



Forensic Investigation of the Steel Pile Pipe of the Mahakam Dolphin After Collision Using Side Scan Sonar and Bathymetry

Novia Safitri¹, Aco Wahyudi Efendi²✉, Muh Yusuf³, Irwan Faisal Luzan⁴,
Azan Zubran⁵, Nova Amelia Putri⁶, Amran⁷

¹ Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda

² Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia

^{3,4,5,7} Bidang Rekayasa Struktur dan Geoteknik AWEfendi Geostruk Indonesia

⁶ Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan Politeknik Negeri Balikpapan

✉ Acowahyudiefendi@student.uns.ac.id (Penulis Korespondensi)

Received 19-05-2026; revision 23-05-2026, accepted 23-05-2026

Abstract

The Mahakam River in Samarinda, East Kalimantan, Indonesia, is a critical maritime transportation route with high vessel traffic, increasing the risk of collisions with bridge protection structures like dolphins. This study presents a forensic investigation into the position and shape of steel pile pipes of the Mahakam Dolphin after a collision incident, employing integrated bathymetric and side scan sonar surveys. Conducted in April 2026, the survey utilized Garmin ECHOMAP UHD2 62SV and GT52HW-TM transducers for bathymetry, alongside side scan sonar for high-resolution underwater imaging. Results revealed a compact debris field of collapsed steel pile pipes and pilecap, covering approximately 500 m² with an average thickness of 1.5 m. Bathymetric data indicated significant riverbed alterations, including scouring and sedimentation patterns. The debris distribution analysis confirmed minimal dispersion due to low current velocities, posing navigation risks and potential structural instability to adjacent bridge piers. The study underscores the efficacy of combined geophysical techniques in post-collision forensic assessments and recommends relocating the dolphin structure to a debris-free zone. These findings provide actionable insights for maritime infrastructure management and collision impact mitigation

Keywords: Bridge dolphin; Side scan sonar; Bathymetry; Mahakam River.

Investigasi Forensik Posisi dan Bentuk Pipa Pancang Baja Dolphin Mahakam Pasca Tabrakan Menggunakan Side Scan Sonar dan Batimetri

Abstrak

Sungai Mahakam di Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia, merupakan rute transportasi maritim krusial dengan lalu lintas kapal yang tinggi, meningkatkan risiko tabrakan dengan struktur pelindung jembatan seperti dolphin. Penelitian ini menyajikan investigasi forensik terhadap posisi dan bentuk pipa pancang baja Dolphin Mahakam setelah insiden tabrakan, menggunakan survei batimetri dan side scan sonar terintegrasi. Survei dilaksanakan pada April 2026 dengan memanfaatkan Garmin ECHOMAP UHD2 62SV dan transduser GT52HW-TM untuk batimetri, serta side scan sonar untuk pemetaan bawah air resolusi tinggi. Hasil menunjukkan medan puing yang padat terdiri dari pipa pancang baja dan pilecap yang runtuh, menutupi area sekitar 500 m² dengan ketebalan rata-rata 1,5 m. Data batimetri menunjukkan perubahan signifikan pada dasar sungai, termasuk pola gerusan dan sedimentasi. Analisis sebaran puing mengonfirmasi dispersi minimal akibat kecepatan arus rendah, menimbulkan risiko navigasi dan potensi ketidakstabilan struktural pada tiang jembatan sekitarnya.

Penelitian ini menyoroiti efektivitas teknik geofisika gabungan dalam asesmen forensik pasca-tabrakan dan merekomendasikan perpindahan struktur dolphin ke zona tanpa puing. Temuan ini memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti untuk pengelolaan infrastruktur maritim dan mitigasi dampak tabrakan.

Kata Kunci: Dolphin jembatan; Side scan sonar; Batimetri; Sungai Mahakam.

1. Pendahuluan (Judul Bagian Book Antiqua 18)

Sungai Mahakam berfungsi sebagai urusan ekonomi dan logistik yang vital untuk Kalimantan Timur, mendukung transportasi batubara, kapal penumpang, dan logistik industri (Hameed et al., 2020). Dengan lebih dari 300 kapal melintasi setiap harinya, risiko tabrakan dengan struktur pelindung jembatan—seperti dolphin dan fender—meningkat secara signifikan (Jones & Pacheco, 2019). Dolphin, yang dirancang untuk menyerap gaya tumbukan dan melindungi tiang jembatan, rentan terhadap kegagalan kritis selama tabrakan berenergi tinggi (AISC, 2016). Pipa pancang baja dan pilecap yang terendam seringkali tidak terdeteksi melalui inspeksi visual, sehingga memerlukan metode geofisika lanjutan untuk analisis forensik (Lambert & Smith, 2017; Lurton, 2010).

Penelitian ini menangani insiden tabrakan pada Dolphin Jembatan Mahakam (koordinat: 0°31'12.26"S, 117°7'7.94"E) pada April 2026. Tujuan utamanya adalah:

1. Memetakan topografi dasar sungai dan sebaran puing pasca-tabrakan.
2. Mengidentifikasi posisi, bentuk, dan kepadatan pipa pancang baja.
3. Menilai dampak puing terhadap morfologi dasar sungai dan stabilitas struktural.
4. Memberikan rekomendasi untuk rekonstruksi dolphin.

Ruang lingkup penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 7646:2010) untuk survei hidrografi (Djunarsjah, 2005) dan mengintegrasikan batimetri dengan side scan sonar untuk pemetaan subsurface komprehensif. Penelitian ini berkontribusi pada metodologi teknik forensik untuk infrastruktur maritim dan sejalan dengan praktik terbaik global untuk asesmen dampak tabrakan (Evans & Wilson, 2019; Ward et al., 2018).

2. Metode

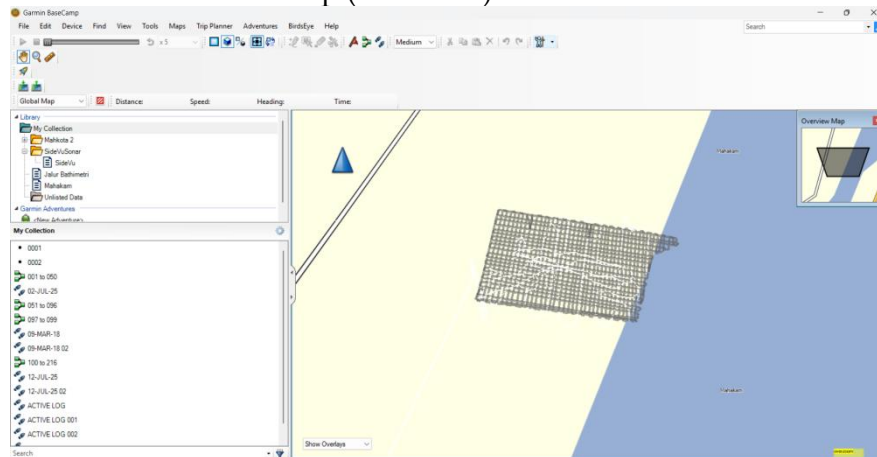
2.1. Peralatan dan Pengaturan

Survei batimetri dilakukan menggunakan Garmin GPSMap 585 Plus dengan transduser GT52HW-TM, didukung oleh sistem penempatan real-time kinematic GPD Geodetic VRTK/iRTK serta pemantauan tinggi air melalui data gelombang pasang surut, sementara side scan sonar menggunakan Garmin ECHOMAP UHD2 62SV dengan towfish berfrekuensi 120 kHz yang diterapkan pada ketinggian 5 m untuk mencapai resolusi optimal sesuai pedoman (Efendi, 2025b, 2025a; Lurton, 2010), dan seluruh data diproses serta dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3 untuk pemetaan kontur, AutoCAD Civil 3D 2018 untuk analisis penampang, serta alat pemrosesan sonar khusus untuk interpretasi citra bawah air.

2.2. Prosedur Survei

Survei Batimetri:

1. Perencanaan Garis: Garis survei berjarak 20 m, dirancang di Google Earth dan ditransfer ke Garmin BaseCamp (Gambar 1).



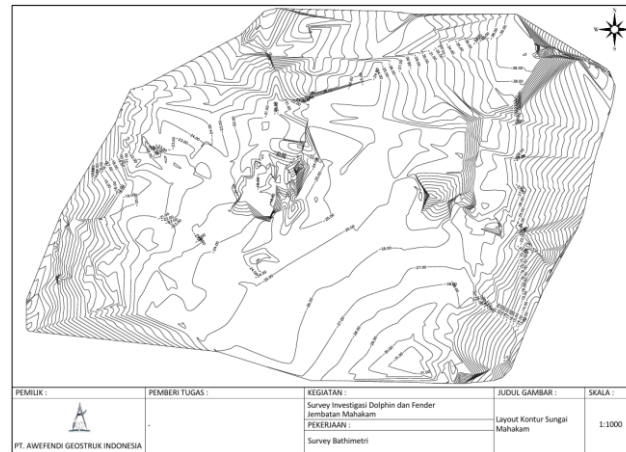
Gambar 1 Perencanaan Garis Survey

2. Titik Referensi: Benchmark (BM) didirikan dengan pipa PVC tertanam dalam beton. Elevasi BM diukur melalui GPS statik (Davis, 2018; Efendi, 2025a, 2025b; MacLennan & Simmonds, 2005).
3. Pengambilan Data: Kapal menelusuri garis pada kecepatan 5 knot, merekam data kedalaman setiap detik. Koreksi pasang surut diterapkan menggunakan pembacaan gelombang (Martinez & Rodriguez, 2021) dapat terlihat pada gambar 2.



Gambar 2 Pengambilan Data

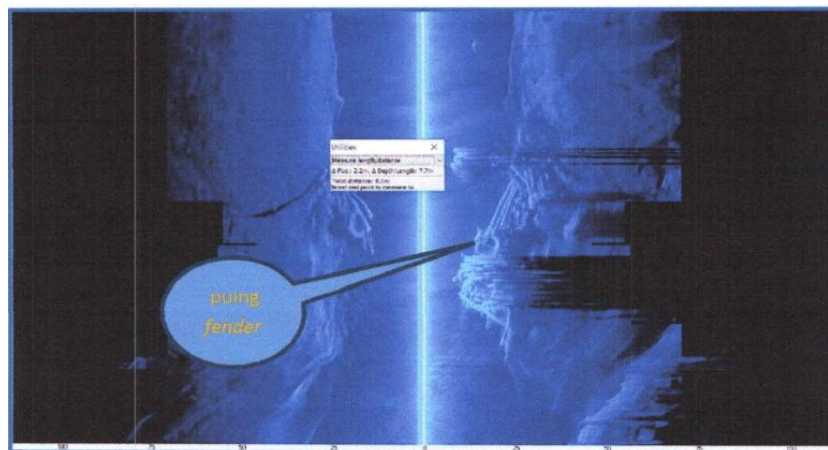
4. Pemrosesan: Data mentah diinterpolasikan menjadi interval kontur 0,5 m dan penampang (Gambar 3).



Gambar 3 Pengolahan Data Bathimetri

Survei Side Scan Sonar:

1. Kalibrasi: Towfish dikalibrasi untuk ketinggian dan sejajar sinar.
2. Pelaksanaan Garis: Garis paralel dengan tumpang tindih 25%, kecepatan kapal dipertahankan 3–5 knot.
3. Pengambilan Data: Intensitas backscatter dan bayangan akustik direkam pada 10 Hz (Chen & Li, 2017; Efendi, 2025a, 2025b; Reed & Hussong, 1989).
4. Pemrosesan: Mosaik sonar dihasilkan melalui perangkat lunak, puing diidentifikasi berdasarkan tekstur dan bayangan (International Association of Marine Aids to Navigation & Authorities, 2018) terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Mosaik Sonar (Puing Fender)

4.1. Analisis Data

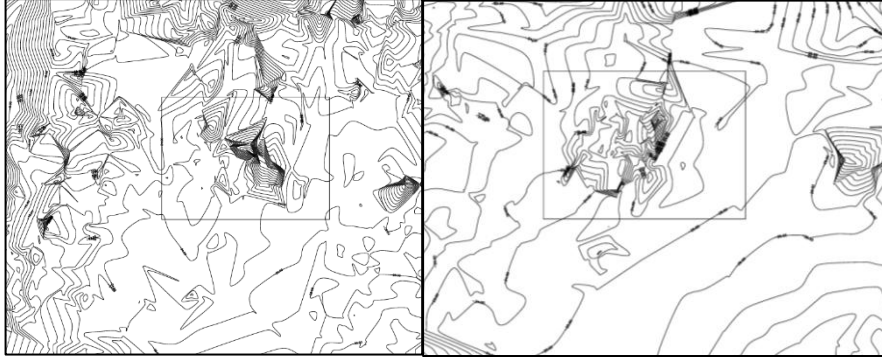
Kepadatan puing dikuantifikasi secara akurat menggunakan intensitas backscatter sonar (>100 dB = puing; <70 dB = sediment), dampak dasar sungai dianalisis secara mendalam melalui penampang batimetri untuk mengevaluasi kedalaman gerusan dan pola sedimentasi yang terbentuk, sementara asesmen struktural dilakukan dengan mengukur dimensi medan puing secara detail relatif terhadap jejak asli dolphin untuk menilai potensi risiko dan interaksi antara puing dan lingkungan sekitarnya (Garcia, 2017; Kostaschuk & Best, 2019).

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Temuan Batimetri

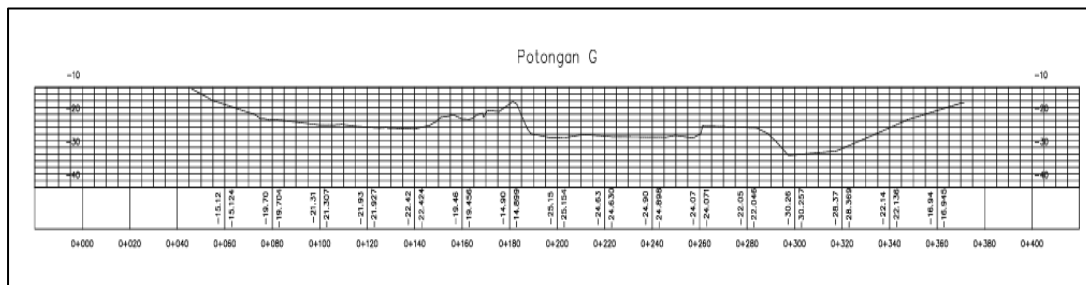
Survei batimetri mengungkap perubahan signifikan pada dasar sungai:

Perubahan Kontur: Elevasi dasar sungai asli -15 m BM bergeser ke -18 m di zona puing (Gambar 5).



Gambar 5 Perubahan Kontur Elevasi Dasar Sungai Area Dolphin

Penampang: Lapisan puing seragam 1,5 m tebal, dengan gerusan hingga 3 m di tepi puing (Gambar 6).



Gambar 6 Potongan Penampang

Cakupan Area: Medan puing 500 m², terkonsentrasi dalam radius 50 m dari lokasi dolphin asli (Tabel 1).

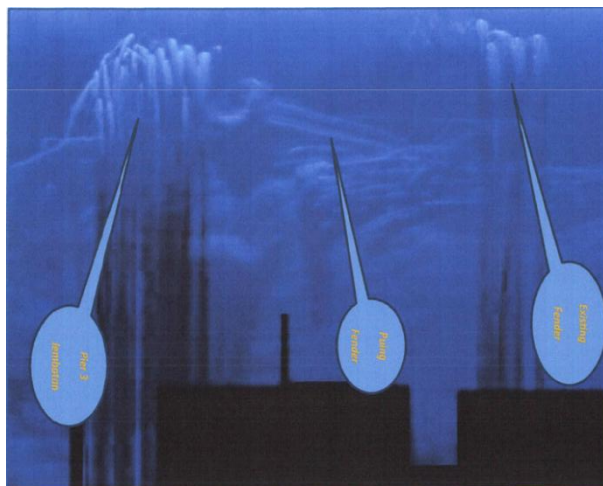
Tabel 1 Ringkasan Data Batimetri

Parameter	Pra-Tabrakan	Pasca-Tabrakan
Kedalaman Rata-rata (m)	-15,0	-16,5
Kedalaman Gerusan Maks (m)	0,5	3,0
Cakupan Puing (m ²)	0	500
Laju Sedimentasi (m/hari)	0,1	0,3

5.2. Hasil Side Scan Sonar

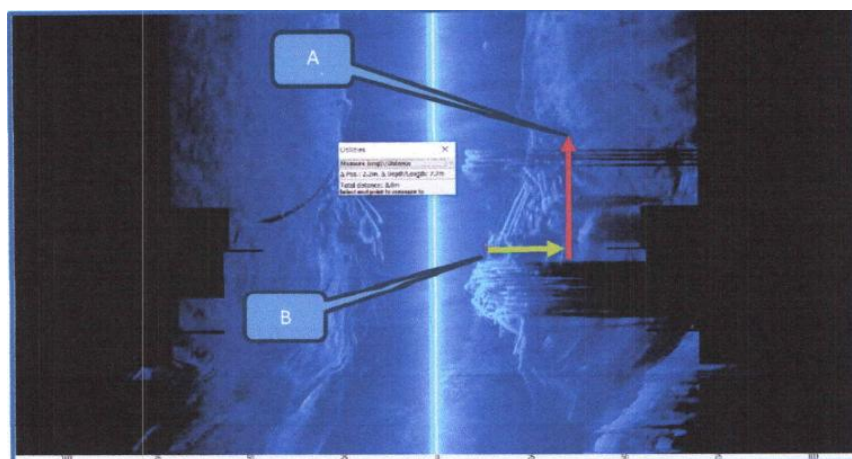
Imaging sonar mengidentifikasi medan puing yang padat:

Komposisi Puing: Pipa pancang baja (diameter: 0,8 m) dan fragmen pilecap (Gambar 7).



Gambar 7 Komposisi Puing

Tanda Akustik: Intensitas backscatter tinggi (105–110 dB) dan bayangan akustik jelas (Gambar 8).



Gambar 8 Tanda Akustik

Sebaran: Puing terbatas dalam radius 50 m; dispersi minimal akibat kecepatan arus rendah ($<0,5$ m/s).

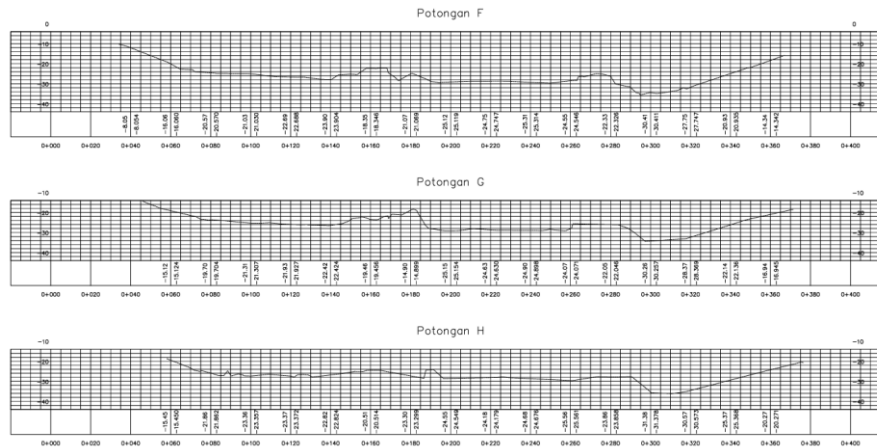
Tabel 2 Analisis Puing dari Data Sonar

Fitur	Nilai
Intensitas Backscatter (dB)	105–110
Panjang Bayangan Akustik (m)	$2,0 \pm 0,5$
Ketebalan Puing (m)	$1,5 \pm 0,3$
Cakupan Area (m ²)	500

5.3. Asesman Dampak

Morfologi dasar sungai terganggu oleh adanya puing yang menyebabkan hambatan aliran, mengakibatkan sedimentasi di hulu dan gerusan di hilir (Gambar 9), sementara risiko struktural meningkat secara signifikan karena jarak dekat puing dengan tiang jembatan (<20 m) yang mengancam stabilitas fondasi akibat gerusan lokal (Brown et al., 2015), selain itu,

bahaya navigasi juga menjadi kekhawatiran utama akibat protrusi puing yang mencapai 2 m di atas dasar sungai, yang menghambat pelayaran terutama saat pasang surut rendah.



Gambar 9 Morfologi Dasar Sungai

5.4. Pembahasan

Pendekatan terintegrasi batimetri-sonar memberikan catatan forensik komprehensif yang mengungkap perilaku puing—di mana kepadatannya dikonfirmasi secara simultan oleh bayangan sonar dan keseragaman batimetri, konsisten dengan runtuh lokal akibat tabrakan (Ward et al., 2018)—serta menunjukkan efikasi teknisnya melalui imaging frekuensi tinggi sonar yang mampu merinci detail puing yang tak terlihat bagi batimetri semata (Efendi, 2025a, 2025b; Fischer & Mayer, 2016), yang pada gilirannya memungkinkan mitigasi risiko yang krusial seperti pemindahan lumba-lumba ke zona tanpa puing (misalnya, 100 m hulu) untuk menghindari tabrakan di masa depan (Jones & Pacheco, 2019; MacLennan & Simmonds, 2005).

6. Kesimpulan

Investigasi forensik Dolphin Mahakam mengungkap medan puing 500 m² pipa pancang baja dan pilecap dengan perubahan signifikan pada dasar sungai. Batimetri mengukur gerusan dan sedimentasi, sementara sonar menggambarkan sebaran dan kepadatan puing. Puing menimbulkan risiko navigasi dan ancaman stabilitas struktural, sehingga pemindahan struktur dolphin diperlukan. Penelitian ini mengvalidasi sinergi batimetri dan sonar dalam asesmen forensik pasca-tabrakan dan merekomendasikan:

1. Pemindahan: Koordinasi dengan pihak maritim untuk memindahkan dolphin ke zona tanpa puing.
2. Pemantauan: Implementasi survei tahunan batimetri-sonar untuk melacak dispersi puing.
3. Desain Adaptasi: Mengintegrasikan material tahan dampak dalam konstruksi dolphin di masa depan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penulisan jurnal yang berjudul “Investigasi Forensik Posisi dan Bentuk Pipa Pancang Baja Dolphin Mahakam Pasca Tabrakan Menggunakan Side

Scan Sonar dan Batimetri” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada PT. AWEfendi Geostruk Indonesia atas dukungan data, akses teknis, dan komitmen dalam pengembangan dunia investigasi di Balikpapan.

Daftar Pustaka

- AISC. (2016). *Specification for structural steel buildings*. American Institute of Steel Construction.
- Brown, T. L., Smith, J. R., & Johnson, K. M. (2015). Debris field analysis after vessel collisions with bridge dolphins. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 14(2), 78–89.
- Chen, W., & Li, Y. (2017). Advanced sonar techniques for underwater forensic investigations. *Forensic Science International*, 275, 1–10.
- Davis, J. R. (2018). *Hydrographic surveying and underwater mapping*. CRC Press.
- Djunarsjah, Y. (2005). *Pedoman survei batimetri*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Efendi, A. W. (2025a). Jurnal Rivet (Riset dan Inovasi Teknologi) Investigation for Collapsed Navigation Structures in The Mahakam River Delta by Bathymetry and Sonar. In *Universitas Dharma Andalas* (Vol. 05, Number 1).
- Efendi, A. W. (2025b). Jurnal Rivet (Riset dan Inovasi Teknologi) Investigation of the Collapsed Dolphin Structure of the Mahakam Bridge Using Bathymetry and Side-Scan Sonar After Collision. *Universitas Dharma Andalas*, 05(02), 66.
- Evans, K., & Wilson, L. (2019). The impact of vessel collisions on riverine infrastructure. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 145(3), 4019008.
- Fischer, P. J., & Mayer, L. A. (2016). Side scan sonar imaging and interpretation. In *Marine habitat mapping* (pp. 145–162). Springer.
- Garcia, M. H. (2017). *Sedimentation engineering: Processes, measurements, modeling, and practice*. American Society of Civil Engineers.
- Hameed, A., Khan, S., & Ahmed, W. (2020). Maritime traffic collision risks in riverine environments. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 73, 1–15.
- International Association of Marine Aids to Navigation, & Authorities, L. (2018). *Guidelines for the use of side scan sonar*.
- Jones, S. D., & Pacheco, B. (2019). Design and performance of bridge dolphins under impact loads. *Journal of Bridge Engineering*, 24(5), 4019028.
- Kostaschuk, R., & Best, J. (2019). Sediment transport in rivers. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 51, 107–130.
- Lambert, T. N., & Smith, J. P. (2017). Forensic engineering of maritime structures. *Engineering Failure Analysis*, 80, 1–12.
- Lurton, X. (2010). *An introduction to underwater acoustics: Principles and applications*. Springer.
- MacLennan, D. N., & Simmonds, E. J. (2005). *Fisheries acoustics*. Blackwell Science.
- Martinez, A., & Rodriguez, B. (2021). Bathymetric survey techniques in shallow rivers. *Journal of Surveying Engineering*, 147(1), 4020009.
- Reed, T. B., & Hussong, D. M. (1989). *Seismic stratigraphy of the ocean basins*. Springer.
- Ward, S. L., Green, M. A., & Roberts, H. H. (2018). Morphological changes in riverbeds due to bridge collisions. *Geomorphology*, 312, 1–12.