



Pemanfaatan Teknologi Satelit untuk Monitoring Perubahan Ekosistem Mangrove dan Terumbu Karang

Budi Santoso

Jurusan Oseanografi, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*Corresponding Author: budi.santoso@undip.ac.id

Article History

Manuscript submitted:

02 September 2025

Manuscript revised:

10 October 2025

Accepted for publication:

15 October 2025

Keywords

satellite remote sensing,
mangrove monitoring,
coral reef change,
ecosystem management,
tropical coasts

Abstract

The rapid degradation of coastal ecosystems, particularly mangroves and coral reefs, has become one of the most pressing environmental challenges in tropical regions. Conventional field-based monitoring methods are often limited by high costs, time, and accessibility, especially in remote areas. Satellite technology provides an effective alternative by offering large-scale, continuous, and multi-temporal monitoring of coastal ecosystems. This study aims to evaluate the application of satellite imagery in monitoring changes in mangrove and coral reef ecosystems in tropical regions. A multi-temporal remote sensing approach was employed using high-resolution satellite data, combined with ground truth surveys for validation. Results indicate that satellite technology can accurately detect changes in mangrove cover, identify coral bleaching events, and assess reef health conditions with significant spatial precision. Furthermore, the integration of satellite data with Geographic Information Systems (GIS) enhances ecosystem mapping, temporal trend analysis, and predictive modeling. This study highlights the crucial role of satellite-based monitoring in supporting coastal ecosystem management, conservation planning, and climate change adaptation strategies. The findings suggest that satellite remote sensing is not only efficient but also essential in establishing sustainable management practices for mangroves and coral reefs.

Copyright © 2025, The Author(s)

This is an open access article under the CC BY-SA license



How to Cite: Santoso, B. (2025). Pemanfaatan Teknologi Satelit untuk Monitoring Perubahan Ekosistem Mangrove dan Terumbu Karang. *Journal of Marine Fisheries*, 1(1), 15–21. <https://doi.org/10.70716/marfish.v1i1.87>

Pendahuluan

Perubahan ekosistem pesisir, khususnya hutan mangrove dan terumbu karang, telah menjadi salah satu isu paling krusial dalam kajian kelautan, ekologi, dan lingkungan global. Kedua ekosistem ini dikenal sebagai hotspot keanekaragaman hayati yang menyediakan berbagai layanan ekosistem penting, baik secara ekologis maupun sosial-ekonomi. Mangrove berfungsi sebagai penahan abrasi alami, penyerap karbon dalam jumlah besar, penyedia habitat penting bagi ikan dan biota laut lainnya, serta pendukung produktivitas perikanan pesisir. Selain itu, mangrove juga berperan penting dalam menjaga siklus hidrologi dengan menyaring sedimen dan polutan sebelum masuk ke laut (Alongi, 2020).

Sementara itu, ekosistem terumbu karang merupakan salah satu sistem paling kompleks di laut yang berperan sebagai penopang keanekaragaman hayati laut tropis. Terumbu karang tidak hanya menyediakan habitat bagi lebih dari 25% spesies ikan laut, tetapi juga melindungi garis pantai dari dampak

gelombang besar, badai, dan tsunami. Nilai ekonominya pun sangat signifikan karena mendukung sektor pariwisata bahari, perikanan tangkap, hingga penelitian farmakologi laut (Hughes et al., 2018). Dengan demikian, keberadaan mangrove dan terumbu karang bukan hanya penting bagi keseimbangan ekosistem, tetapi juga vital bagi kesejahteraan jutaan penduduk pesisir di wilayah tropis.

Namun, dalam beberapa dekade terakhir, kedua ekosistem ini menghadapi ancaman serius akibat kombinasi tekanan antropogenik dan perubahan iklim global. Aktivitas manusia, seperti konversi mangrove menjadi tambak, pelabuhan, dan pemukiman, telah mengakibatkan kehilangan tutupan mangrove secara masif di berbagai negara pesisir (Goldberg et al., 2020). Di sisi lain, praktik penangkapan ikan destruktif, pencemaran laut, serta pariwisata yang tidak terkendali mempercepat degradasi ekosistem terumbu karang.

Selain faktor antropogenik, perubahan iklim juga memberikan tekanan tambahan yang signifikan. Peningkatan suhu permukaan laut mengakibatkan pemutihan karang (coral bleaching) yang meluas, sementara kenaikan permukaan laut berpotensi merendam hutan mangrove yang tidak memiliki ruang untuk bermigrasi ke daratan. Perubahan pola curah hujan dan frekuensi badai ekstrem juga memperparah kondisi ini, sehingga menimbulkan kerentanan ganda bagi ekosistem pesisir (Guannel et al, 2016).

Kondisi tersebut menimbulkan konsekuensi ekologis dan sosial-ekonomi yang besar. Kehilangan mangrove dan terumbu karang akan menurunkan produktivitas perikanan, mengurangi kapasitas penyerapan karbon, mempercepat abrasi pantai, serta melemahkan ketahanan masyarakat pesisir terhadap bencana alam. Oleh karena itu, upaya monitoring, konservasi, dan pengelolaan berkelanjutan terhadap ekosistem ini sangat mendesak untuk dilakukan dengan pendekatan ilmiah yang lebih modern, komprehensif, dan berkelanjutan.

Ekosistem mangrove berperan penting dalam mendukung produktivitas pesisir, melindungi garis pantai, dan menjadi sumber mata pencaharian masyarakat. Namun, konversi lahan, penambangan, serta pembangunan pesisir telah mempercepat kehilangan mangrove secara global (Goldberg et al., 2020). Begitu pula dengan terumbu karang yang sangat rentan terhadap peningkatan suhu laut, pencemaran, dan penangkapan ikan berlebih, yang menyebabkan terjadinya pemutihan karang (coral bleaching) secara masif (Hughes et al., 2018).

Upaya monitoring kondisi mangrove dan terumbu karang pada umumnya masih banyak dilakukan melalui survei lapangan. Metode ini memang memiliki keunggulan dari sisi akurasi karena pengamatan langsung memungkinkan peneliti memperoleh data yang detail mengenai kondisi ekosistem, seperti jenis vegetasi, kepadatan tutupan, maupun tingkat kesehatan karang. Selain itu, survei lapangan juga memberikan kesempatan untuk melakukan pengambilan sampel fisik yang dapat dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Namun demikian, pendekatan ini memiliki sejumlah keterbatasan mendasar yang membuatnya kurang efektif jika digunakan sebagai satu-satunya metode monitoring (Asner et al., 2020).

Pertama, survei lapangan membutuhkan biaya operasional yang tinggi, terutama untuk daerah terpencil atau wilayah perairan yang sulit dijangkau. Biaya ini meliputi transportasi, logistik, peralatan penyelaman, hingga tenaga kerja lapangan yang memadai. Kedua, kegiatan ini memerlukan waktu yang relatif lama, karena cakupan wilayah yang bisa diteliti terbatas pada titik-titik sampling tertentu. Akibatnya, data yang diperoleh sering kali bersifat parsial dan tidak mampu merepresentasikan kondisi ekosistem secara menyeluruh. Hal ini menjadi kendala serius dalam memahami dinamika perubahan ekosistem yang bersifat spasial dan temporal luas.

Selain itu, survei lapangan juga memiliki keterbatasan dalam hal keberlanjutan pengamatan. Monitoring jangka panjang untuk mendeteksi perubahan yang berlangsung secara gradual, seperti degradasi mangrove atau proses pemutihan karang, sering kali sulit dilakukan secara konsisten karena faktor keterbatasan dana, sumber daya manusia, dan akses ke lokasi penelitian. Kondisi ini menyebabkan

data yang dihasilkan kadang terfragmentasi, sehingga sulit digunakan untuk analisis komparatif antarwilayah maupun antarwaktu.

Dengan keterbatasan tersebut, pemanfaatan teknologi satelit menjadi solusi penting yang dapat melengkapi, dan dalam beberapa aspek bahkan menggantikan, metode konvensional. Teknologi penginderaan jauh memungkinkan pemantauan ekosistem pesisir dalam skala yang jauh lebih luas, dengan jangkauan spasial dari beberapa kilometer hingga ribuan kilometer. Hal ini memberikan keuntungan dalam menghasilkan peta distribusi dan perubahan ekosistem secara komprehensif, yang sulit dicapai hanya dengan survei lapangan.

Selain keunggulan spasial, teknologi satelit juga memungkinkan pengamatan temporal yang berulang. Data satelit dapat diperoleh secara berkala, mulai dari harian, mingguan, hingga bulanan, sehingga memudahkan dalam melakukan pemantauan jangka panjang. Dengan demikian, perubahan yang terjadi pada ekosistem mangrove dan terumbu karang, baik yang bersifat musiman maupun akibat gangguan mendadak seperti badai atau pencemaran minyak, dapat terdokumentasi dengan lebih sistematis (Blondeau-Patissier et al., 2014).

Lebih jauh, teknologi satelit juga semakin terjangkau seiring perkembangan sensor optik dan radar beresolusi tinggi, seperti Landsat, Sentinel, dan WorldView. Sensor ini memungkinkan analisis detail terhadap kerapatan vegetasi mangrove, pendeteksian kerusakan karang, serta pemetaan sebaran sedimen atau polusi di perairan pesisir. Dengan integrasi data satelit dan ground truth dari lapangan, hasil monitoring dapat menjadi lebih akurat sekaligus efisien. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi satelit menjadi langkah strategis untuk mendukung konservasi dan pengelolaan ekosistem pesisir secara berkelanjutan.

Teknologi satelit telah berkembang pesat dalam dua dekade terakhir, dengan ketersediaan citra resolusi tinggi dan multi-spektral yang memungkinkan analisis detail terhadap ekosistem pesisir. Beberapa penelitian telah menunjukkan efektivitas satelit dalam mendeteksi perubahan tutupan mangrove, menilai kesehatan karang, hingga memantau fenomena pemutihan (Chen et al., 2020).

Namun demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait integrasi data satelit dengan verifikasi lapangan serta pemodelan prediktif yang dapat digunakan dalam pengambilan kebijakan. Hal ini menjadi penting mengingat informasi yang akurat sangat dibutuhkan untuk pengelolaan adaptif di tengah tekanan perubahan iklim global (Klemas, 2019).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan teknologi satelit dalam monitoring perubahan ekosistem mangrove dan terumbu karang, dengan fokus pada efektivitas, keterbatasan, dan peluang pengembangan lebih lanjut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengelolaan sumber daya pesisir yang berkelanjutan.

Dengan demikian, artikel ini akan membahas penggunaan teknologi satelit dalam mengamati perubahan ekosistem mangrove dan terumbu karang, meliputi metodologi penelitian, hasil analisis, serta implikasi bagi konservasi dan manajemen ekosistem pesisir.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berbasis data penginderaan jauh. Lokasi penelitian difokuskan pada kawasan pesisir tropis di Indonesia, khususnya wilayah Nusa Tenggara Barat, yang memiliki ekosistem mangrove dan terumbu karang yang luas. Data utama berupa citra satelit Sentinel-2 dan Landsat 8 dengan resolusi spasial 10–30 m. Analisis dilakukan dengan metode klasifikasi tutupan lahan berbasis algoritma supervised classification dan indeks spektral seperti NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) untuk mangrove serta Benthic Habitat Index (BHI) untuk terumbu karang. Validasi dilakukan melalui survei lapangan menggunakan GPS dan pengamatan langsung pada titik sampel

yang dipilih secara acak. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan ENVI, serta dibandingkan dengan literatur terdahulu untuk memperkuat interpretasi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis citra satelit menunjukkan adanya penurunan tutupan mangrove sebesar 8% dalam kurun waktu lima tahun terakhir di wilayah studi. Penurunan ini paling signifikan terjadi pada area pesisir yang berdekatan dengan kawasan budidaya tambak dan pemukiman baru. Pola konversi lahan tersebut memperlihatkan bahwa aktivitas manusia masih menjadi faktor dominan yang mengancam keberlanjutan ekosistem mangrove. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Goldberg et al. (2020), yang menyatakan bahwa faktor antropogenik, seperti ekspansi tambak udang dan pembangunan infrastruktur pesisir, merupakan penyebab utama degradasi mangrove di kawasan tropis. Penurunan tutupan mangrove ini bukan hanya berdampak pada hilangnya habitat biota laut, tetapi juga menurunkan kapasitas pesisir dalam menahan abrasi, menstabilkan sedimen, dan menyerap karbon dalam jumlah besar. Dengan demikian, hilangnya 8% tutupan mangrove dapat membawa implikasi signifikan terhadap keseimbangan ekologis dan ketahanan sosial-ekonomi masyarakat pesisir.

Selain itu, hasil pengamatan citra satelit juga menunjukkan bahwa laju penurunan mangrove tidak merata. Beberapa wilayah dengan regulasi perlindungan yang ketat masih menunjukkan stabilitas tutupan vegetasi, sementara daerah tanpa pengawasan intensif mengalami degradasi lebih cepat. Hal ini mengindikasikan pentingnya tata kelola pesisir yang berbasis pada regulasi lingkungan yang tegas dan pengawasan yang konsisten. Studi serupa oleh Richards & Friess (2016) juga menemukan bahwa kebijakan zonasi pesisir dan keterlibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan mangrove berperan besar dalam menekan laju kerusakan ekosistem tersebut. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan bahwa teknologi satelit tidak hanya mampu mendeteksi perubahan spasial secara detail, tetapi juga dapat digunakan sebagai alat evaluasi kebijakan konservasi.

Pada ekosistem terumbu karang, hasil interpretasi citra satelit memperlihatkan adanya peningkatan luas area yang mengalami pemutihan karang (coral bleaching) sebesar 12% sejak tahun 2019. Peningkatan suhu laut akibat anomali iklim El Niño menjadi faktor utama yang memicu fenomena ini, sebagaimana juga dilaporkan oleh Hughes et al. (2018). Citra satelit dengan resolusi menengah hingga tinggi mampu mendeteksi perubahan reflektansi karang yang mengindikasikan kehilangan zooxanthellae, sehingga proses pemutihan dapat teridentifikasi meskipun terjadi pada skala spasial yang luas. Hal ini membuktikan bahwa teknologi satelit memberikan kontribusi besar dalam memantau fenomena yang sulit dijangkau oleh survei lapangan secara menyeluruh.

Lebih lanjut, hasil analisis spasial menunjukkan bahwa pemutihan karang lebih banyak terjadi pada kawasan perairan dangkal dengan intensitas cahaya tinggi dan pada lokasi yang berdekatan dengan sumber pencemaran daratan. Faktor kombinasi antara kenaikan suhu laut dan tekanan lokal seperti pencemaran nutrisi dari aktivitas pertanian memperparah kondisi kesehatan karang. Temuan ini sejalan dengan penelitian Fabricius (2005), yang menegaskan bahwa kualitas air pesisir merupakan faktor krusial dalam menentukan ketahanan karang terhadap tekanan iklim global. Dengan demikian, monitoring berbasis satelit tidak hanya mendeteksi pola pemutihan secara geografis, tetapi juga membuka peluang untuk mengidentifikasi keterkaitan antara faktor iklim dan faktor antropogenik dalam kerusakan ekosistem terumbu karang.

Selain itu, tren pemutihan karang sebesar 12% ini memberikan peringatan dini bahwa ekosistem terumbu karang di wilayah tropis semakin rentan terhadap perubahan iklim. Jika tidak dilakukan upaya mitigasi global untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, frekuensi dan intensitas pemutihan karang diprediksi akan semakin meningkat dalam dua dekade mendatang. Temuan ini sejalan dengan proyeksi IPCC (2021), yang memperkirakan bahwa lebih dari 70–90% terumbu karang tropis akan terancam hilang

pada tahun 2050 jika suhu bumi terus meningkat di atas 1,5°C. Oleh karena itu, data satelit berfungsi tidak hanya sebagai instrumen monitoring, tetapi juga sebagai dasar ilmiah untuk merancang strategi adaptasi ekosistem pesisir di era perubahan iklim.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi satelit mampu menghasilkan informasi kuantitatif dan spasial yang komprehensif mengenai dinamika ekosistem mangrove dan terumbu karang. Temuan ini memperlihatkan potensi besar teknologi penginderaan jauh dalam mendukung kebijakan konservasi, pengelolaan pesisir, serta program adaptasi perubahan iklim berbasis ekosistem. Dengan integrasi data satelit, survei lapangan, dan partisipasi masyarakat, upaya konservasi dapat diarahkan lebih efektif dan berbasis pada bukti ilmiah yang kuat.

Integrasi data satelit dengan sistem informasi geografis (GIS) terbukti mampu memberikan pemetaan spasial yang lebih detail dan komprehensif terhadap kondisi ekosistem mangrove dan terumbu karang. Melalui pendekatan ini, wilayah pesisir dapat dipetakan secara lebih akurat sehingga area yang mengalami degradasi maupun area yang masih relatif sehat dapat diidentifikasi dengan jelas. Informasi ini sangat penting untuk menetapkan area prioritas konservasi, baik untuk perlindungan jangka panjang maupun untuk program rehabilitasi ekosistem pesisir. Selain itu, hasil pemetaan berbasis satelit dan GIS juga dapat mendukung proses perencanaan tata ruang wilayah pesisir, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan peningkatan tekanan pembangunan.

Meskipun teknologi satelit menawarkan cakupan spasial yang luas dan monitoring temporal yang berulang, keterbatasan tetap ada, khususnya dalam mendeteksi detail pada wilayah dengan tutupan awan tebal, kedalaman laut tertentu, atau resolusi spasial sensor yang masih rendah. Oleh karena itu, kombinasi antara data satelit dengan survei lapangan menjadi strategi yang paling ideal. Survei lapangan tetap diperlukan untuk melakukan validasi (ground truth) sehingga akurasi hasil monitoring dapat ditingkatkan. Dengan cara ini, keunggulan teknologi satelit dalam cakupan luas dapat melengkapi detail empiris dari hasil pengamatan lapangan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi satelit merupakan pendekatan yang efektif, efisien, dan sangat krusial dalam monitoring perubahan ekosistem mangrove dan terumbu karang. Teknologi ini mampu menyediakan data berbasis bukti yang dapat dijadikan landasan bagi penyusunan kebijakan konservasi, pengelolaan pesisir, serta strategi adaptasi perubahan iklim yang lebih tepat sasaran. Tidak hanya itu, data satelit juga berpotensi digunakan sebagai instrumen evaluasi terhadap efektivitas kebijakan lingkungan yang telah diterapkan, misalnya kebijakan zonasi pesisir atau kawasan konservasi laut.

Lebih jauh, implikasi penelitian ini tidak hanya terbatas pada aspek ilmiah, tetapi juga pada aspek sosial dan ekonomi masyarakat pesisir. Informasi spasial yang akurat mengenai kondisi mangrove dan terumbu karang dapat membantu masyarakat lokal, pemerintah daerah, serta lembaga swadaya masyarakat dalam merancang program pemberdayaan berbasis ekosistem. Misalnya, hasil monitoring dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi potensial pengembangan ekowisata, kawasan perikanan berkelanjutan, maupun area rehabilitasi mangrove yang melibatkan partisipasi masyarakat. Dengan demikian, teknologi satelit tidak hanya berperan dalam konservasi ekologi, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat pesisir.

Penelitian ini juga membuka ruang bagi pengembangan metode yang lebih maju di masa mendatang. Integrasi data satelit dengan kecerdasan buatan (artificial intelligence) dan model prediktif berbasis machine learning berpotensi menghasilkan analisis yang lebih akurat dan real-time dalam memantau perubahan ekosistem. Di samping itu, kolaborasi antara peneliti, pemerintah, dan komunitas lokal akan menjadi kunci dalam memastikan bahwa data satelit dapat benar-benar dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan.

Dengan demikian, temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam literatur ilmiah mengenai pengelolaan ekosistem pesisir di era digital. Pemanfaatan teknologi satelit tidak hanya

meningkatkan kapasitas monitoring, tetapi juga memperkuat fondasi ilmiah dalam pengambilan keputusan. Rekomendasi utama dari penelitian ini adalah perlunya investasi berkelanjutan pada teknologi satelit, peningkatan kualitas data resolusi tinggi, serta penguatan kapasitas sumber daya manusia dalam menganalisis data spasial. Langkah-langkah tersebut akan memastikan bahwa pemanfaatan teknologi satelit dapat terus berkembang menjadi instrumen vital dalam menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove dan terumbu karang di wilayah tropis.

Kesimpulan

Teknologi satelit terbukti efektif dalam memantau perubahan ekosistem mangrove dan terumbu karang dengan cakupan spasial yang luas dan ketepatan temporal yang baik. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan tutupan mangrove dan peningkatan kejadian pemutihan karang di wilayah studi, yang selaras dengan temuan penelitian global. Integrasi data satelit dengan GIS memberikan nilai tambah dalam analisis spasial dan perencanaan konservasi. Namun, keterbatasan teknis tetap menjadi tantangan yang perlu diatasi dengan kombinasi metode penginderaan jauh dan survei lapangan. Penelitian ini menekankan pentingnya pemanfaatan teknologi satelit sebagai strategi adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim dalam pengelolaan ekosistem pesisir secara berkelanjutan.

References

- Aljahdali, M. O., Munawar, S., & Khan, W. R. (2021). Monitoring mangrove forest degradation and regeneration: Landsat time series analysis of moisture and vegetation indices at Rabigh Lagoon, Red Sea. *Forests*, 12(1), 52.
- Alongi, D. M. (2020). Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. *Sci*, 2(3), 67. <https://doi.org/10.1126/science.aba6736>
- Asner, G. P., Vaughn, N. R., Heckler, J., Knapp, D. E., Balzotti, C., Shafron, E., ... & Gove, J. M. (2020). Large-scale mapping of live corals to guide reef conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(52), 33711–33718. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1153-2>
- Bunting, P., et al. (2018). The Global Mangrove Watch—A new 2010 global baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, 10(10), 1669. <https://doi.org/10.3390/rs10101669>
- Chen, H., Cheng, L., & Zhang, K. (2025). Bathymetry-guided multi-source remote sensing image domain adaptive coral reef benthic habitat classification. *GIScience & Remote Sensing*, 62(1), 2471193.
- Giri, C. (2016). Observation and monitoring of mangrove forests using remote sensing: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 8(9), 783.
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*, 26(10), 5844–5855. <https://doi.org/10.1111/gcb.15275>
- Guannel, G., Arkema, K., Ruggiero, P., & Verutes, G. (2016). The power of three: coral reefs, seagrasses and mangroves protect coastal regions and increase their resilience. *PLOS ONE*, 11(7), e0158094.
- Hedley, J. D., Roelfsema, C. M., Chollett, I., Harborne, A. R., Heron, S. F., Weeks, S. J., ... & Mumby, P. J. (2016). Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: a review. *Remote Sensing*, 8(2), 118.
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Baird, A. H., Connolly, S. R., Dietzel, A., Eakin, C. M., ... & Torda, G. (2018). Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, 556(7702), 492–496. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0041-2>
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2017). Mapping and monitoring wetlands using Sentinel-2 satellite imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 271–277.
- Klemas, V. V. (2009). Remote sensing of coastal resources and environment. *Environmental Research, Engineering and Management*, 48(2), 11–18. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-18-00078.1>

-
- Lu, Y., & Wang, L. (2022). The current status, potential and challenges of remote sensing for large-scale mangrove studies. *International Journal of Remote Sensing*, 43(18), 6824–6855.
- Nguyen, T., Lique, B., Mengersen, K., & Sous, D. (2021). Mapping of coral reefs with multispectral satellites: A review of recent papers. *Remote Sensing*, 13(21), 4470.
- Richards, D. R., & Friess, D. A. (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia. *PNAS*, 113(2), 344–349. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>