

PENDAMPINGAN PENERAPAN SISTEM MONITORING DINI KEBOCORAN LAMBUNG KAPAL KAYU BERBASIS SENSOR DHT22 UNTUK MENINGKATKAN KESELAMATAN OPERASIONAL NELAYAN TRADISIONAL

Sulistiyanto^{1*}, Sri Widoretno², Abdul Karim³

^{1,3}Prodi Teknik Elektro, Universitas Nurul Jadid

²Prodi Teknik Elektro, Universitas Islam Balitar

email Koresponden : soelis@unuja.ac.id

DOI : <https://doi.org/10.63935/gr.v3i2.338>

Diterima: 2 Juli 2026	Direvisi: 5 Juli 2026	Diterbitkan: 6 Juli 2026
-----------------------	-----------------------	--------------------------

Abstrak

Kapal kayu masih menjadi sarana utama yang digunakan oleh nelayan tradisional di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, dalam kegiatan penangkapan ikan. Namun, penurunan kualitas struktur kapal akibat paparan lingkungan laut menyebabkan meningkatnya risiko retakan dan kebocoran lambung yang sering kali sulit dideteksi pada tahap awal. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu keselamatan operasional nelayan dan meningkatkan risiko kerusakan kapal serta peralatan penangkapan ikan. Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan nelayan melalui pendampingan penerapan sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal kayu berbasis sensor DHT22. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan *Participatory Action Approach* (PAA) yang meliputi identifikasi permasalahan, analisis kebutuhan, perancangan sistem, pelatihan, pendampingan implementasi, serta evaluasi. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan rata-rata nilai peserta dari 30 pada pretest menjadi 85 pada posttest, sedangkan pengujian fungsional sistem menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 90% terhadap skenario uji yang dirancang. Peserta juga mampu memahami prinsip kerja sensor, melakukan instalasi perangkat, serta mengoperasikan sistem monitoring secara mandiri. Kegiatan ini menunjukkan bahwa pendampingan berbasis transfer teknologi dapat meningkatkan kapasitas nelayan dalam mengadopsi teknologi sederhana sebagai sistem peringatan dini kebocoran lambung kapal. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengintegrasikan sensor pendeteksi air secara langsung dan sistem Internet of Things (IoT) untuk pemantauan kondisi kapal secara real-time.

Kata Kunci : pengabdian masyarakat; kapal kayu; keselamatan nelayan; monitoring kebocoran; sensor DHT22.

Abstract

Wooden boats remain the primary means of transportation used by traditional fishermen in Paiton District, Probolinggo Regency, Indonesia, for fishing activities. However, the deterioration of the boat structure due to prolonged exposure to the marine environment increases the risk of cracks and hull leakage, which are often difficult to detect at an early stage. These conditions may compromise fishermen's operational safety and increase the risk of damage to the vessel and fishing equipment. This community service program aimed to enhance fishermen's knowledge and technical skills through mentoring in the implementation of an early hull leakage monitoring system for wooden fishing boats based on the DHT22 sensor. The program employed a Participatory Action Approach (PAA) consisting of problem identification, needs assessment, system design, training, implementation assistance, and evaluation. The evaluation results indicated that the participants' average score increased from 30 in the pre-test to 85 in the post-test, while the functional testing of the monitoring system achieved a detection success rate of 90% under the designed test scenarios. Furthermore, participants demonstrated the ability to understand the operating principles of the sensor, install the monitoring device, and operate the system independently. These findings indicate that technology transfer-based mentoring effectively improves fishermen's capacity to adopt simple monitoring technology as an early warning system for wooden boat hull leakage. Future development should integrate direct water leakage

sensors and Internet of Things (IoT)-based communication technology to enable real-time monitoring of boat conditions.

Keywords: community service; wooden fishing boat; fishermen's safety; hull leakage monitoring; DHT22 sensor.

PENDAHULUAN

Sektor perikanan tangkap merupakan salah satu sektor strategis yang berkontribusi terhadap ketahanan pangan, peningkatan kesejahteraan masyarakat pesisir, serta pertumbuhan ekonomi nasional. Di Indonesia, sebagian besar nelayan tradisional masih mengandalkan kapal kayu sebagai sarana utama dalam kegiatan penangkapan ikan karena biaya pembuatannya relatif rendah, materialnya mudah diperoleh, serta proses perawatannya dapat dilakukan secara mandiri dibandingkan kapal berbahan logam maupun fiberglass (Food and Agriculture Organization [FAO], 2022; Kementerian Kelautan dan Perikanan [KKP], 2023). Di balik berbagai keunggulan tersebut, kapal kayu memiliki kelemahan berupa kerentanan terhadap pelapukan material akibat paparan air laut, serangan organisme perusak kayu, retakan akibat beban gelombang, serta perubahan cuaca yang berlangsung secara terus-menerus. Penurunan kualitas struktur tersebut dapat memicu terjadinya rembesan maupun kebocoran pada lambung kapal yang berpotensi menurunkan stabilitas kapal, merusak peralatan penangkapan ikan, mengurangi kualitas hasil tangkapan, serta meningkatkan risiko kecelakaan selama kegiatan pelayaran. Oleh karena itu, upaya deteksi dini terhadap kondisi lambung kapal menjadi salah satu aspek penting dalam mendukung keselamatan operasional nelayan tradisional (International Maritime Organization [IMO], 2023).



Gambar 1. Kapal Kayu Nelayan

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan diskusi dengan Kelompok Nelayan Berkarya di wilayah pesisir Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, diketahui bahwa sebagian besar nelayan masih menggunakan kapal kayu yang telah dioperasikan selama bertahun-tahun. Penggunaan kapal dalam jangka panjang menyebabkan penurunan kualitas struktur akibat paparan lingkungan laut, kelembaban tinggi, perubahan temperatur, serta proses pelapukan alami yang mengurangi kekuatan material kayu dan meningkatkan risiko kerusakan pada lambung kapal (Borges et al., 2021; Sandak et al., 2022). Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan retakan maupun rembesan air yang sulit dikenali pada tahap awal. Selama ini, pemeriksaan kondisi lambung masih dilakukan secara manual melalui inspeksi visual sebelum kapal berangkat maupun setelah kembali dari melaut. Metode tersebut memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kerusakan berukuran kecil atau kebocoran awal yang belum menunjukkan

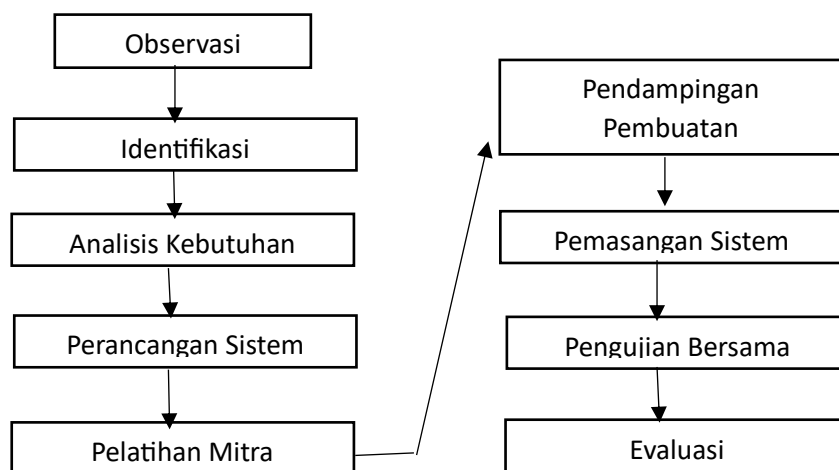
gejala fisik secara jelas sehingga potensi kerusakan sering terlambat diketahui (Kim et al., 2021). Hasil wawancara terhadap lima orang anggota Kelompok Nelayan Berkarya menunjukkan bahwa rembesan air pada lambung kapal masih menjadi salah satu permasalahan yang sering dihadapi, terutama ketika kapal beroperasi dalam durasi yang panjang atau pada kondisi gelombang yang relatif tinggi. Keterlambatan dalam mendeteksi kebocoran tidak hanya meningkatkan risiko kerusakan mesin, peralatan penangkapan, dan hasil tangkapan ikan, tetapi juga menambah beban kerja nelayan karena harus melakukan pembuangan air secara manual selama pelayaran. Menurut Wang et al. (2023), penerapan sistem *condition monitoring* secara dini mampu mengurangi risiko kegagalan struktur dan meningkatkan keselamatan operasional sarana transportasi laut. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa nelayan di Kecamatan Paiton memerlukan solusi teknologi yang sederhana, ekonomis, mudah dioperasikan, dan mampu memberikan informasi dini mengenai indikasi kebocoran lambung kapal sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum kerusakan berkembang menjadi lebih serius.

Perkembangan teknologi sensor dan sistem elektronika tertanam (*embedded systems*) membuka peluang penerapan sistem pemantauan yang lebih efektif untuk mendukung keselamatan operasional nelayan. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah *early warning system* yang mampu memberikan informasi secara cepat mengenai perubahan kondisi lingkungan sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius (Akyildiz et al., 2020; Kumar et al., 2022). Pada ruang lambung kapal kayu, peningkatan kelembaban udara akibat rembesan air dapat dimanfaatkan sebagai indikator awal adanya kebocoran. Sensor DHT22 yang memiliki kemampuan mengukur suhu dan kelembaban udara secara akurat, konsumsi daya rendah, serta biaya implementasi yang relatif terjangkau berpotensi diterapkan sebagai bagian dari sistem monitoring dini berbasis Internet of Things (IoT) untuk membantu nelayan memantau kondisi lambung kapal secara berkelanjutan (Singh et al., 2021; Rahman et al., 2023). Namun demikian, pemanfaatan teknologi monitoring sederhana yang disertai dengan pendampingan kepada nelayan dalam proses perancangan, pemasangan, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem masih relatif terbatas. Padahal, keberhasilan penerapan teknologi tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan perangkat, tetapi juga oleh peningkatan kapasitas masyarakat dalam mengoperasikan dan memelihara teknologi tersebut secara mandiri. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian ini difokuskan pada pendampingan penerapan sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal kayu berbasis sensor DHT22 sebagai upaya meningkatkan literasi teknologi sekaligus mendukung keselamatan operasional nelayan tradisional.

Berdasarkan permasalahan tersebut, kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan Kelompok Nelayan Berkarya di Kecamatan Paiton dalam merancang, memasang, mengoperasikan, serta memelihara sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal kayu berbasis sensor DHT22. Selain menghasilkan perangkat monitoring yang sederhana dan sesuai dengan kebutuhan nelayan, kegiatan ini diharapkan mampu meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya deteksi dini kebocoran lambung kapal, mengurangi risiko kerusakan kapal selama operasi penangkapan ikan, serta mendukung terciptanya budaya keselamatan kerja yang berkelanjutan pada masyarakat nelayan tradisional.

METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan pada Kelompok Nelayan Berkarya yang berlokasi di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.



Gambar 2. Diagram alur pengabdian

Mitra kegiatan terdiri atas lima orang nelayan tradisional yang masih menggunakan kapal kayu sebagai sarana utama dalam aktivitas penangkapan ikan.

Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan Participatory Action Approach (PAA) yang menempatkan mitra sebagai subjek utama dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi permasalahan, perancangan solusi, implementasi teknologi, hingga evaluasi hasil. Pendekatan ini dipilih untuk mendorong peningkatan kapasitas masyarakat melalui proses pembelajaran yang partisipatif sehingga teknologi yang diterapkan dapat dipahami, dioperasikan, dan dipelihara secara mandiri.

Pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui enam tahapan. Tahap pertama adalah identifikasi permasalahan, yang dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara, dan diskusi dengan anggota Kelompok Nelayan Berkarya untuk mengetahui kondisi kapal kayu, metode pemeriksaan kebocoran yang digunakan, serta kebutuhan teknologi yang sesuai dengan karakteristik mitra. Tahap kedua adalah analisis kebutuhan dan perancangan sistem monitoring, meliputi penyusunan desain perangkat, pemilihan komponen elektronika, perancangan rangkaian berbasis sensor DHT22, serta penyusunan program mikrokontroler sebagai sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal.

Tahap ketiga merupakan pelatihan dan transfer teknologi, yang bertujuan memberikan pemahaman kepada mitra mengenai prinsip kerja sistem monitoring, fungsi setiap komponen, proses perakitan perangkat, instalasi sensor, serta pengoperasian sistem. Pelatihan dilaksanakan melalui metode ceramah, demonstrasi, dan praktik langsung sehingga peserta dapat memahami konsep sekaligus memperoleh pengalaman dalam merakit perangkat.

Tahap keempat adalah pendampingan implementasi sistem, yaitu kegiatan pemasangan perangkat monitoring pada kapal kayu milik mitra. Pada tahap ini, tim pengabdian mendampingi peserta dalam proses instalasi sensor, konfigurasi sistem, pengujian fungsi perangkat, serta simulasi kondisi kebocoran untuk memastikan sistem mampu memberikan peringatan dini ketika terjadi perubahan kelembaban yang mengindikasikan adanya rembesan air pada ruang lambung kapal.

Tahap kelima adalah uji operasional, yang dilakukan bersama mitra untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring pada kondisi operasional. Pengujian meliputi pemeriksaan respons sensor, fungsi alarm, serta kemampuan sistem dalam memberikan informasi dini mengenai perubahan kondisi lingkungan pada ruang lambung kapal.

Tahap terakhir adalah evaluasi kegiatan, yang bertujuan mengukur tingkat keberhasilan program pengabdian. Evaluasi dilakukan menggunakan instrumen berupa lembar observasi, angket kepuasan peserta, serta pretest dan posttest untuk mengukur peningkatan pengetahuan peserta mengenai sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal. Data hasil

evaluasi dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai pretest dan posttest serta menghitung persentase peningkatan pengetahuan peserta menggunakan Persamaan (1).

Rumus berikut:

$$\text{Peningkatan Pengetahuan (\%)} = \frac{\text{Nilai Posttest} - \text{Nilai Pretest}}{\text{Nilai Pretest}} \times 100\% \quad (1)$$

Keberhasilan kegiatan ditentukan berdasarkan beberapa indikator, yaitu meningkatnya pengetahuan peserta mengenai sistem monitoring dini, kemampuan peserta dalam merakit dan mengoperasikan perangkat secara mandiri, berfungsinya sistem monitoring pada kapal mitra, serta tingkat kepuasan peserta terhadap pelaksanaan kegiatan. Melalui tahapan tersebut diharapkan terjadi peningkatan kapasitas nelayan dalam memanfaatkan teknologi sederhana sebagai upaya mendukung keselamatan operasional kapal kayu selama kegiatan penangkapan ikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pelaksanaan Kegiatan Pendampingan

Kegiatan pengabdian masyarakat dilaksanakan bersama Kelompok Nelayan Berkarya di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo. Tahap awal kegiatan diawali dengan observasi lapangan dan diskusi bersama mitra untuk mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi nelayan terkait deteksi kebocoran pada lambung kapal kayu. Hasil observasi menunjukkan bahwa pemeriksaan kondisi lambung kapal masih dilakukan secara manual melalui inspeksi visual sebelum keberangkatan maupun setelah kapal kembali dari melaut. Metode tersebut dinilai kurang efektif karena kebocoran berukuran kecil umumnya sulit dideteksi pada tahap awal sehingga berpotensi berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar.

Berdasarkan permasalahan tersebut, tim pengabdian melaksanakan kegiatan pelatihan dan pendampingan mengenai penerapan sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal berbasis sensor DHT22. Materi yang diberikan meliputi pengenalan komponen elektronika, prinsip kerja sensor DHT22, proses perakitan perangkat, instalasi sistem pada kapal, serta pengoperasian dan pemeliharaan perangkat monitoring. Seluruh peserta mengikuti kegiatan secara aktif melalui sesi penyampaian materi, demonstrasi, praktik langsung, dan diskusi.



Gambar 3. Pemasangan peralatan monitoring kebocoran

3.2 Hasil Implementasi Sistem Monitoring

Hasil kegiatan menghasilkan sebuah prototipe sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal berbasis sensor DHT22 yang mampu memantau perubahan suhu dan kelembaban pada ruang lambung kapal secara berkala. Sensor DHT22 digunakan sebagai indikator tidak langsung terhadap kemungkinan adanya rembesan air melalui peningkatan kelembaban udara pada ruang tertutup. Data hasil pengukuran diproses oleh mikrokontroler untuk memberikan peringatan dini kepada pengguna ketika nilai kelembaban melebihi batas yang telah ditentukan.

Pada pengujian fungsional, sistem menunjukkan akurasi deteksi sebesar 90% terhadap skenario uji yang dirancang untuk mensimulasikan perubahan kondisi kelembaban akibat rembesan air. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa perangkat mampu memberikan respons yang baik terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga berpotensi digunakan sebagai sistem peringatan dini pada kapal kayu nelayan.

3.3 Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Mitra

Selain menghasilkan perangkat monitoring, kegiatan ini juga bertujuan meningkatkan kapasitas nelayan dalam memanfaatkan teknologi elektronika untuk mendukung keselamatan operasional kapal. Pada hasil evaluasi menggunakan pretest dan posttest menunjukkan bahwa rata-rata nilai peserta meningkat dari 30 sebelum pelatihan menjadi 85 setelah kegiatan pendampingan. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa metode pelatihan yang mengombinasikan penyampaian materi, demonstrasi, praktik langsung, dan pendampingan mampu meningkatkan pemahaman peserta mengenai prinsip kerja sensor, proses instalasi perangkat, serta pengoperasian sistem monitoring dini.

Selama praktik berlangsung, peserta tidak hanya memahami konsep dasar sistem monitoring, tetapi juga mampu melakukan pemasangan sensor, menghubungkan komponen elektronika, menjalankan program mikrokontroler, dan melakukan pengujian sederhana secara mandiri. Keterlibatan aktif peserta dalam setiap tahapan kegiatan menunjukkan bahwa pendekatan partisipatif mampu meningkatkan keterampilan teknis sekaligus menumbuhkan kepercayaan diri nelayan dalam mengadopsi teknologi yang diperkenalkan.

3.4 Pembahasan

Pelaksanaan pendampingan menunjukkan bahwa penerapan teknologi sederhana berbasis sensor dapat menjadi salah satu solusi dalam meningkatkan aspek keselamatan operasional nelayan tradisional. Selama ini, pemeriksaan kebocoran lambung kapal yang masih mengandalkan inspeksi visual memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kerusakan pada tahap awal. Dengan adanya sistem monitoring berbasis sensor DHT22, nelayan memperoleh informasi lebih cepat mengenai perubahan kelembaban pada ruang lambung sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum kebocoran berkembang menjadi lebih serius.

Keberhasilan kegiatan tidak hanya ditunjukkan oleh berfungsinya perangkat monitoring, tetapi juga oleh meningkatnya kemampuan mitra dalam memahami, mengoperasikan, dan memelihara sistem secara mandiri. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan pendampingan berbasis Participatory Action Approach (PAA) efektif dalam mendorong transfer pengetahuan dan teknologi kepada masyarakat. Melalui keterlibatan langsung selama proses perancangan, pemasangan, dan pengujian perangkat, peserta memperoleh pengalaman praktis yang mendukung keberlanjutan penggunaan teknologi setelah program pengabdian selesai.

Dari aspek kebermanfaatan, sistem monitoring dini yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan, antara lain biaya implementasi yang relatif rendah, penggunaan komponen yang mudah diperoleh, konsumsi daya yang kecil, serta pengoperasian yang sederhana sehingga sesuai dengan karakteristik nelayan tradisional. Dengan demikian, penerapan teknologi ini berpotensi meningkatkan kesadaran nelayan terhadap pentingnya deteksi dini kebocoran lambung kapal, mengurangi risiko kerusakan kapal dan peralatan penangkapan ikan, serta mendukung peningkatan keselamatan kerja selama aktivitas penangkapan ikan di laut.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui pendampingan penerapan sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal kayu berbasis sensor DHT22 memberikan alternatif solusi dalam meningkatkan keselamatan operasional nelayan tradisional di Kelompok Nelayan Berkarya, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo. Melalui pendekatan partisipatif, mitra memperoleh pengetahuan dan keterampilan mengenai prinsip kerja sensor, proses perakitan, pemasangan, pengoperasian, serta pemeliharaan sistem monitoring sehingga mampu memanfaatkan teknologi secara lebih mandiri. Implementasi sistem monitoring memungkinkan nelayan memperoleh informasi dini mengenai perubahan kondisi kelembaban pada ruang lambung kapal sebagai indikator awal potensi kebocoran. Penerapan teknologi ini diharapkan dapat membantu nelayan melakukan tindakan pencegahan lebih cepat, mengurangi risiko kerusakan kapal dan peralatan penangkapan ikan, serta meningkatkan kesadaran terhadap pentingnya keselamatan selama kegiatan melaut. Keberhasilan program menunjukkan bahwa pendampingan berbasis transfer teknologi tidak hanya menghasilkan perangkat yang dapat dimanfaatkan oleh mitra, tetapi juga meningkatkan kapasitas

masyarakat dalam mengadopsi inovasi teknologi yang sesuai dengan kebutuhan lapangan. Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor pendeteksi air secara langsung, modul komunikasi berbasis Internet of Things (IoT), serta aplikasi pemantauan jarak jauh sehingga mampu memberikan informasi kondisi kapal secara real-time dan meningkatkan keandalan sistem monitoring pada kapal nelayan tradisional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan sehingga kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi khusus disampaikan kepada Kelompok Nelayan Berkarya, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, atas partisipasi aktif, kerja sama, dan komitmennya selama pelaksanaan kegiatan, mulai dari tahap identifikasi permasalahan, pelatihan, pendampingan, hingga implementasi sistem monitoring dini kebocoran lambung kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Food and Agriculture Organization. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- International Maritime Organization. (2023). *SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. International Maritime Organization. <https://www.imo.org>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2023*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. <https://kkp.go.id>
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2017). *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316494196>
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Akyildiz, I. F., Kak, A., & Nie, S. (2020). 6G and beyond: The future of wireless communications systems. *IEEE Access*, 8, 133995–134030. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010896>
- Azhari, Nasution, T. I., Sinaga, S. H., & Sudiati. (2023). Design of monitoring system temperature and humidity using DHT22 sensor and NRF24L01 based on Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 2421(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2421/1/012018>
- Barik, L. (2019). IoT based temperature and humidity controlling using Arduino and Raspberry Pi. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 2488–2493.
- Borges, L. M. S., Gomes, A., & Silva, J. (2021). Durability assessment of timber structures exposed to marine environments: A review. *Construction and Building Materials*, 303, 124512.
- Food and Agriculture Organization. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- International Maritime Organization. (2023). *SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. International Maritime Organization.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2023*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kim, J., Lee, S., & Park, H. (2021). Structural health monitoring for marine structures using sensor-based inspection techniques: A review. *Ocean Engineering*, 235, 109404.
- Kumar, R., Singh, P., & Sharma, A. (2022). Internet of Things-enabled smart monitoring systems: A comprehensive review. *Measurement*, 187, 110288.

- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2017). *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316494196>
- Mohammed, S. A. S., Aluri, A., Duru, K., Venkatachalam, P., Karra, C., & Kalluri, S. (2022). IoT based humidity, temperature, and gas monitoring using Arduino UNO. *ECS Transactions*, 107(1), 6435–6444. <https://doi.org/10.1149/10701.6435ecst>
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Sandak, A., Sandak, J., & Kutnar, A. (2022). Timber structures in harsh environments: Monitoring, durability, and maintenance. *Journal of Building Engineering*, 57, 104873.
- Singh, D., Verma, S., & Gupta, R. (2021). IoT-based environmental monitoring using ESP8266 and DHT22 sensor. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(9), 420–427.