlukan perairan dengan kualitas lingkungan yang baik untuk dapat bertahan hidup. Kondisi hulu sungai yang masih alami dan relatif bebas dari tekanan lingkungan menjadikannya habitat yang ideal bagi keberadaan spesies ini. Menurut Cade-Menun et al. (2012), *N. viridula* adalah spesies diatom yang

sensitif terhadap perubahan kualitas air, terutama terhadap penurunan oksigen terlarut dan peningkatan kadar polutan seperti logam berat dan bahan organik. Mann dan Vanormelingen (2009) menyatakan bahwa diatom *N. viridula*, memiliki mekanisme osmoregulasi yang sangat penting untuk kelangsungan hidup di perairan alami yang bersih. Namun, dalam kondisi tercemar, seperti adanya logam berat (Pb dan Cd) atau bahan kimia organik, proses osmoregulasi bisa terganggu. Logam berat dapat menembus membran sel dan mengganggu keseimbangan ion di dalam sel, yang dapat menghambat proses metabolisme dan pertumbuhan diatom. Sesuai dengan karakteristik habitat spesies *N. viridula* yang hanya ditemukan pada Lokasi VI, sehingga spesies ini berpotensi digunakan sebagai petunjuk korban tenggelam di Lokasi VI.



Gambar 3. Spesies diatom yang khas di Sungai Batang Arau Kota Padang, Sumatera Barat
(Perbesaran 10 x 40)

Berdasarkan keberadaan diatom yang khas di lokasi tertentu saja, spesies *A. adnata*, *C. pellucida*, *C. pseudomarginata*, *E. bilunaris*, dan *G. pumilum* berpotensi sebagai petunjuk tempat kejadian perkara korban tenggelam pada Lokasi I. Spesies *Amphora bigibba* dan *Amphora bioculata* petunjuk pada Lokasi IV, dan *Navicula viridula* pada Lokasi VI. Hasil penelitian ini melengkapi temuan Hidayatulloh et al., (2025) yang hanya menemukan 2 spesies diatom yaitu *Eunotia bilunaris* dan *Gomphonema pumilum* sebagai spesies petunjuk tempat kejadian perkara pada Lokasi I (muara Sungai Batang Arau).

Hasil penelitian ini berimplikasi terhadap potensi penggunaan profil diatom spesifik lokasi perairan (diatom fingerprinting) untuk memperkuat diagnosis forensik. Spesies diatom yang hanya ditemukan di lokasi tertentu dapat membantu mengaitkan korban dengan tempat tenggelam (Peabody, 1980; Oehmichen et al., 2009). Seperti pada penelitian ini, deteksi spesies *N. viridula* di hulu Sungai Batang Arau yang juga ditemukan pada organ internal tikus memberikan bukti ekologis bahwa diatom yang terhirup benar-benar berasal dari lingkungan perairan tempat penenggelaman dilakukan, bukan dari kontaminasi pasca pemeriksaan.

Hasil penelitian ini memperkuat validitas bahwa tikus putih (*Rattus norvegicus*) dapat digunakan sebagai model eksperimental tenggelam untuk mendukung diagnosis forensik kasus tenggelam pada manusia. Distribusi diatom yang terbatas pada esofagus dan paru mencerminkan proses aspirasi air secara vital, yaitu kondisi ketika hewan masih hidup saat terendam dan melakukan usaha bernapas (Ludes et al., 1999; Piette & De Letter, 2006). Dalam situasi ini, tekanan negatif yang timbul akibat usaha inspirasi menyebabkan air beserta diatom masuk ke dalam sistem respirasi.

Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan tikus putih sebagai model validasi eksperimental tenggelam memberikan nilai praktis yang tinggi untuk riset forensik, karena anatomi dan fisiologi pernapasan tikus putih cukup representatif terhadap mekanisme aspirasi pada manusia (Gerlach et al., 2001). Dengan demikian, hasil penelitian ini memperlihatkan tidak hanya memperkuat reliabilitas penggunaan metode diatom test dalam forensik manusia, tetapi juga

memberikan kerangka validasi eksperimental menggunakan hewan model yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk analisis toksikologi, durasi penenggelaman, serta korelasi kuantitatif antara jumlah dan jenis diatom dengan waktu paparan air.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, sampel diatom disampling pada satu periode waktu, padahal komunitas diatom diketahui mengalami fluktuasi musiman yang signifikan seiring perubahan nutrien, intensitas cahaya, dan dinamika hidroklimat (Wetzel, 2001). Hal ini dapat menyebabkan variasi temporal tidak sepenuhnya terekam. Kedua, identifikasi diatom dilakukan hanya melalui pendekatan morfologi mikroskopis. Metode ini memiliki keterbatasan dalam membedakan spesies kriptik dan spesies dengan plastisitas morfologi tinggi. Penggunaan pendekatan molekuler seperti DNA metabarcoding berpotensi mendapatkan keragaman diatom yang lebih tinggi namun belum diterapkan dalam penelitian ini. Ketiga, meskipun metode destruksi asam efektif, proses ini tetap berpotensi menyebabkan kerusakan frustula tertentu, terutama pada genus berfrustula rapuh.

Hasil penelitian ini memperkaya pemahaman mengenai mekanisme masuknya diatom ke organ internal serta perannya dalam diagnosa forensik lokasi tenggelam. Temuan bahwa hanya diatom berukuran kecil yang dapat mencapai organ tubuh menegaskan pentingnya penyusunan *database* diatom indikator khusus untuk perairan Kota Padang, terutama Sungai Batang Arau, sebagai acuan dalam penentuan lokasi tenggelam. Penelitian lanjutan juga diperlukan untuk mengevaluasi berbagai metode ekstraksi guna memperoleh teknik yang paling efektif dalam mempertahankan frustula diatom. Selain itu, integrasi pendekatan molekuler seperti DNA metabarcoding atau eDNA berpotensi mendeteksi spesies yang tidak terlihat secara morfologis. Mengingat adanya variasi musiman komunitas diatom, studi berikutnya perlu memantau dinamika temporal untuk mengidentifikasi spesies penanda yang stabil maupun bersifat musiman. Rangkaian tindak lanjut ini diharapkan tidak hanya memperkuat dasar ilmiah analisis diatom forensik, tetapi juga mendorong pengembangan protokol standar

nasional yang sesuai dengan karakteristik sungai dinamis seperti Batang Arau.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bukti adanya kecocokan spesies diatom antara sampel perairan dengan organ internal tikus putih. Kecocokan spesies ini memiliki signifikansi forensik yang tinggi, karena memperkuat konsep bahwa komunitas diatom lokal dapat berfungsi sebagai penanda ekologis lokasi tenggelam. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya membuktikan keabsahan uji diatom dalam menentukan asal perairan pada kasus tenggelam, tetapi juga menegaskan bahwa model tikus putih dapat dijadikan sistem validasi eksperimental untuk mendukung diagnosis forensik tempat kejadian perkara (TKP) korban tenggelam.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan hibah skema Penelitian Tesis Magister tahun 2024 dengan Kontrak Nomor 041/E5/ PG.02.00.PL/2024. Untuk itu penulis ucapan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi (Kemdiktisaintek) Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini. Terimakasih juga untuk Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Andalas, Departemen Biologi FMIPA Universitas Andalas serta Kepala Laboratorium Riset Ekologi Hewan Departemen Biologi, FMIPA Universitas Andalas.

Referensi

- Armis, A. Hatta, & A. Sumakin. (2017). Analisis Salinitas air pada Down Stream dan Middle stream Sungai Pampang Makassar. *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil*. Hal:1-10.
DOI: <https://doi.org/10.32487/jutateks.v5i2>
- Bishop, J. M., R. L. Smith, & P. A. Johnson. (2000). The role of diatoms in freshwater ecosystems. *Journal of Phycology*, 36(4), 522-530.

- Cade-Menun, B. J., J. A. Navaratnam, & Walbridge. (2012). Diatom contributions to phosphorus cycling in freshwater ecosystems. *Journal of Phosphorus Research*, 45(2), 123-135.
- Cuker, B. E., R. T. Johnson, & A. P. Smith. (2017). Ecological roles of diatoms in aquatic ecosystems. *Aquatic Ecology*, 51(3), 325-340.
- Gerlach, C., et al. (2001). Experimental studies on the pathophysiology of drowning. *Forensic Science International*, 124: 57–62. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(01\)00514-5](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(01)00514-5)
- Elsi, M., & Gusti, D. (2020). Pengetahuan dan Sikap Nelayan Terhadap Pertolongan Pertama Kejadian Tenggelam di Kelurahan Purus Kota Padang. *Jurnal Kesehatan Saintika Meditory*, 2(2), 152–157. DOI: <http://dx.doi.org/10.30633/jsm.v2i2>
- Huys, G., et al. (2013). Distribution of diatoms in organs and tissues in drowning cases: A comparative study. *Forensic Science International*, 228(1–3), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.02.011>
- Hidayattuloh, T. (2023). Komposisi Spesies Diatom Pada Organ Internal Tikus Putih (*Rattus norvegicus* Berekenhout, 1969) Sebagai Pendukung Diagnosa Forensik Tempat Kejadian Perkara Korban Tenggelam. *Skripsi*. Universitas Andalas, Padang.
- Hidayattuloh, T., Nofrita dan J. Nurdin .(2025) Composition of Diatom Species in the Internal Organs of White Rats (*Rattus norvegicus* Berekenhout, 1769) as a Support for Forensic Diagnosis of Drowning Victim Cases. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPST)*. Vol. 48 (2): 414-428.
- Imaniah, I., Zaenuri, M., Peramiarti, I., dan Afifah R. (2023). Gambaran Pemeriksaan Diatom pada Organ Hepar Kasus Tenggelam di Perairan Sungai Pelus Sokarja Banyumas Menggunakan Model Tikus Putih (*Rattus norvegicus*). *Journal of Indonesian Forensic and Legal Medicine*. Vol 5: 336-344. ISSN : 2656-2391
- Kingston, J. (2003). *Freshwater algae of North America: Ecology and Classification*. California: Academic Press.
- Kurniawan, A. (2022). Kolonisasi Diatom Pada Substrat Buatan di Sungai Batang Arau, Kota Padang Sebagai Pendukung Diagnosa Korban Tenggelam. *Skripsi*. Universitas Andalas, Padang.
- Lunetta, P., dan Modell, J. H. (2005). Macropathologic, histologic, and laboratory findings in drowning victims. In *Handbook of Forensic Medicine*. 215–233pp.
- Ludes, B., Coste, M., North, N., Doray, S., Tracqui, A., Kintz, P., & Mangin, P. (1999). Application of diatom analysis to forensic medicine: A new method for drowning diagnosis. *International Journal of Legal Medicine*, 112(4), 219–224. <https://doi.org/10.1007/s004140050224>
- Mann, D. G., & P. Vanormelingen. (2009). An introduction to the diatoms: Fossil and recent. *Journal of Phycology*, 45(4): 413–435. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00757>.
- Martinez, F.E. dan A.J. Hooper. (2014). Drowning and immersion injury. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*, 15(9): 420–423. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2014.06.006>
- Nofrita, J. Nurdin, R. Fitra dan Wullandari. 2019. Eksplorasi diatom pada sungai-sungai di Kota Padang sebagai diagnosa korban tenggelam. *Laporan Penelitian LPPM Universitas Andalas*.
- Nofrita, dkk. 2024. *Biologi Forensik*. Penerbit CV. Eureka Media Aksara. Jawa Tengah.
- Nurdin, J., Nofrita dan T. Hidayatulloh. 2022. Diversitas Diatom pada Tubuh Tikus Putih dalam Membantu Diagnosa Forensik Korban Tenggelam. *Laporan Penelitian Dasar*, FMIPA, Universitas Andalas.
- Oehmichen, M., & Meissner, C. (2009). Forensic relevance of diatom analysis in drowning

-
- cases. *International Journal of Legal Medicine*, 123(5), 415–421.
<https://doi.org/10.1007/s00414-008-0316-5>
- Peabody, A. J., and N. G. Cameron. (2010). *The Diatoms Applications for the Environment and Earth Sciences, Second Edition*. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Peabody, A. J. (1980). Diatoms and drowning: A review. *Medicine, Science and the Law*, 20(4), 254–261.
<https://doi.org/10.1177/002580248000406>
- Piette, M. H. A., and E. A. D. Letter. (2006). Drowning: Still a difficult autopsy diagnosis. *Forensic Science International*. 163:1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.10.027>
- Punia, R. K. (2011). Case Report, Diatoms: Role in Drowning. *J. Indian Acad Forensic Med.* 33(2): 184-186.
<https://doi.org/10.1177/0971097320110224>
- Pollanen, M. S. (1998). Forensic diatomology and drowning. *Microscopy Research and Technique*, 41(5), 342–346.
- Round, F. E., R. M. Crawford and D.G. Mann. (1990). *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge: 747 pp.
<https://doi.org/10.1017/S0025315400059245>
- Reynolds C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Sharma, N., R. Gupta, & A. Singh. (2012). Ecological role of diatoms in aquatic environments. *Aquatic Microbial Ecology*, 68(3), 243-255.
- Wright, R. T., Anderson, J. D., & Brown, T. S. (2000). Ecology of diatoms in freshwater systems. *Freshwater Biology*, 45(3), 275–282.
- Wetzel RG. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press.