

**PERANCANGAN APLIKASI SISTEM PEMANTAUAN MENGGUNAKAN
FLUOROMETER TERHADAP PENANGGULANGAN TUMPAHAN MINYAK
PADA PERAIRAN KALIMANTAN**
(The Design of Monitoring System Application Using Fluorometer for Oil Spill
Countermeasures in Kalimantan Waters)

Hawila Nadya Putri T. *, Imelda Simarsoit dan Pashakayla Tirza

Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari,
Kota Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia
e-mail: hawilanadya@upi.edu

ABSTRACT

As an archipelago state, Indonesia is one of the most countries rich in marine sources, yet so prone to oil spills from ships. Oil spills have a destructive effect towards saltwater ecosystems, detrimental to the economy, as well as jeopardising human welfare, therefore in order to solve the problem, the author created a novel application for oil spills on salt waters. This research employs a qualitative methodology that is followed by a literature review and SDLC development. The research led to the development of a sensor that uses an Arduino Uno and a fluorometer to detect oil spills in waterways, data received from the sensor will be transferred through a data logger within the application as an alarm to facilitate detection of oil spills on salt water in real time. With this application being utilized by many parties, will result in facilitating the preservation of marine sustainability from oil spills.

Keywords: Application, Fluorometer, Oil Spill, Sensor, Warning System

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara kepulauan kaya akan sumber daya laut, namun rentan terhadap tumpahan minyak dari kapal, tumpahan minyak ini memberikan dampak negatif bagi ekosistem laut, menghambat perekonomian, serta mengancam kesejahteraan manusia oleh sebab itu penulis merancang aplikasi inovatif untuk mendeteksi oil spill pada perairan. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif yang diikuti oleh studi literatur dan pengembangan SDLC untuk pembuatan aplikasi. Penelitian menghasilkan pengembangan sensor yang akan mendeteksi adanya tumpahan minyak pada perairan menggunakan Fluorometer dan Arduino Uno, data yang diperoleh dari sensor akan dikirim oleh data logger ke sebuah aplikasi sebagai notifikasi alarm untuk mempermudah pendeteksian tumpahan minyak di laut secara real time. Dengan adanya aplikasi respons real-time ini untuk digunakan oleh banyak pihak, dapat mempermudah penjagaan kelestarian laut dari tumpahan minyak.

Kata kunci: Aplikasi, Fluorometer, Oil Spill, Sensor, Warning System

PENDAHULUAN

Tumpahan minyak adalah masalah lingkungan yang serius dengan dampak signifikan pada ekosistem laut dan mata pencaharian manusia (Sankaran, 2019). Kapal merupakan penyumbang utama, terutama di jalur pelayaran utama dan daerah maritim beraktivitas tinggi

(Serra-Sogas et al., 2008; Polinov et al., 2021). Tumpahan minyak operasional, yang tidak terkait dengan insiden kapal, juga merupakan ancaman, seringkali muncul karena pelepasan minyak kecil atau air berminyak yang tidak disaring (HELCOM, 2013).

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar, memiliki garis pantai luas dan sumber daya laut melimpah. Namun, negara ini rentan terhadap tumpahan minyak karena faktor seperti kecelakaan kapal tanker, pecahnya pipa, dan pembuangan lambung kapal (Wijaya, 2019). Kalimantan, salah satu wilayah di Indonesia, mengalami masalah serius terkait tumpahan minyak. Sebagai contoh, tumpahan minyak di Teluk Balikpapan pada tahun 2018 disebabkan oleh pipa yang retak yang terhubung ke kilang Pertamina. Lalu lintas padat, khususnya tongkang batubara dari pedalaman Kalimantan, meningkatkan risiko kecelakaan dan tumpahan minyak. Dampak tumpahan minyak telah diteliti secara luas dan diidentifikasi sebagai ancaman serius bagi ekosistem laut, komunitas lokal, dan ekonomi (Samiullah, 1985; Farrington, 2014)

Tumpahan minyak bisa berdampak fatal pada organisme laut, subletal, serta mengganggu migrasi plankton dan ikan (Cohen, 1993; Ribeiro et al., 2021). Selain merusak ekosistem alam, tumpahan minyak juga berpotensi menghambat aktivitas ekonomi di wilayah terkena dampak, serta berdampak pada kesehatan dan kesejahteraan mental manusia (Shultz et al., 2015; Sandifer et al., 2021). Penginderaan jauh adalah teknologi yang digunakan untuk mendeteksi tumpahan minyak, meskipun memiliki keterbatasan (Fingas dan Brown, 2018). Metode yang umum dan ekonomis saat ini adalah menggabungkan gambar radar aperture sintetis (SAR) dari satelit dengan misi pengawasan udara untuk verifikasi (Solberg, 2012; Fingas dan Brown, 2018), dengan sensor SAR yang memiliki cakupan luas dan tahan cuaca.

Selain SAR, teknik penginderaan jauh optik mengumpulkan data dari berbagai spektrum (ultraviolet, cahaya terlihat, dan inframerah dekat) yang bermanfaat untuk mengidentifikasi polusi minyak (Al-Ruzouq et al., 2020). Perangkat sensor seperti radiometer gelombang mikro dan Fluorometer laser di pesawat dapat memberikan data tambahan tentang jenis dan konsentrasi minyak (Solberg, 2012). Mendeteksi tumpahan minyak sangat kompleks, bahkan dengan peralatan udara canggih, karena minyak bisa sangat kecil, tersembunyi di bawah permukaan laut, atau hilang karena penguapan. Pendekatan optik dalam penginderaan satelit memiliki keterbatasan seperti resolusi rendah, pengaruh tutupan awan, dan kondisi laut yang mempengaruhi hasil (Brekke dan Solberg, 2005; Jha et al., 2008; Fingas dan Brown, 2018). Metode penginderaan jarak jauh yang umum, seperti SAR, juga memiliki tantangan khusus, seperti tanda radar yang bisa mirip dengan polusi minyak akibat faktor lain (ganggang, reruntuhan kapal, air dingin, atau film permukaan alami).

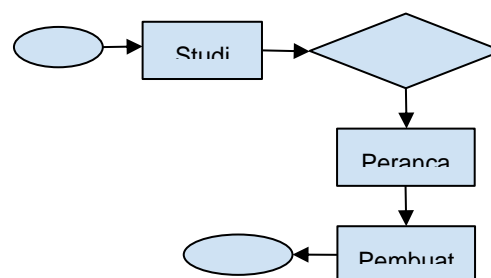
Mendeteksi tumpahan minyak menjadi sulit ketika bercampur dengan organisme seperti plankton atau ikan (Sipelgas dan Uiboupin, 2007; Alpers et al., 2017; Al-Ruzouq et al., 2020). Meskipun cakupan satelit mungkin tidak dapat mendeteksi semua tumpahan minyak, senyawa seperti PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) dapat tetap ditemukan di dalam air setelah tumpahan tidak lagi terlihat di permukaan, yang dapat dideteksi oleh *Fluorometer* di dalam air. Oleh karena itu, sistem deteksi *real-time* tambahan memiliki manfaat besar, dan sensor di lokasi tertentu dapat digunakan untuk verifikasi hasil teknik penginderaan jauh. Salah satu solusi potensial adalah menggunakan fluorometric sensor yang dipasang di platform yang sesuai.

Paper ini bertujuan merancang aplikasi inovatif untuk memfasilitasi tugas *coast guard* pada perairan Kalimantan dalam mendeteksi tumpahan minyak menggunakan fluorometric sensor. Aplikasi ini memungkinkan *coast guard* untuk menerima sinyal dari sensor fluorometric dan mengakses data *real-time* dengan mudah.

METODE PENELITIAN

Artikel ini menggunakan metode penelitian kualitatif, yang didefinisikan oleh beberapa peneliti sebagai pendekatan yang menekankan observasi fenomena, eksplorasi makna dalam fenomena, dan proses penelitian serta interpretasi hasilnya. Metode kualitatif memfokuskan perhatian pada elemen-elemen manusia, objek, dan institusi serta hubungan antara mereka dengan tujuan memahami peristiwa, perilaku, atau fenomena tertentu (Ali dan Yusof, 2011; Basri, 2014; Mohamed, Abdul Majid & Ahmad, 2010).

A. Tahapan Penelitian



Gambar 1.1 Tahapan Penelitian

B. Studi Literatur

Sebelum mengembangkan aplikasi pemantauan dan respons *real-time* dengan sensor *fluorometri* untuk menghadapi tumpahan minyak di perairan Indonesia, dilakukan penelitian literatur yang mencakup pengumpulan makalah ilmiah, analisis topik terkait, dan referensi yang mendukung perancangan aplikasi

tersebut.

C. SDLC

SDLC (*Software Development Life Cycle*) adalah proses sistematis untuk mengembangkan perangkat lunak yang bertujuan untuk menghasilkan sistem berkualitas tinggi yang memenuhi persyaratan yang diinginkan. Adapun enam tahapan SDLC:

- a. Perencanaan: Pada tahap ini, proses pengembangan perangkat lunak dimulai, dan tim pengembangan mengidentifikasi tujuan dan sasaran perangkat lunak.
- b. Requirement Analysis: Pada tahap ini, tim pengembangan menganalisis persyaratan perangkat lunak dan mengidentifikasi fitur dan fungsi yang diperlukan.
- c. Design: Pada tahap ini, tim pengembangan merancang arsitektur perangkat lunak, antarmuka pengguna, dan aliran data.
- d. Pengembangan: Pada tahap ini, tim pengembangan menulis kode dan membangun perangkat lunak.
- e. Testing: Pada tahap ini, tim pengembangan menguji perangkat lunak untuk memastikan bahwa perangkat lunak memenuhi persyaratan dan berfungsi dengan benar.
- f. Pemeliharaan: Pada tahap ini, tim pengembangan memelihara perangkat lunak dengan memperbaiki bug, memperbarui fitur, dan meningkatkan kinerja.

D. Pembuatan Prototype

Metode Prototype adalah cara pengembangan perangkat lunak yang digunakan untuk menunjukkan konsep, menguji rancangan, dan mengidentifikasi masalah dan solusi. Ini memungkinkan interaksi antara pengembang dan pelanggan, dengan tahapan termasuk pengumpulan kebutuhan, perancangan, dan evaluasi prototipe.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Fluorometer

Fluorometer adalah alat untuk mengukur fluoresensi, yaitu cahaya yang

dipancarkan oleh bahan setelah tereksitasi oleh cahaya berenergi tinggi (Morito et al., 1996). Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi molekul dalam suatu medium, dan versi modernnya bisa mendeteksi molekul dengan konsentrasi sekecil 1 bagian per triliun. (Lieberman et al., 1991).

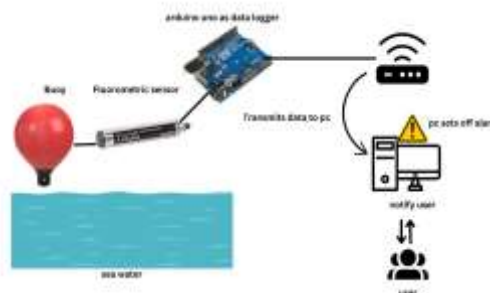
Fluorometer biasanya menggunakan dua sinar, yaitu sinar atas dan sinar bawah, untuk mengurangi noise akibat fluktuasi daya radiasi. Sinar atas melewati filter atau monokromator dan sampel, sementara sinar bawah melewati attenuator dan disesuaikan untuk mencocokkan intensitas fluoresensi sampel. Sumber cahaya fluorometer bergantung pada jenis sampel yang diuji (Morito et al., 1996) . Lampu raksa tekanan rendah adalah sumber cahaya paling umum yang serbaguna, sedangkan lampu busur xenon digunakan untuk radiasi kontinu dan induksi kemiluminesensi dengan spektrum ultraviolet yang sesuai. Lieberman et al., 1991).

Digunakan tiga fluorometer untuk deteksi minyak dan senyawa minyak: UviLux sensitif terhadap berbagai parameter fluoresensi UV, seperti PAH, BTEX, CDOM, TLF, BOD, dan OBA, dengan sensitivitas 0,06 QSU untuk PAH bahan bakar (Tedetti et al., 2010). EnviroFlu-HC 500 khusus untuk mengukur PAH dalam air, dengan batas deteksi 0,3 mikrogram *fenantreno* per liter (Lambert et al., 2003).

Fluorometer Turner Design C3 dilengkapi hingga tiga sensor optik dengan filter eksitasi dan emisi yang tetap. Sensor-sensor tersebut mencakup sensor hidrokarbon, sensor bahan organik terlarut berwarna (CDOM), dan sensor turbiditas (MDL 0,05 NTU) dengan panjang gelombang eksitasi dan emisi pada 850 nm. Tumpahan minyak diidentifikasi sebagai ancaman serius bagi ekosistem laut, komunitas lokal, dan ekonomi (Tedetti et al., 2010).

B. Sistem Rancangan

Prototipe yang dihasilkan dari penelitian memiliki sistem kerja sebagai berikut pada gambar 2.



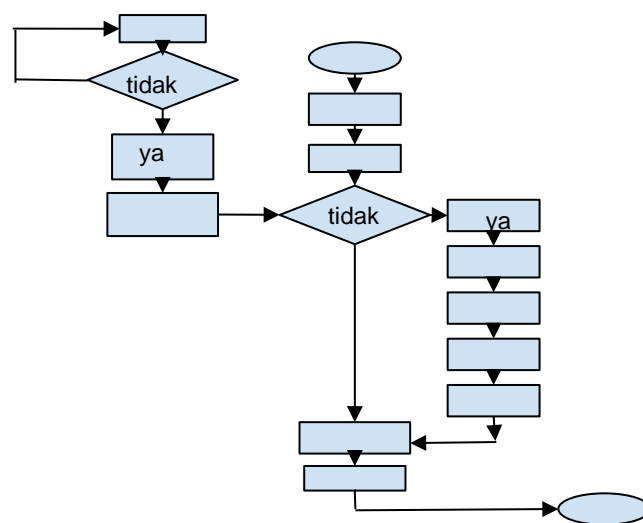
Gambar 2. Gambaran Sistem

Sistem ini menggunakan *Fluorometer* yang terpasang pada buoy di permukaan air sebagai sensor untuk mendeteksi substansi yang mengancam kejernihan air laut. Jika *Fluorometer* mendeteksi substansi seperti minyak, tingkat kekeruhan air diukur dan data-data *real-time* disimpan oleh data logger. Arduino Uno digunakan sebagai data logger, dan perangkat lunak menghubungkan sensor ke PC melalui router untuk mentransmisikan data-data tersebut.

Pada proses transmisi data, Arduino Uno menerjemahkan bahasa mesin ke bahasa yang dimengerti oleh PC melalui aplikasi pemrograman. Ini mempermudah pengguna menerima notifikasi jika ada substansi mencurigakan sebagai tumpahan minyak di perairan tertentu. Ketika sensor *Fluorometer* mendeteksi tingkat kekeruhan air yang tidak normal di suatu titik perairan, *Fluorometer* mengirim data ke data logger bersama koordinat perairan menggunakan modem dan GPS sensor serta mencatat waktu pengukuran sebelum mengirim data ke *server coast guard*. Jika ada tumpahan minyak terdeteksi, alarm pada sistem keamanan pesisir menyala untuk memberi peringatan kepada pihak berwenang, sehingga mereka dapat merespons dengan cepat di perairan Indonesia.

C. Sistem Aplikasi

Dari sistem sensor dan transmisi data yang telah dibuat, maka peneliti merancang sistem aplikasi untuk dapat diakses secara mudah bagi *user* yaitu pihak keamanan yang berpatroli pada pesisir. Sistem aplikasi bagi *user* dapat dilihat dalam bentuk flowchart pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart sistem aplikasi

Sistem aplikasi hanya dapat diakses oleh pegawai (*user*) yang bertanggung jawab atas keamanan pesisir. Oleh sebab itu *user* diminta untuk melakukan *login* pada aplikasi, setelah *user* berhasil masuk ke dalam aplikasi, *user* akan disambut dengan tampilan laman utama (main menu), dari laman utama, *user* dapat mengakses database aplikasi berupa log riwayat tumpahan minyak sebelum-sebelumnya beserta data-data mengenai riwayat tersebut. Namun, jika PC berada di *rest-mode* pada laman utama lalu alarm berbunyi menandakan bahwa telah ditemukan substansi yang dicurigai sebagai *oil spill*, maka *user* dapat mengakses alarm tersebut untuk melihat data yang telah dikirim data logger Arduino Uno berupa tingkatan kekeruhan air, beserta titik koordinat secara *real-time*. Setelah itu *user* dapat membuat laporan untuk memberi tahu penjaga pesisir. Setelah selesai mengakses data dari log baru tumpahan minyak, log baru akan masuk kedalam database dan *user* akan kembali diarahkan ke laman utama. Jika jam operasional telah selesai maka *user* dapat melakukan *logout* demi privasi dan keamanan data log pada aplikasi.

D. Implementasi Aplikasi

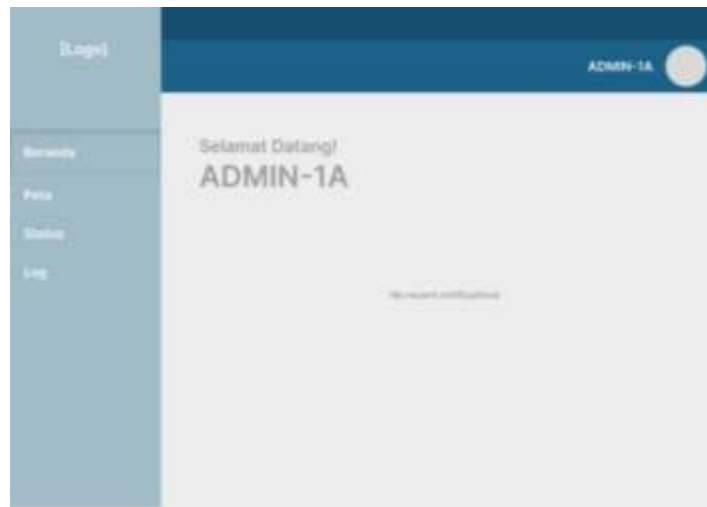
Implementasi dari halaman login aplikasi monitoring pendeteksi *oil spill* menggunakan sensor *Fluorometer* dan Arduino Uno dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini



Gambar 4 Halaman Login Aplikasi

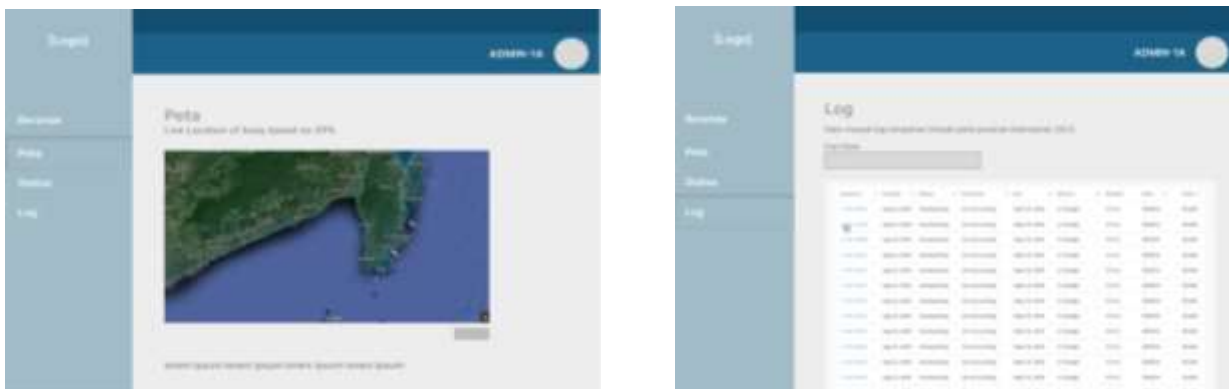
Pada laman login ini *user* akan diminta untuk menginput *username* dan memasukkan *password* yang telah terdaftar pada database untuk mengakses aplikasi secara keseluruhan. Halaman *login* ini berfungsi juga untuk menjaga keamanan dan privasi data-data log *oil spill* yang tersimpan pada database.

Selanjutnya merupakan implementasi dari laman utama aplikasi monitoring pendeteksi *oil spill* atau biasa disebut dengan homepage, ilustrasi laman utama dapat dilihat pada gambar 5



Gambar 5 Home Page Aplikasi

Pada laman utama ini akan ditampilkan *side navigation* bar bagi *user* yang berfungsi untuk memilih perintah apa yang ingin dilihat, bar-bar tersebut antara lain:

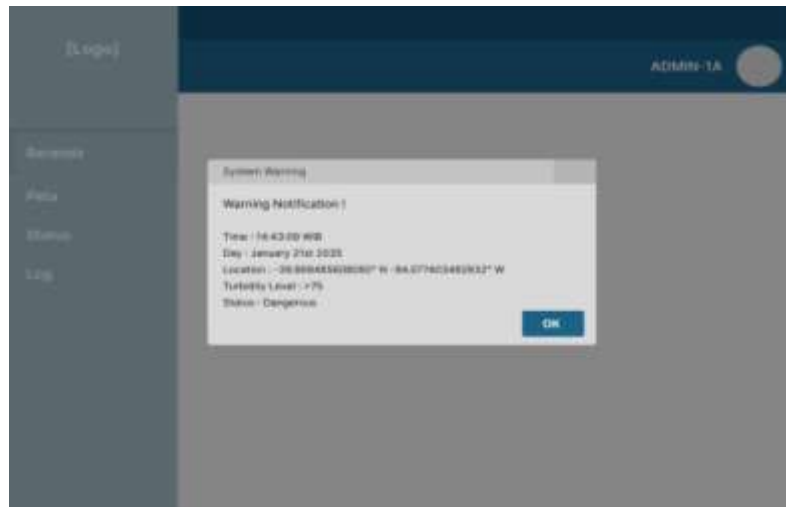


Beranda, Peta, Status dan Log. Pada laman ini juga terdapat Navigation Bar di atas untuk menampilkan akun *user* yang sedang *login* pada aplikasi serta tombol power di ujung yang berfungsi bagi *user* jika jam operasional telah selesai dan akan melakukan *logout* dari aplikasi, jika tidak *logout* maka *user* akan tetap berada pada laman utama aplikasi. Sedangkan implementasi tampilan dari side navigation bar pada laman utama dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini:

Gambar 5.1 Tampilan dari side navigation bar pada laman utama

Implementasi dari alarm atau notifikasi yang muncul ketika sensor mendeteksi

adanya substansi pada air laut dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini



Gambar 6 Implementasi notifikasi *oil spill*

Ketika data logger Arduino menerima data adanya deteksi *oil spill* dari *Fluorometer* berdasarkan tingkat kekeruhan air maka Arduino akan mengirim sinyal menggunakan koneksi Wi-Fi dalam bentuk alarm atau notifikasi sehingga akan muncul tampilan pop-up seperti gambar diatas pada laman utama aplikasi. Pada notifikasi pop-up terdapat beberapa informasi mengenai *oil spill* yang ditemukan seperti waktu deteksi, tingkat kekeruhan, lokasi buoy dalam bentuk titik koordinat, dan status kegentingan.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang dijelaskan pada hasil dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan bahwa aplikasi monitoring pendeteksi *oil spill* yang menggunakan sensor *Fluorometer* dan *Arduino Uno*, dapat diakses oleh pegawai yang bertanggung jawab atas keamanan pesisir dan dilengkapi dengan fitur *login* untuk menjaga keamanan dan privasi data. Aplikasi ini dapat menampilkan data log riwayat tumpahan minyak sebelum-sebelumnya beserta data-data mengenai riwayat tersebut. Aplikasi ini juga dilengkapi dengan fitur alarm atau notifikasi yang muncul ketika sensor mendeteksi adanya substansi pada air laut. Aplikasi ini dapat membantu memberi tahu penjaga pesisir tentang adanya tumpahan minyak dan memudahkan pembuatan laporan. Aplikasi ini memiliki fitur *logout* untuk menjaga privasi dan keamanan data log pada aplikasi. Implementasi dari aplikasi ini meliputi halaman *login*, laman utama, dan notifikasi *oil spill*. Aplikasi ini dapat membantu mengurangi dampak tumpahan

minyak pada ekosistem laut, komunitas lokal, dan ekonomi. Sehingga dapat menjadi salah satu solusi dalam menjaga ekosistem laut di perairan Kalimantan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ruzouq, R., Gibril, M. B. A., Shanableh, A., Kais, A., Hamed, O., Al-Mansoori, S., et al. (2020). *Sensors, features, and machine learning for oil spill detection and monitoring: a review*. *Remote Sens.* 12, 1–42. doi: 10.3390/rs12203338.
- Alpers, W., Holt, B., and Zeng, K. (2017). Oil spill detection by imaging radars: challenges and pitfalls. *Remote Sens. Environ.* 201, 133–147. doi: 10.1016/j.rse.2017.09.002.
- Al-Ruzouq, R., Gibril, M. B. A., Shanableh, A., Kais, A., Hamed, O., Al-Mansoori, S., et al. (2020). *Sensors, features, and machine learning for oil spill detection and monitoring: a review*. *Remote Sens.* 12, 1–42. doi: 10.3390/rs12203338.
- BBC News Indonesia. 2018. “Polisi: Tumpahan minyak di Teluk Balikpapan berasal dari pipa Pertamina” Polisi: Tumpahan minyak di Teluk Balikpapan berasal dari pipa Pertamina - BBC News Indonesia. <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-43640595>. [Diakses pada 4 Oktober 2023]
- Brekke, C., and Solberg, A. H. (2005). Oil spill detection by satellite remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 95, 1–13. doi: 10.1016/j.rse.2004.11.015.
- Binus University. 2020. *Memahami System Development Life Cycle*. <https://accounting.binus.ac.id/2020/05/19/memahami-system-development-life-cycle/> [diakses pada 18 Oktober 2023].
- BSI TODAY. 2022. *Mengenal Metode Prototype Kelebihan Dan Kekurangan*. <https://bsi.today/metode-prototype/> [diakses pada 18 Oktober 2023]
- Cohen, M. J. (1993). *Economic impact of an environmental accident: a time-series analysis of the Exxon Valdez oil spill in southcentral Alaska*. *Sociol. Spectrum* 13, 35–63. doi: 10.1080/02732173.1993.9982016
- Chelsea Technologies Ltd. (2023). UviLux. <https://chelsea.co.uk/products/uvilux/> [diakses pada 20 Oktober 2023]
- Farrington, J. W. (2014). *Oil pollution in the marine environment II: Fates and effects of oil spills*. *Environment* 56, 16–31. doi: 10.1080/00139157.2014.922382.
- Fingas, M., and Brown, C. E. (2018). *A review of oil spill remote sensing*. *Sensors* 18, 1–18. doi: 10.1007/978-1-4939-2493-6_732-4

- HELCOM (2013). Risks of Oil and Chemical Pollution. Technical report, *HELCOM*. Available online at: https://helcom.fi/media/publications/BRISKBRISK-RU_SummaryPublication_spill_of_oil.pdf. [Diakses pada 7 Oktober 2023]
- Jha, M. N., Levy, J., and Gao, Y. (2008). Advances in remote sensing for oil spill disaster management: state-of-the-art sensors technology for oil spill surveillance. *Sensors* 8, 236–255. doi: 10.3390/s8010236.
- Lambert, P., Goldthorp, M., Fieldhouse, B., Wang, Z., Fingas, M., Pearson, L., et al. (2003). Field fluorometers as dispersed oil-in-water monitors. *J. Hazard Mater.* 102, 57–79. doi: 10.1016/S0304-3894(03)00202-4
- Lieberman, S.H., Inman, S.M., and Theriault, G.A., Laser-Induced Fluorescence over Optical Fibers for Real-Time In Situ Measurement of Petroleum Hydrocarbons in Seawater, *Proceedings of Oceans 91*, pp. 509-514, 1991.
- Morito, I. and Takesue, H., Development of a Fiber-Optic Fluorometric Detection System for Oil Spills, *Proceedings of the Nineteenth Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar*, 2, pp. 1237-1245, 1996.
- Mongabay: News and inspiration from nature’s front line. Basten Gokkon. 2018. “Deadly oil spill in eastern Borneo spreads to the open sea” <https://news.mongabay.com/2018/04/deadly-oil-spill-in-eastern-borneo-spreads-to-the-open-sea/>. [Diakses pada 5 Oktober 2023].
- Naja, Sibli. 2021. *Mekanisme Bunker System Untuk Mencegah Terjadinya Pencemaran Pertumpahan Minyak di Kapal Tunda Jayanegara 402*. Universitas Maritim Amni. Semarang.
- Polinov, S., Bookman, R., and Levin, N. (2021). *Spatial and temporal assessment of oil spills in the Mediterranean Sea*. *Mar. Pollut. Bull.* 167:112338. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112338
- Ribeiro, L. C. D. S., Souza, K. B. D., Domingues, E. P., and Magalhães, A. S. (2021). *Blue water turns black: economic impact of oil spill on tourism and fishing in Brazilian Northeast*. *Curr. Issues Tour.* 24, 1042–1047. doi: 10.1080/13683500.2020.1760222.
- Samiullah, Y. (1985). *Biological effects of marine oil pollution*. *Oil Petrochem. Pollut.* 2, 235–264. doi: 10.1016/S0143-7127(85)90233-9.
- Serra-Sogas, N., O’Hara, P. D., Canessa, R., Keller, P., and Pelot, R. (2008). *Visualization of spatial patterns and temporal trends for aerial surveillance of illegal oil discharges in western Canadian marine waters*. *Mar. Pollut. Bull.* 56, 825–833. doi:

10.1016/j.marpolbul.2008.02.005.

- Sankaran, K. (2019). Protecting oceans from illicit oil spills: *environment control and remote sensing using spaceborne imaging radars*. J. Electromag. Waves Appl. 33, 2373–2403.
- Shultz, J. M., Walsh, L., Garfin, D. R., Wilson, F. E., and Neria, Y. (2015). *The 2010 deepwater horizon oil spill: the trauma signature of an ecological disaster*. J. Behav. Health Serv. Res. 42, 58–76. doi: 10.1007/s11414-014-9398-7.
- Sandifer, P. A., Ferguson, A., Finucane, M. L., Partyka, M., Solo-Gabriele, H. M., Walker, A. H., et al. (2021). *Human health and socioeconomic effects of the deepwater horizon oil spill in the gulf of Mexico*. Oceanography 34, 174–191. doi: 10.5670/oceanog.2021.125.
- Solberg, A. H. (2012). *Remote sensing of ocean oil-spill pollution*. Proc. IEEE 100, 2931–2945. doi: 10.1109/JPROC.2012.2196250.
- Sipelgas, L., and Uiboupin, R. (2007). “Elimination of oil spill like structures from radar image using MODIS data,” in International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (Barcelona), 429–431.
- Tedetti, M., Guigue, C., and Goutx, M. (2010). Utilization of a submersible UV fluorometer for monitoring anthropogenic inputs in the Mediterranean. doi: 10.1080/09205071.2019.1685409.
- Wijaya, J. A. (2019). *Upaya Penanganan Pencemaran Minyak Guna Meningkatkan Kinerja Operasional Kapal MT*. Medelin West. Skripsi Sarjana Terapan Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang. Program Studi Nautika Diploma IV.