

Pengantar Bioteknologi Kelautan dan Digitalisasi

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Project: 101129136 — SustainaBlue — ERASMUS-EDU-2023-CBHE



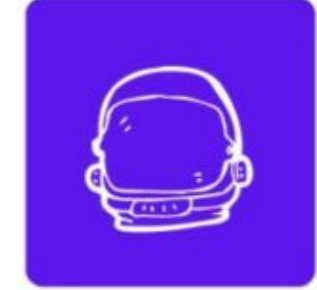
Co-funded by
the European Union

MITRA PROYEK

Malaysia



Indonesia



Yunani



Siprus



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Project: 101129136 — SustainaBlue — ERASMUS-EDU-2023-CBHE



Daftar Isi

- 01 Ringkasan
- 02 Pendahuluan
- 03 Digitalisasi dalam Industri Kelautan
- 04 Pengumpulan dan Analisis Data Kelautan
- 05 Digitalisasi Kelautan dan Bioteknologi
- 06 Sistem Informasi Geografis (SIG)
- 07 Bibliografi – Bacaan Lanjutan



Ringkasan

Bioteknologi kelautan semakin mendapat perhatian global karena potensinya dalam mengatasi perubahan iklim, ketahanan pangan, dan pembangunan berkelanjutan. Pemerintah semakin melibatkan bioteknologi kelautan ke dalam strategi nasional untuk inovasi dan pertumbuhan ekonomi. Di saat yang sama, teknologi digital seperti AI, bioinformatika, penginderaan jauh, dan *digital twins* sedang mentransformasi bidang ini dengan memungkinkan penelitian yang lebih cepat dan lebih presisi serta pemantauan ekosistem laut secara *real-time*. Perangkat-perangkat tersebut meningkatkan akuakultur, meningkatkan analisis genetik, dan mendukung pemanfaatan sumber daya yang berkelanjutan. Integrasi digitalisasi memastikan bahwa bioteknologi kelautan berkembang dengan cara yang tidak hanya inovatif dan efisien, tetapi juga bertanggung jawab terhadap lingkungan dan berkelanjutan.



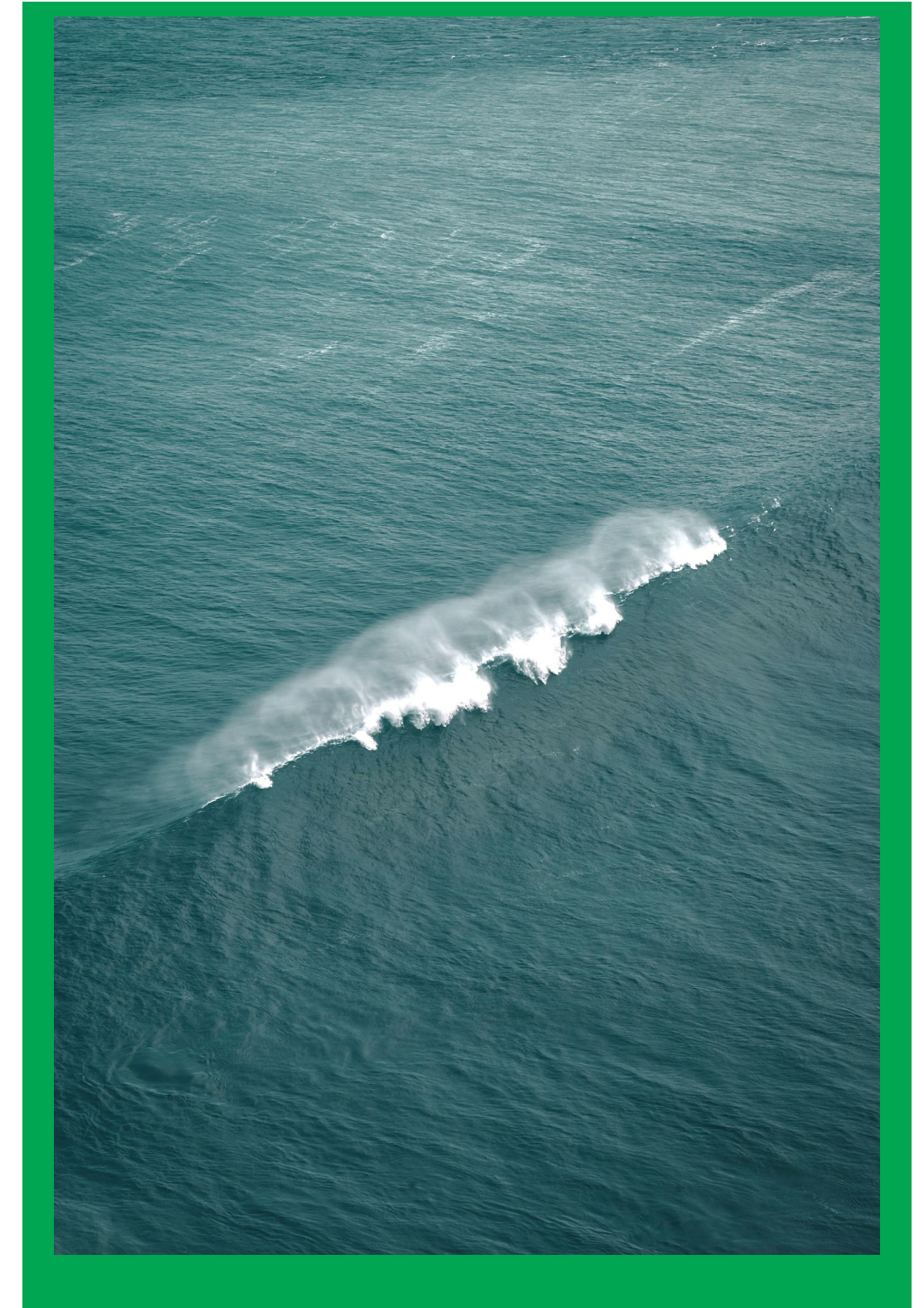
Pendahuluan

Tujuan:

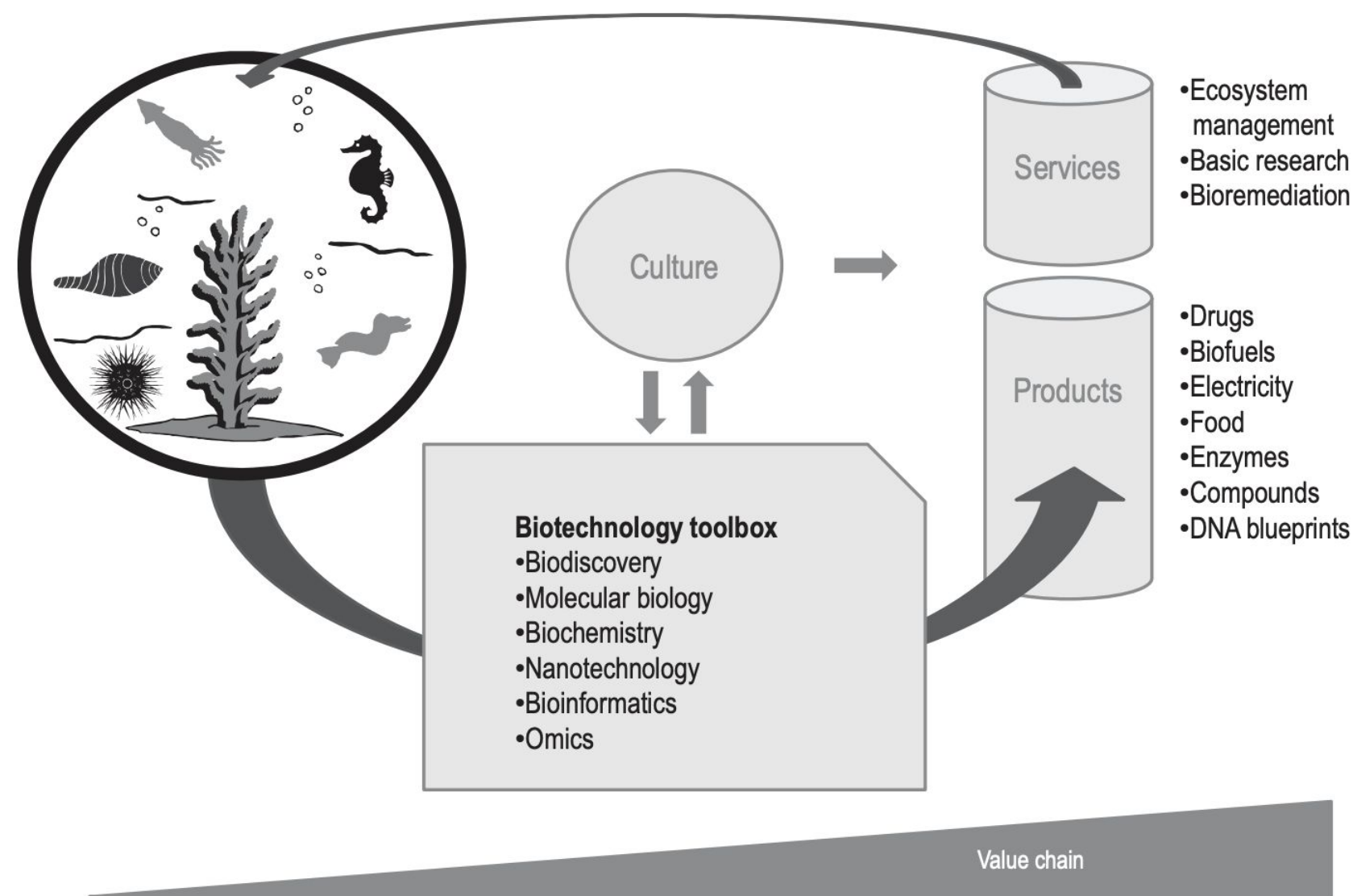
- Menganalisis aplikasi bioteknologi laut dalam ekonomi biru (bioplastik).
- Menerapkan GIS untuk menilai keanekaragaman hayati dan sumber daya laut.

Capaian Pembelajaran:

- (CLO1) – Menjelaskan prinsip dan inovasi dalam bioteknologi kelautan dan relevansinya dengan keanekaragaman hayati dan ekonomi biru.
- (CLO2) – Menganalisis penggunaan alat digital seperti GIS dan teknologi omik dalam mengeksplorasi dan mengelola sumber daya hayati laut.



Pendahuluan



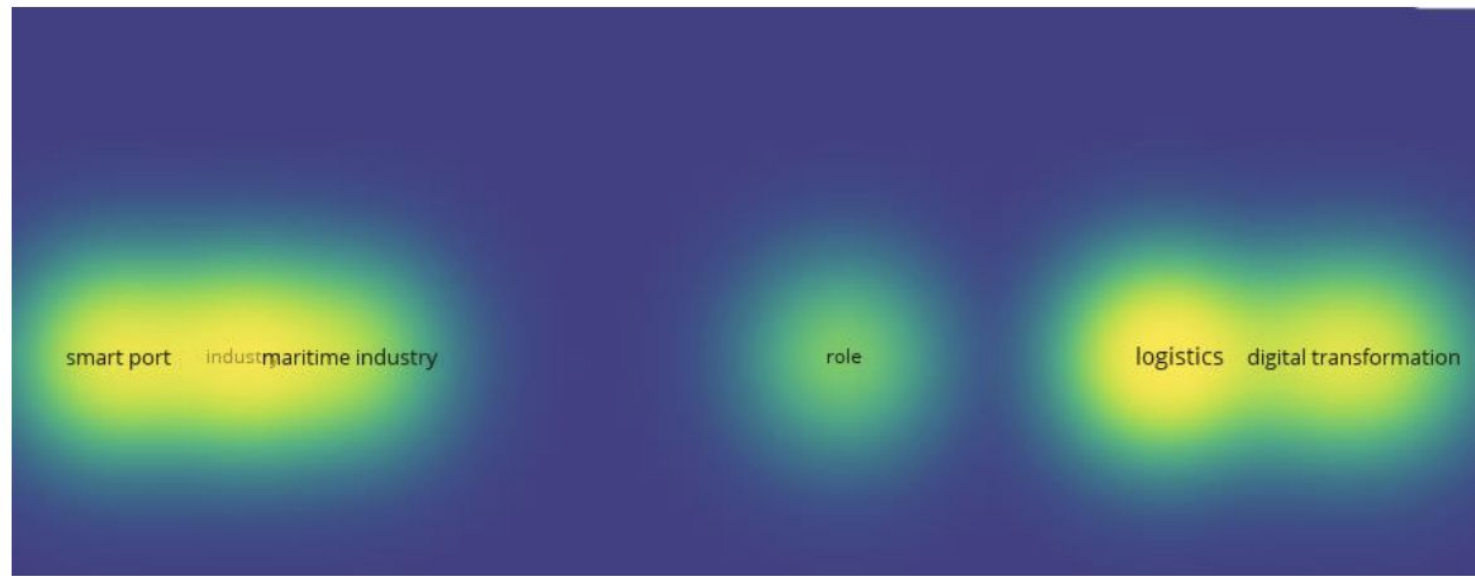
[ESF 2010 in OECD 2013]

Dalam 60 tahun terakhir, bioteknologi telah menghasilkan beberapa kemajuan penting di bidang kedokteran, kosmetik, nutrasetikal (produk suplemen kesehatan), produksi pangan, dan aplikasi industri seperti *biorefining*. Aplikasi bioteknologi kelautan juga sangat luas, seperti produksi pangan dan biofuel (bioteknologi pertanian), pengembangan obat baru (bioteknologi kesehatan), pengembangan material baru (bioteknologi industri), dan pengembangan teknologi bioremediasi (bioteknologi lingkungan).

Hal ini menunjukkan bahwa bioteknologi kelautan dapat membantu mengatasi tantangan global terkait pangan, ketahanan bahan bakar, kesehatan penduduk, dan proses industri berkelanjutan. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini telah meningkatkan minat terhadap bioteknologi kelautan sebagai sumber inovasi dan pertumbuhan ekonomi baru.



Digitalisasi dalam Industri Kelautan



Frekuensi Topik yang Paling Banyak Dibahas dalam Penelitian
Kelautan Tahun 2015–2024
[Yusuf & Syaifullah 2025]

Catatan:
Semakin besar ukuran topik dalam visualisasi, semakin tinggi
frekuensi kemunculannya dalam publikasi yang dianalisis.



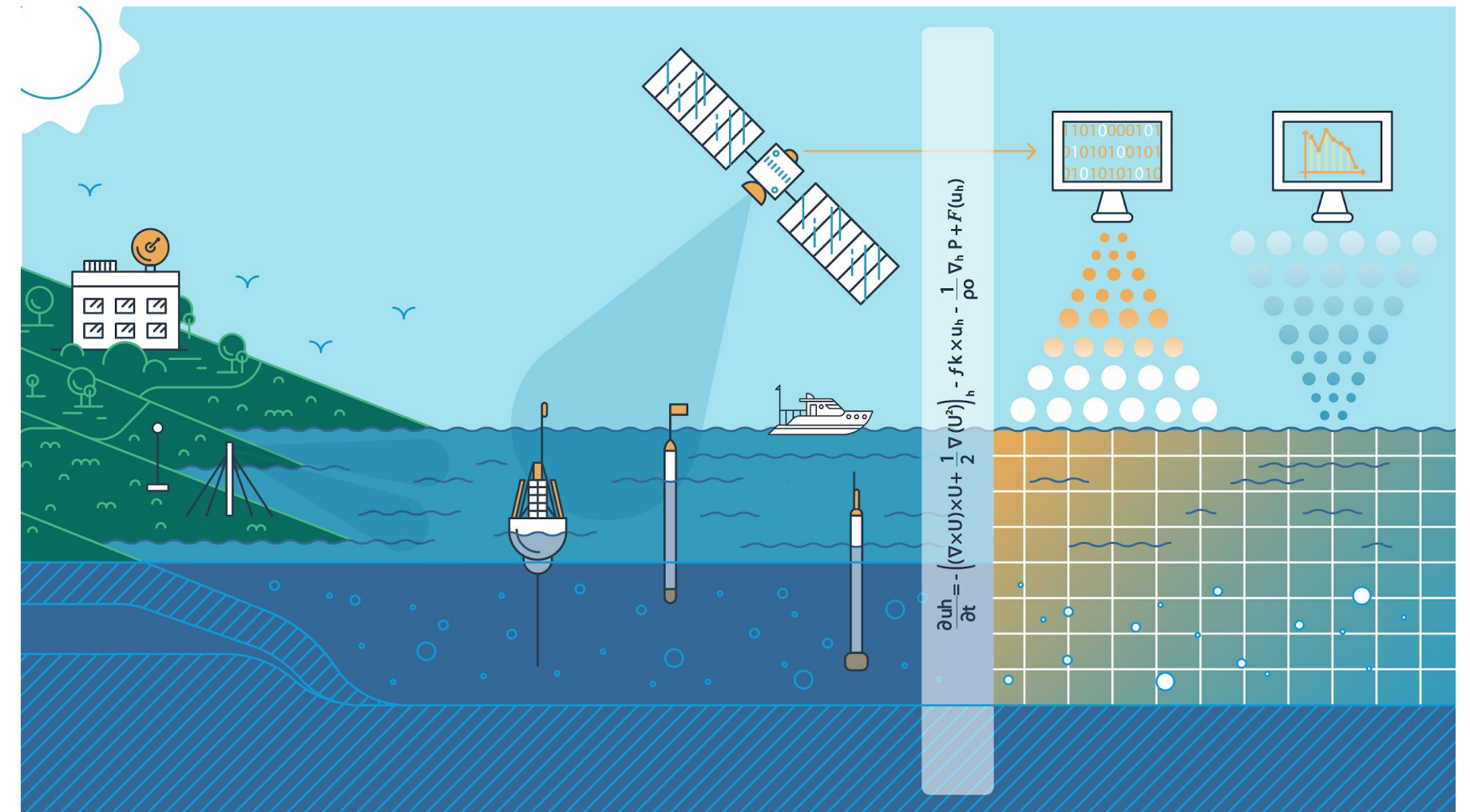
Digitalisasi dalam industri kelautan mengacu pada integrasi teknologi digital ke dalam operasi, riset, dan manajemen. Penerapannya dapat meningkatkan efisiensi kegiatan produksi kelautan dan mengurangi pemborosan sumber daya. Misalnya, *intelligent fishing systems* yang dikombinasikan dengan analisis data waktu nyata (*real-time*) dapat memantau kondisi sumber daya perikanan secara akurat, mencapai pengelolaan berkelanjutan, dan memanfaatkan sumber daya perikanan secara rasional sehingga mendorong pembangunan ekonomi kelautan yang ramah lingkungan.

Di sisi lain, dengan membangun sistem pemantauan yang canggih, teknologi digital meningkatkan kemampuan pengawasan dan evaluasi langsung terhadap lingkungan laut, memfasilitasi deteksi dini dan respons terhadap masalah lingkungan seperti polusi dan pengasaman laut.

Pengumpulan Data di Lingkungan Laut

Pengumpulan data lingkungan laut terdiri dari parameter-parameter:

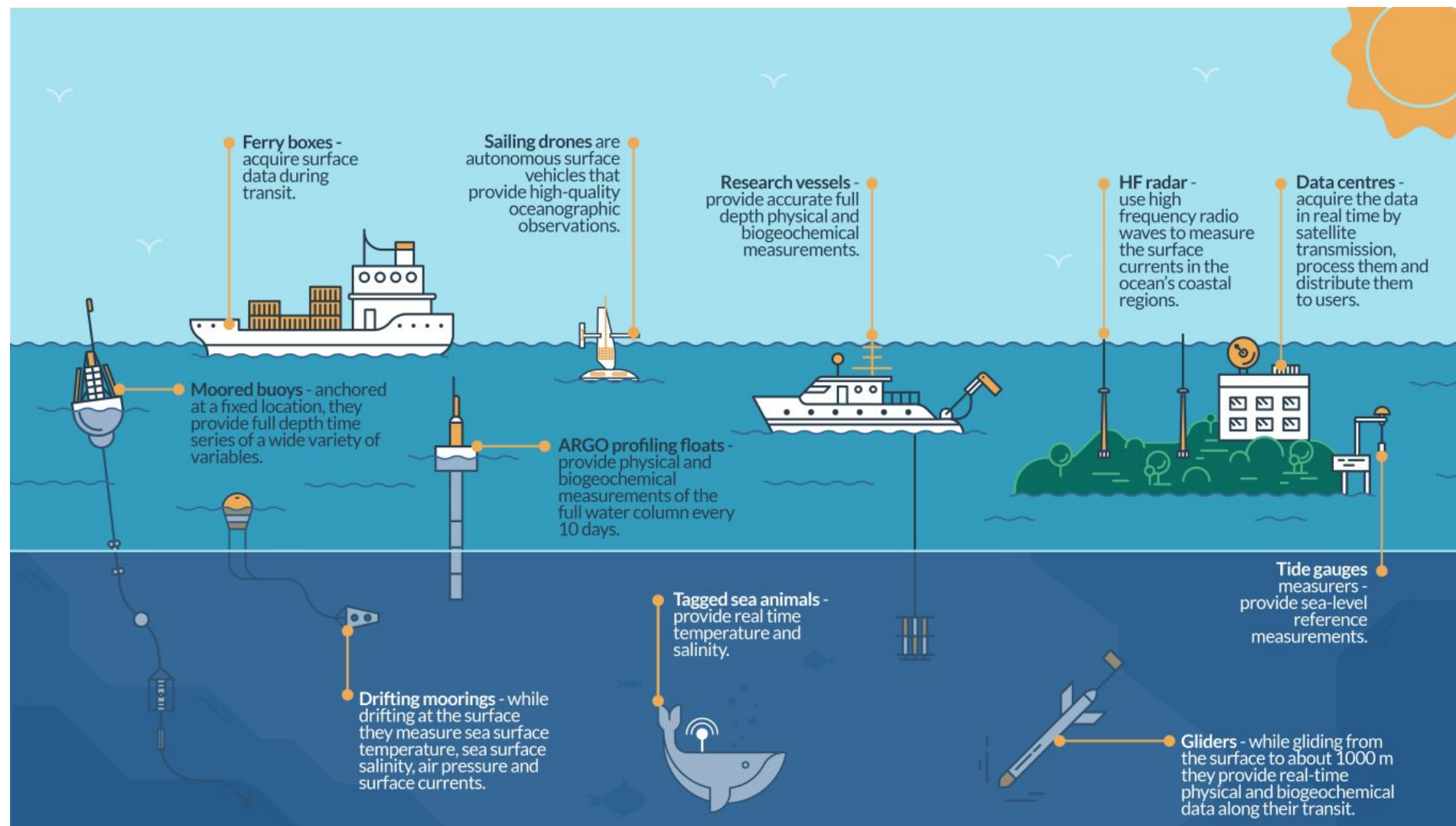
1. **1.Parameter Fisik** : suhu, salinitas, kedalaman, gelombang, arus, lapisan es dan ketebalannya
2. **2.Parameter Kimia** : tingkat pH, oksigen terlarut, tingkat karbon dioksida, nutrisi
3. **3.Parameter Biologi** : komposisi dan kelimpahan spesies, pemetaan habitat, klorofil
4. **4.Parameter Geologi dan Geofisika** : Pemetaan dasar laut, aktivitas tektonik, komposisi dan ketebalan sedimen, serta data magnetik.



[<https://marine.copernicus.eu/explainers/operational-oceanography/monitoring-forecasting>]



Pengumpulan Data di Lingkungan Laut



[<https://marine.copernicus.eu/explainers/operational-oceanography/monitoring-forecasting/in-situ>]



Pengumpulan Data In Situ

Data yang dikumpulkan langsung dari laut menggunakan berbagai jenis instrumen dan *platform*. Metode tersebut menghasilkan data dengan akurasi dan keandalan tinggi. Selain itu, metode tersebut juga menangkap perubahan temporal di lokasi.

Tambatan, pelampung, dan alat ukur pasang surut mengumpulkan data permukaan dan bawah permukaan laut seperti kecepatan angin, suhu, ketinggian air, dll. Sensor-sensor tersebut dapat digunakan untuk deteksi dini tsunami, prakiraan cuaca, dan navigasi laut. Namun, pemasangan dan pemeliharaan platform in situ dapat mahal, memakan waktu, bergantung pada cuaca, dan terbatas secara spasial. Oleh karena itu, pengumpulan data ex-situ digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini.

Pengumpulan Data di Lingkungan Laut

Pengumpulan Data Ex Situ

Data yang dikumpulkan dari lingkungan laut disimpan di laboratorium dan fasilitas terkendali. Metode ini memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis dan eksperimen terperinci dalam kondisi terkendali.

Misalnya, air, sedimen, atau organisme laut (seperti alga atau mikroba) dapat dikumpulkan dari laut dan dibawa ke laboratorium untuk pengujian kimia, biologi, atau genetik. Dalam bioteknologi kelautan, metode eks-situ sangat penting untuk membudidayakan mikroorganisme laut, menganalisis urutan DNA, dan menguji reaksi terhadap berbagai kondisi lingkungan (misalnya, suhu atau pH).

Bentuk lain dari pengumpulan data eks-situ adalah penginderaan jauh, yang mengumpulkan data dari jarak jauh menggunakan satelit, drone, atau pesawat terbang. Pengumpulan data eks-situ memungkinkan analisis dan manipulasi variabel dengan presisi tinggi, yang sulit dicapai secara in situ. Namun, metode ini mungkin tidak sepenuhnya mereplikasi kompleksitas lingkungan laut alami. Oleh karena itu, metode ini sering digunakan untuk melengkapi data in-situ guna mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang sistem kelautan.



[Alshareef, Elbeshehy & Alshehri 2021]

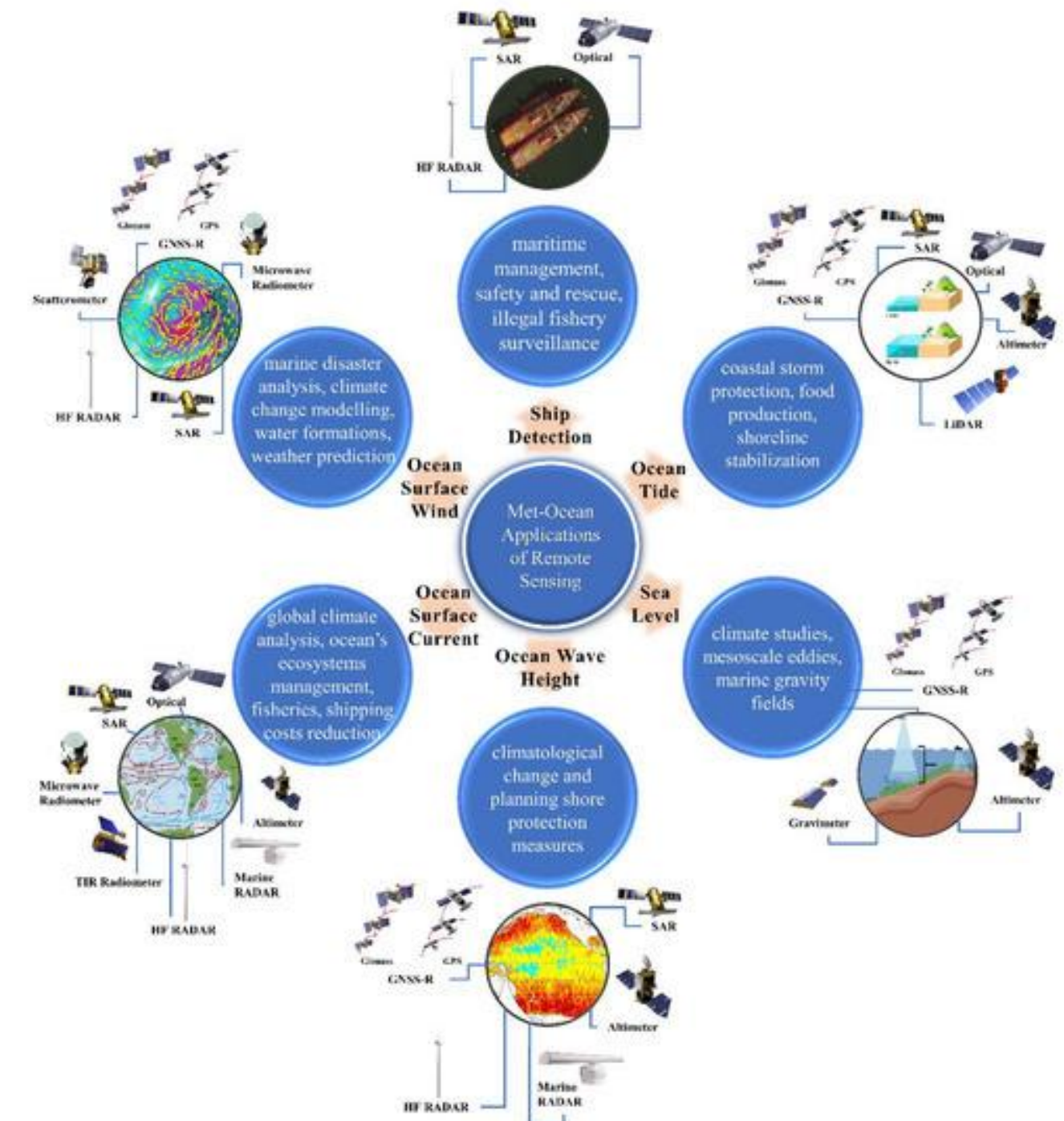


Pengumpulan Data di Lingkungan Laut

Penginderaan Jauh Satelit

Keunggulan utamanya adalah cakupan wilayah yang luas, resolusi temporal dan spasial yang beragam, serta biaya data turunan yang rendah. Sensor pasif digunakan untuk mendapatkan parameter seperti warna laut, batimetri, dan topografi permukaan laut. Misalnya, TIR (*Thermal infrared sensors/sensor inframerah termal*) dapat memberikan data suhu permukaan laut/*sea surface temperature* (SST) dan pengamatan satelit warna laut.

Sensor aktif, seperti *Synthetic Aperture Radar* (SAR), memiliki kemampuan pencitraan siang dan malam serta beroperasi di segala kondisi cuaca. Sensor ini telah digunakan untuk mendeteksi berbagai hal, seperti tumpahan minyak, polusi plastik, dan kapal di lautan.



[Amani et al. 2022]

(Amani et al. 2022; Haupt et al. 2022)

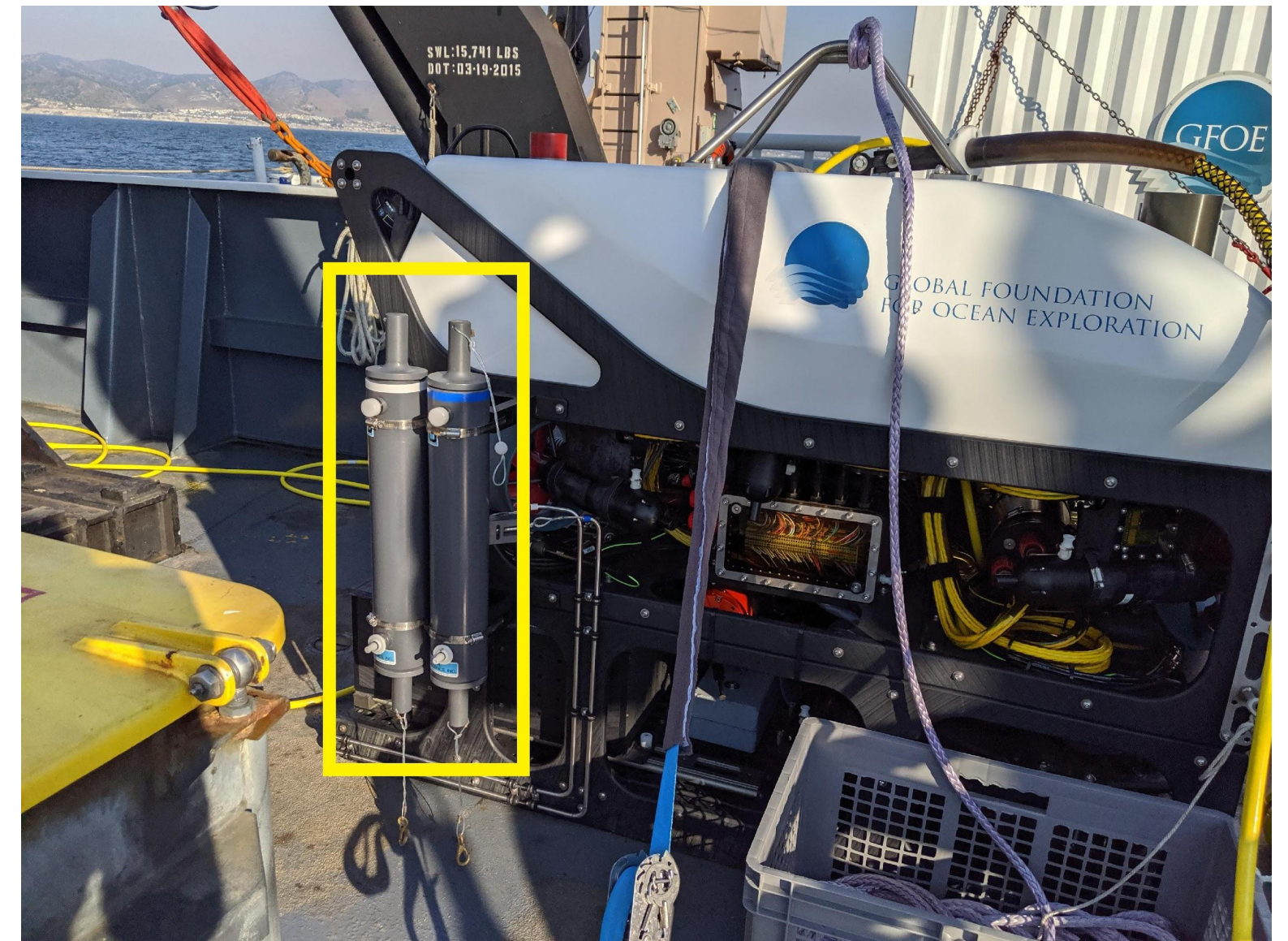


Pengumpulan Data di Lingkungan Laut

DNA Lingkungan (eDNA)

Data ini dikumpulkan dari materi genetik yang dilepaskan organisme ke lingkungannya. Sampel yang digunakan berupa lendir, feses, atau partikel jaringan dan dikumpulkan dengan metode non-invasif.

eDNA membantu mengidentifikasi organisme dan mengkarakterisasi perannya dalam jaring makanan dan ekosistem suatu wilayah. Lebih lanjut, eDNA juga dapat memantau kualitas air dan jumlah bakteri berbahaya dalam sampel air, dan perikanan komersial dapat menggunakannya untuk menginformasikan pemilihan lokasi dan praktik penangkapan ikan mereka.



Niskin Bottles

[<https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/edna/edna.html>]

Catatan:

alat pengambilan sampel air yang dapat digunakan untuk pengumpulan eDNA

(<https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/edna/edna.html>)

Analisis Data di Lingkungan Laut

Analisis data berupaya mengubah pengamatan mentah, seperti pembacaan numerik, rekaman visual, tanda akustik, dan sampel biologis, menjadi wawasan yang dapat ditindaklanjuti tentang sistem kelautan yang kompleks untuk memahami fenomena seperti gelombang panas laut, pergeseran distribusi spesies, dan kesehatan ekosistem sensitif seperti terumbu karang.



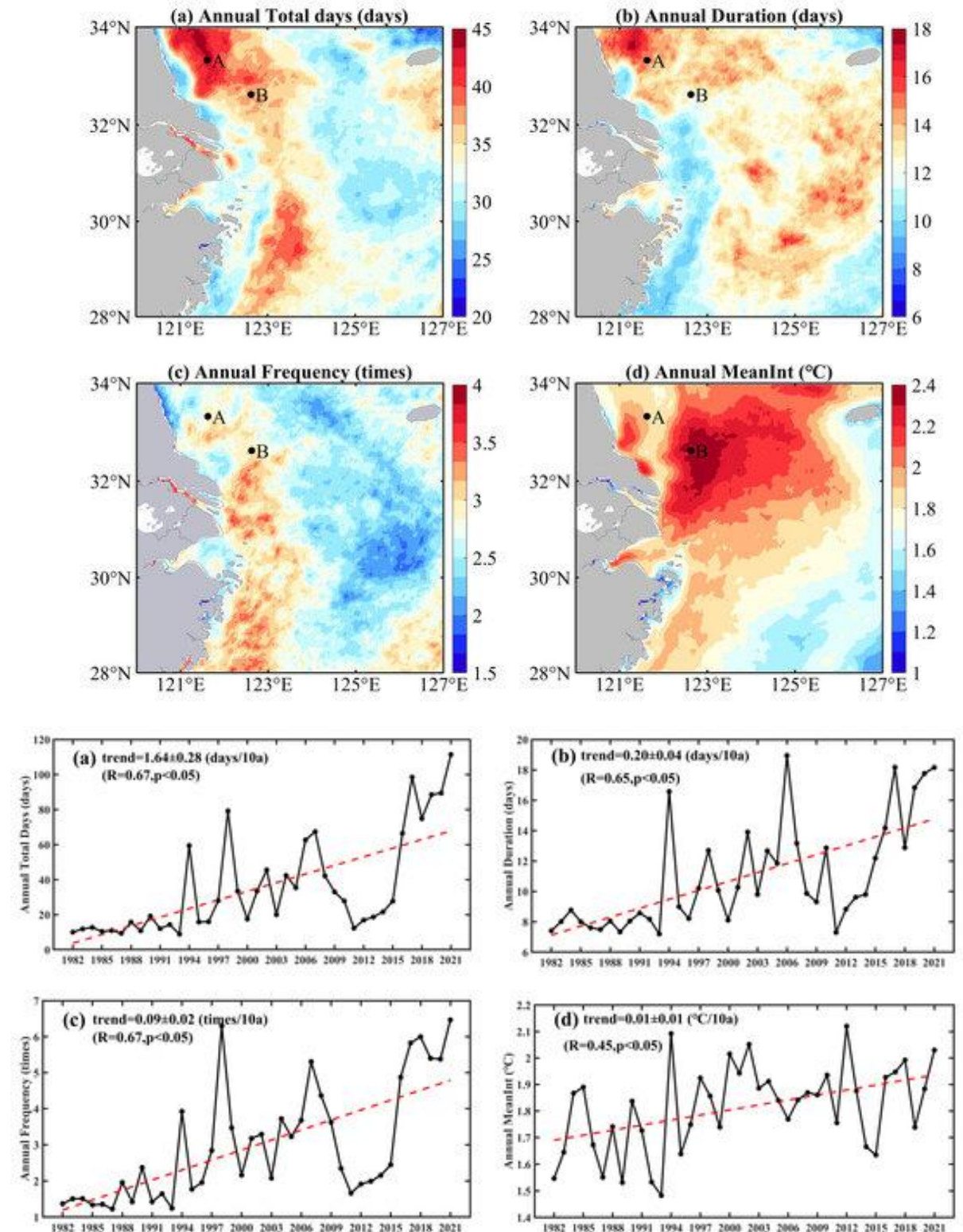
Analisis Spasial dan Temporal

Analisis Spasial dan Temporal dalam Lingkungan Laut mengacu pada studi fenomena laut terkait lokasi (spasial) dan waktu (temporal).

Beberapa masalah yang disebutkan di bawah ini adalah beberapa contoh yang dapat dipecahkan dengan jenis analisis ini.

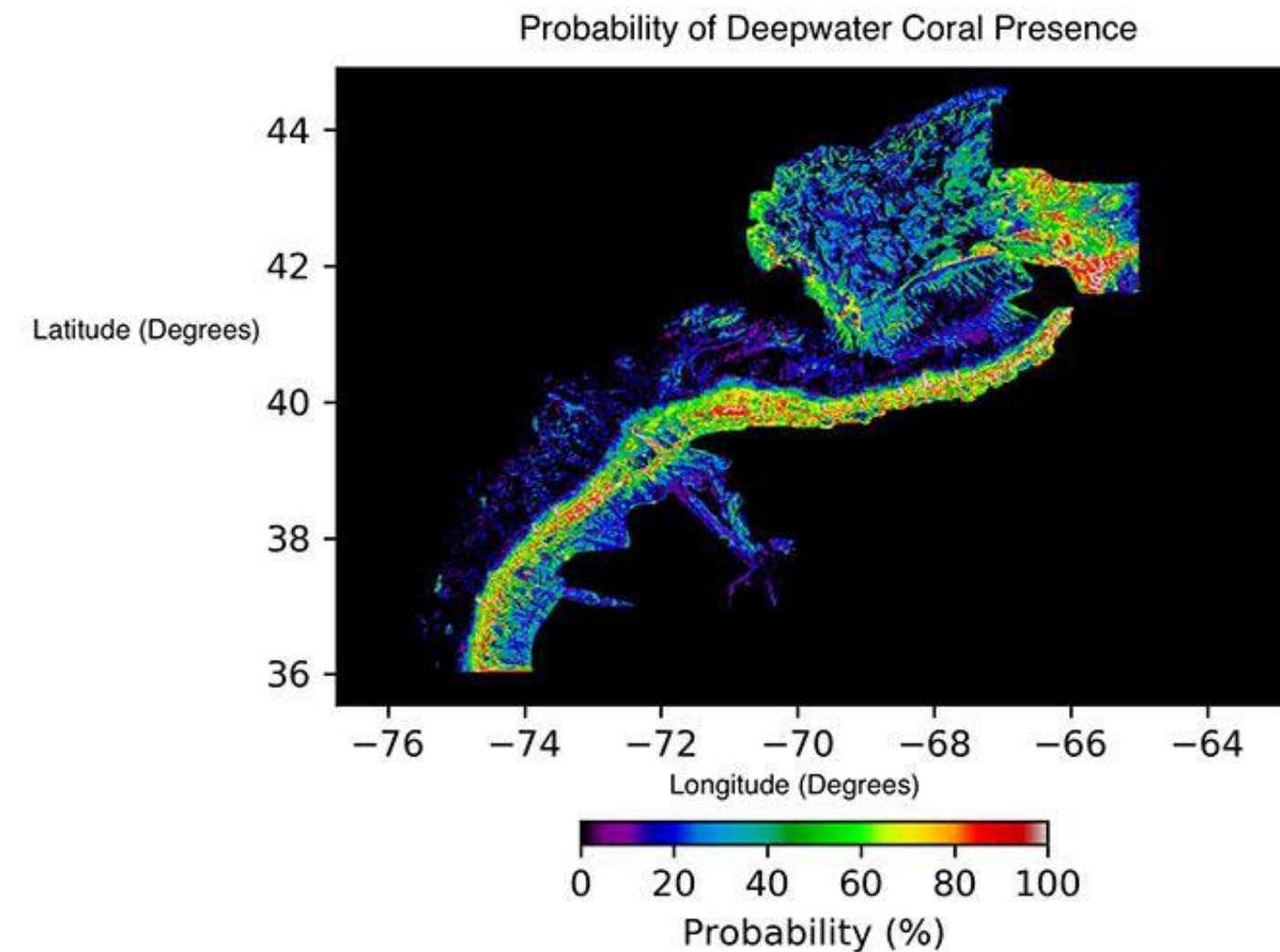
- 1. Pelacakan tumpahan minyak** : Memetakan penyebaran tumpahan dari waktu ke waktu.
- 2. Mempelajari Pemutihan Terumbu Karang** : Mengidentifikasi lokasi dan waktu terjadinya pemutihan.
- 3. Migrasi Ikan** : Memetakan rute dan waktu migrasi spesies.
- 4. Memantau Aktivitas Manusia** : Menganalisis pergerakan kapal atau pola intensitas penangkapan ikan menggunakan data AIS dari waktu ke waktu.

(Amani *et al.* 2022; Haupt *et al.* 2022; Jin *et al.* 2024)



Kecerdasan Buatan (AI) dan Pemodelan

Kecerdasan Buatan (AI) melibatkan penggunaan *machine learning* (ML), *deep learning*, dan *intelligent algorithms* untuk mendeteksi pola, membuat prediksi, atau mengotomatiskan analisis, sementara **pemodelan** mengacu pada simulasi yang dilakukan menggunakan kerangka kerja matematika atau komputasi. Data yang dimodelkan sangat penting untuk memprediksi peristiwa laut skala besar dan menyediakan alat yang ampuh untuk pengelolaan laut jangka panjang. Model sangat penting untuk prakiraan lingkungan, penelitian iklim, dan pengelolaan laut berkelanjutan. Dikombinasikan dengan kemampuan AI, model yang lebih komprehensif pun dapat diciptakan.



Model prediksi keberadaan karang laut dalam di perairan Atlantik AS-Kanada
[<https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1905/background/modeling/welcome.html>]

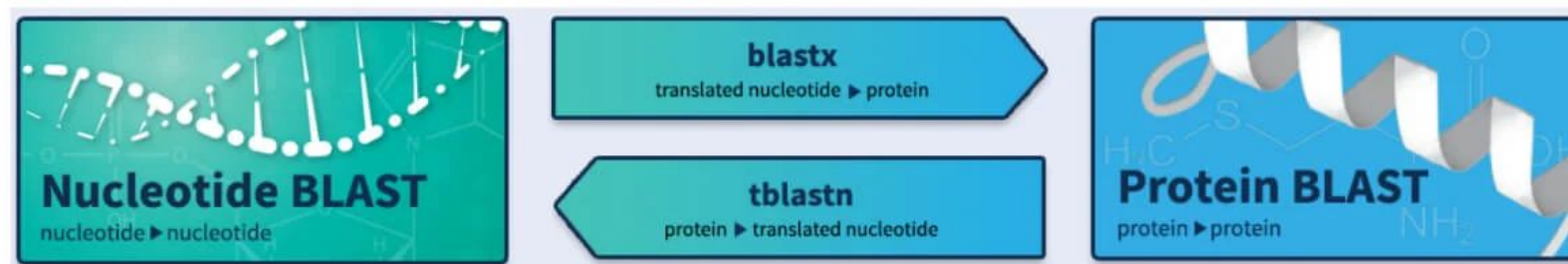


Alat Bioinformatika

Alat bioinformatika berfungsi untuk menganalisis dan menafsirkan data biologis seperti urutan DNA/RNA yang diperoleh dari organisme laut.

BLAST

Basic Local Alignment Search Tool



BLAST (Alat Pencarian Penyelarasan Lokal Dasar)

Alat bioinformatika yang digunakan untuk membandingkan sekuens biologis (DNA, RNA, atau protein). Alat ini mengidentifikasi wilayah kesamaan antara sekuens kueri dan sekuens dalam basis data, serta menghitung signifikansi statistik kecocokannya.

Dalam biologi kelautan, BLAST digunakan dalam penelitian genomik untuk mempelajari susunan genetik organisme laut dan memahami adaptasi serta evolusinya. Misalnya, BLAST dapat digunakan untuk membandingkan genom berbagai spesies karang atau untuk mengidentifikasi gen yang terlibat dalam respons stres pada hewan laut.



Digitalisasi Kelautan dan Bioteknologi

Bagaimana digitalisasi membantu kemajuan bioteknologi kelautan?

1. Pengadaan Sampel

Keragaman genetik sumber daya hayati laut, khususnya mikroba laut, memberikan beragam peluang dan tantangan bagi bioteknologi kelautan. Keragaman ini memiliki potensi signifikan untuk menemukan senyawa bioaktif baru dengan penerapan luas dalam obat-obatan dan industri yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Namun, sumber daya hayati ini seringkali sulit diperoleh karena terletak jauh di dalam laut atau di wilayah yang tidak dapat dijangkau manusia sendiri.

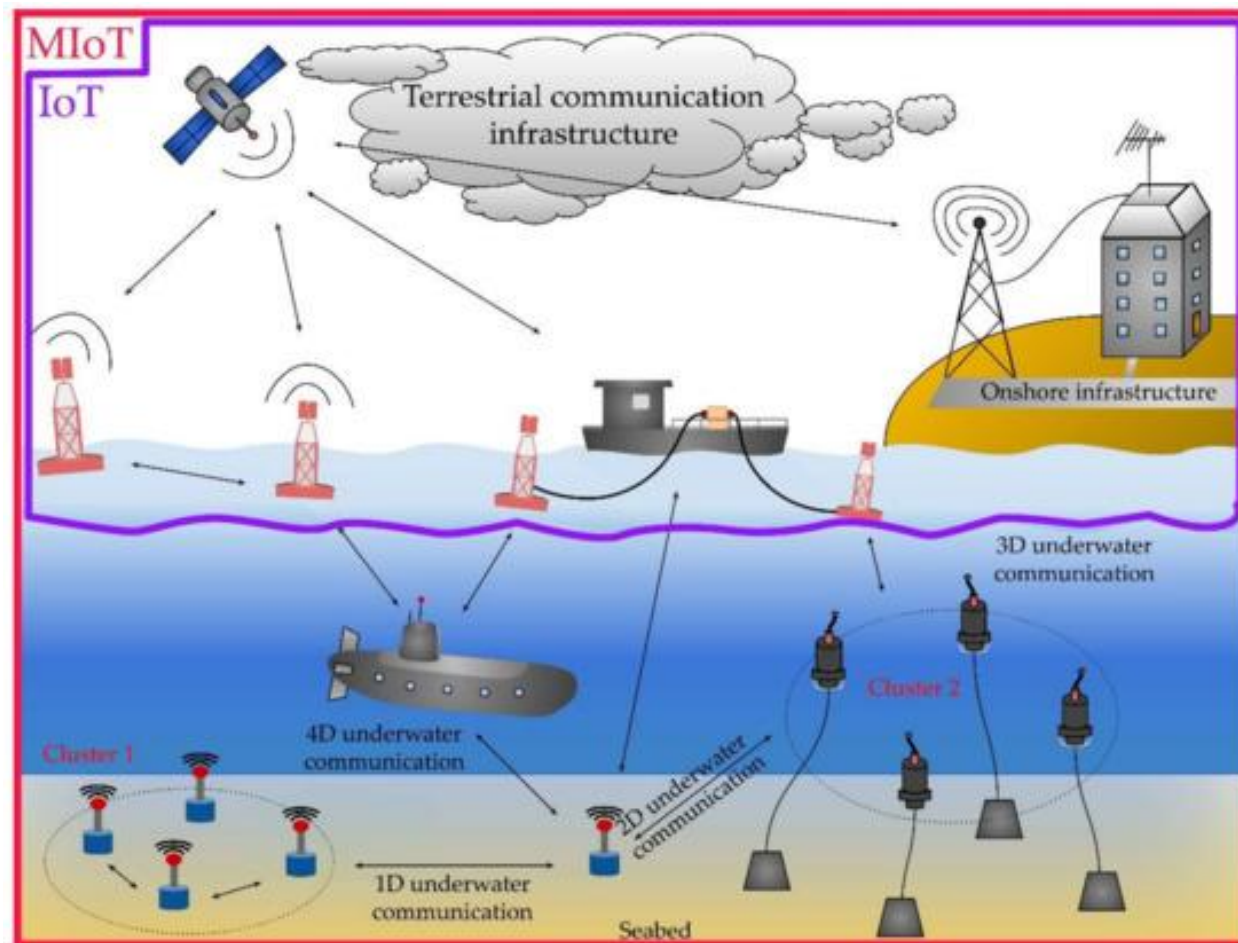
Dengan memanfaatkan robot, sampel-sampel yang terletak di daerah ekstrem dapat diperoleh dan diteliti lebih lanjut.



Marine Digitalization and Biotechnology

2. Internet of Things (IoT): Pemantauan dan Otomatisasi *Real-Time*

IoT merevolusi perikanan dengan menghubungkan berbagai sensor, perangkat, dan mesin ke jaringan terpusat, yang seringkali dipantau dan dikelola melalui perangkat lunak perikanan. Perangkat IoT yang digunakan dalam perikanan meliputi:



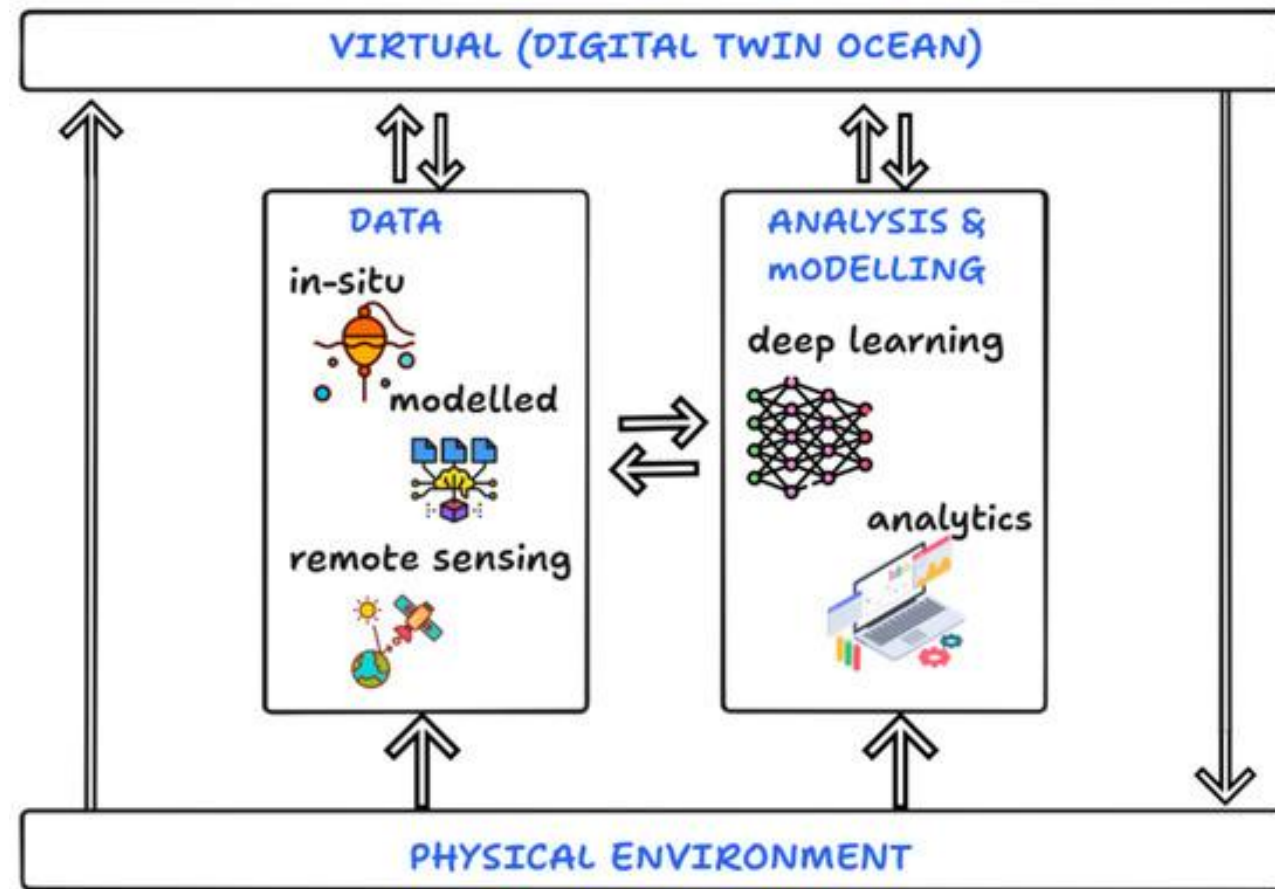
[Kabanov & Kramar 2022]

- **Sensor Lingkungan** : Sensor ini memantau parameter kualitas air seperti suhu, pH, dan oksigen terlarut secara real-time. Sistem IoT memungkinkan penyesuaian otomatis yang meningkatkan kesehatan ikan dan mengurangi tingkat kematian.
- **Pengumpan Cerdas** : Pengumpan berbasis IoT dapat melepaskan pakan dalam jumlah yang tepat berdasarkan selera ikan dan kondisi lingkungan, yang dikelola oleh perangkat lunak perikanan. Hal ini meminimalkan pemborosan pakan, mengurangi biaya, dan mengurangi risiko pencemaran air.
- **Pemantauan Jarak Jauh** : Perangkat IoT memungkinkan nelayan dan pengelola tambak untuk memantau operasi dari jarak jauh melalui perangkat lunak yang dirancang untuk perikanan sehingga memudahkan pengawasan tambak ikan besar atau beberapa kapal tanpa harus hadir secara fisik.



Digitalisasi Kelautan dan Bioteknologi

2. Digital Twins of the Ocean (DTOs)



[Taken from: Haupt *et al.* 2022]

DTOs adalah model virtual yang mensimulasikan dan mencerminkan sistem laut di dunia nyata menggunakan model fisik, data sensor, dan teknologi komputasi. DTOs mendukung pemantauan waktu nyata dan analisis prediktif lingkungan laut di sepanjang siklus hidupnya. Awalnya diperkenalkan sebagai "model pencerminan informasi", DTOs kini banyak digunakan dan didukung oleh teknologi seperti IoT, AI, deep learning, and cloud computing.

Tujuan utama dari DTOs adalah menciptakan salinan digital sistem laut agar para ilmuwan dan pengambil keputusan dapat memantau perubahan, memprediksi masalah (seperti tumpahan minyak), dan merencanakan solusi yang lebih baik. Model-model ini dibangun menggunakan perangkat canggih seperti AI, Internet of Things (IoT), dan cloud computing.

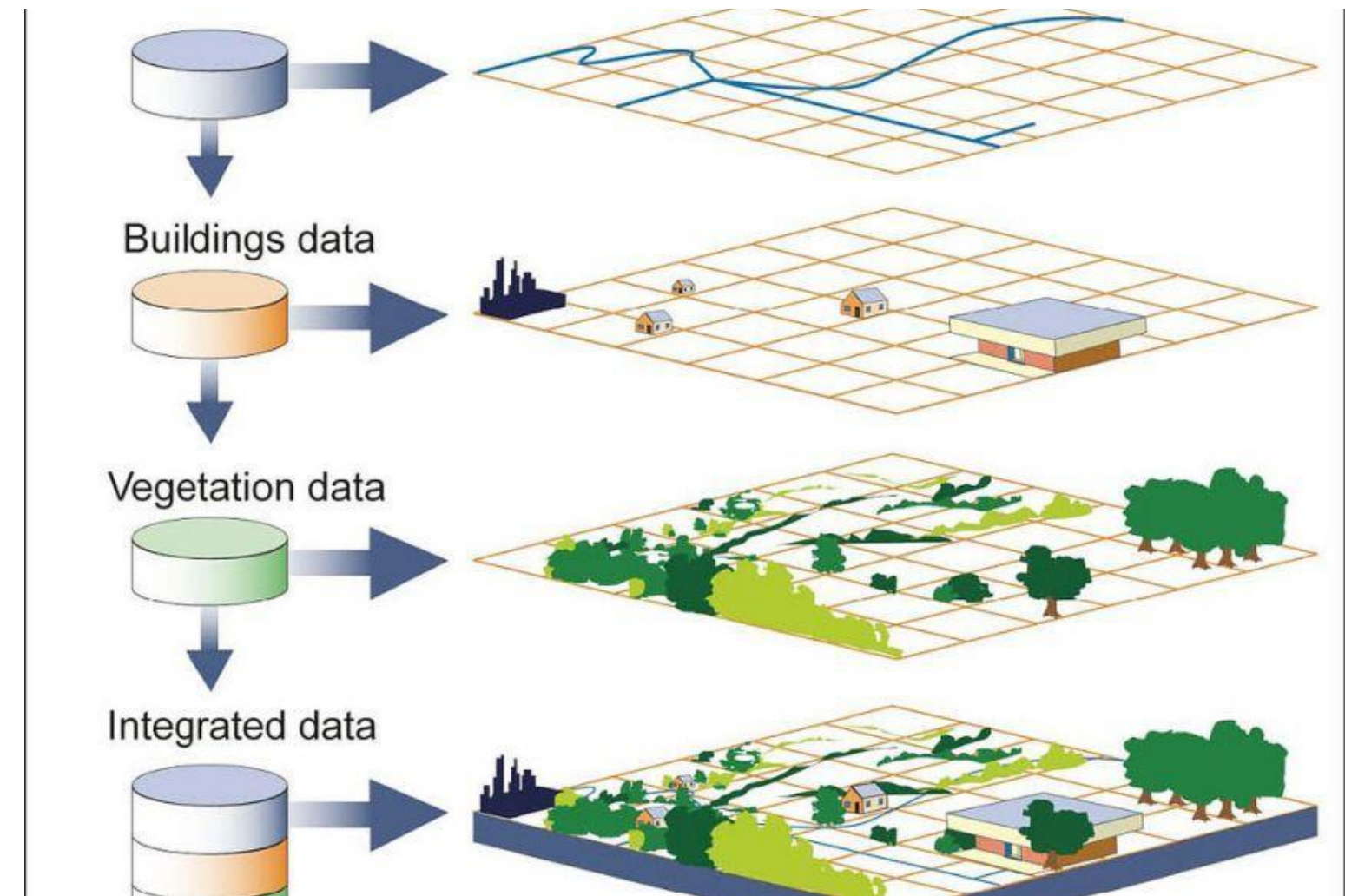


Geographic Information System (GIS)

Sistem informasi geografis/Geographic Information System (GIS) adalah kerangka kerja konseptual berbasis komputer yang digunakan untuk mengatur dan menganalisis data yang terkait dengan posisi di permukaan bumi.

Sifat lingkungan laut yang luas dan dinamis menghadirkan tantangan unik bagi para ilmuwan dan peneliti, yang membutuhkan pendekatan inovatif untuk mempelajari dan mengelola ekosistem kompleks ini secara efektif. GIS menjawab tantangan ini dengan menawarkan kerangka kerja komprehensif untuk mengintegrasikan berbagai jenis data spasial dan temporal, yang memungkinkan pemahaman sistem kelautan yang lebih holistik.

Informasi berdasarkan analisis GIS dapat meningkatkan pemahaman kita tentang lautan.



[<https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/>]



Fungsi GIS dalam Ekosistem Laut

- **Integrasi dan Visualisasi Data** : GIS memungkinkan integrasi berbagai kumpulan data kelautan ke dalam satu platform tunggal, yang memungkinkan para ilmuwan untuk memvisualisasikan dan menganalisis hubungan kompleks antara komponen fisik, kimia, dan biologi sistem kelautan.
- **Pemetaan dan Pemantauan** : GIS sangat penting untuk memetakan habitat laut, memantau perubahan lingkungan, dan menilai dampak aktivitas manusia. SIG membantu dalam pembuatan peta detail topografi dasar laut, terumbu karang, dan habitat penting lainnya, yang penting untuk perencanaan konservasi dan pengelolaan sumber daya.
- **Analisis Spasial** : Kemampuan melakukan analisis spasial menggunakan perangkat GIS membantu ilmuwan kelautan mengidentifikasi pola dan tren. Misalnya, GIS dapat digunakan untuk menganalisis distribusi spesies laut dalam kaitannya dengan variabel lingkungan seperti suhu, salinitas, dan kedalaman, memberikan wawasan tentang preferensi habitat spesies dan memprediksi potensi dampak perubahan iklim.



Bibliografi

- OECD, 2013. *Marine Biotechnology: Enabling Solutions for Ocean Productivity and Sustainability*. OECD Publishing. Available at: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2013/09/marine-biotechnology_glg2bfb9/9789264194243-en.pdf [Accessed 25 June 2025].
- Copping, A.E., van den Burg, S. and Liu, Y., 2024. Digitalization in the Blue Economy: A Pathway to Sustainable Ocean Use. *Frontiers in Marine Science*, 11, p.1457678. doi:10.3389/fmars.2024.1457678.
- Chiang, Y.C., Zhang, H. and Wang, C., 2023. Advances in GIS-Based Subsurface Marine Observation for Ocean Monitoring. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(4), p.140. doi:10.3390/ijgi14040140.
- Veitch, A., Tjiputra, J.F. and Bopp, L., 2022. Digital twins of the ocean: Towards improved sustainability and resilience. *npj Ocean Sustainability*, 1, pp.1–10. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X22001010> [Accessed 25 June 2025].
- National Geographic Society, n.d. Geographic Information System (GIS). *National Geographic Education*. Available at: <https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/> [Accessed 25 June 2025].
- Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIO), n.d. GIS Applications. Available at: <http://www.inio.ac.ir/en/gisa> [Accessed 25 June 2025].
- Copernicus Marine Service, n.d. Monitoring & Forecasting: Operational Oceanography Explained. Available at: <https://marine.copernicus.eu/explainers/operational-oceanography/monitoring-forecasting> [Accessed 25 June 2025].
- Roach, J.A., 2009. Marine Data Collection: Methods and the Law. In: D. Rothwell and S. Bateman, eds. *Freedom of Seas, Passage Rights and the 1982 Law of the Sea Convention*. Leiden: Brill | Nijhoff, pp.471–498. doi:10.1163/ej.9789004173590.i-624.62.
- Astuti, D.A., 2024. Digitalisasi Data Kelautan: Strategi Inovatif untuk Pengelolaan Laut Berkelanjutan. *Maritime Perspective*, 4(1), pp.52–68. doi:10.62012/mp.v4i1.43259.
- Wang, Y., Chen, C., and Liu, Z., 2022. Marine Environment Monitoring Using UAV-Based Remote Sensing Technologies. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(9), p.1279. doi:10.3390/jmse10091279.
- NOAA, 2019. Modeling in Ocean Exploration. *NOAA Ocean Explorer*. Available at: <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1905/background/modeling/welcome.html> [Accessed 25 June 2025].
- Li, Y., Xu, W. and Zhang, L., 2024. Marine Digital Twins: Bridging Real-Time Data and Predictive Ocean Models. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(4), p.653. doi:10.3390/jmse12040653.
- Gómez, A. and Martínez, R., 2022. Integrated Coastal Zone Management and Real-Time Oceanographic Data Use. *Water*, 14(21), p.3400. doi:10.3390/w14213400.



TERIMA KASIH



sustainablue@sci.ui.ac.id



**SustainaBlue HEIs in Malaysia
and Indonesia**



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Project: 101129136 — SustainaBlue — ERASMUS-EDU-2023-CBHE

