



Pengenalan kepada Bioteknologi Marin dan Pendigitalan

**Jabatan Biologi
Fakulti Matematik dan Sains Semula Jadi
Universitas Indonesia**

Dibiayai oleh Kesatuan Eropah. Walau bagaimanapun, pandangan dan pendapat yang dinyatakan adalah pandangan pengarang sahaja dan tidak semestinya mencerminkan pandangan Kesatuan Eropah atau Agensi Eksekutif Pendidikan dan Kebudayaan Eropah (EACEA). Kesatuan Eropah mahupun EACEA tidak boleh dipertanggungjawabkan ke atas mereka.

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



Co-funded by
the European Union



RAKAN KONGSI PROJEK

Malaysia



Indonesia



Greece



Cyprus

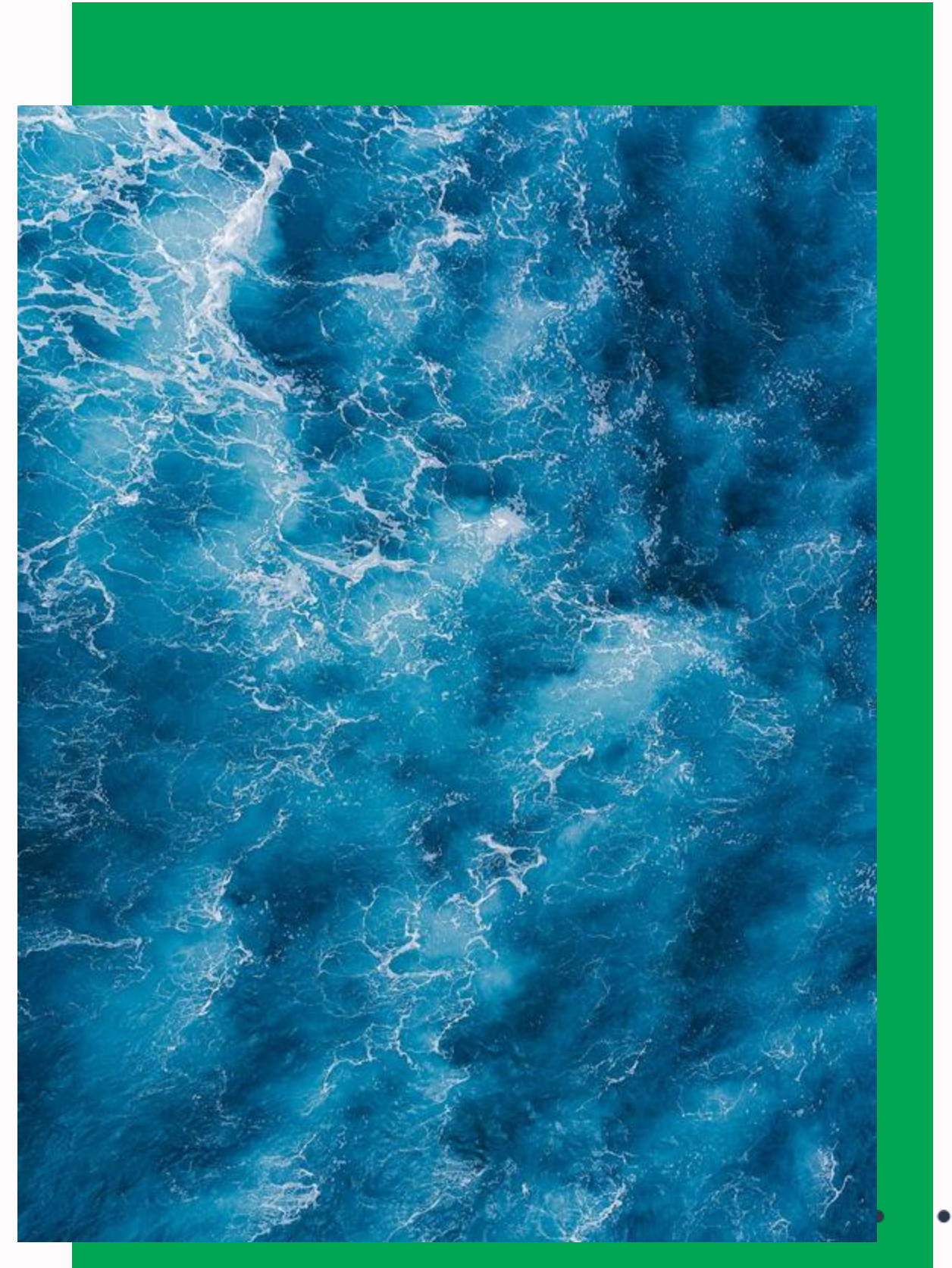


Dibiayai oleh Kesatuan Eropah. Walau bagaimanapun, pandangan dan pendapat yang dinyatakan adalah pandangan pengarang sahaja dan tidak semestinya mencerminkan pandangan Kesatuan Eropah atau Agensi Eksekutif Pendidikan dan Kebudayaan Eropah (EACEA). Kesatuan Eropah mahupun EACEA tidak boleh dipertanggungjawabkan ke atas mereka.

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

Kandungan

- 01 Ringkasan
- 02 Pengenalan
- 03 Pendigitalan dalam Industri Marin
- 04 Pengumpulan dan Analisis Data Marin
- 05 Pendigitalan Marin dan Bioteknologi
- 06 Sistem Maklumat Geografi (GIS)
- 07 Bibliografi – Bacaan Tambahan



Ringkasan

Bioteknologi marin mendapat perhatian global kerana potensinya untuk menangani perubahan iklim, keselamatan makanan dan pembangunan mampan. Kerajaan semakin memasukkannya dalam strategi nasional untuk inovasi dan pertumbuhan ekonomi. Pada masa yang sama, teknologi digital seperti AI, bioinformatik, penderiaan jauh dan kembar digital mengubah bidang dengan membolehkan penyelidikan ekosistem marin yang lebih pantas, lebih tepat serta pemantauan masa nyata ekosistem marin. Alat ini meningkatkan akuakultur, meningkatkan analisis genetik dan menyokong penggunaan sumber yang mampan. Penyepaduan pendigitalan memastikan bioteknologi marin berkembang dengan cara yang bukan sahaja inovatif dan cekap tetapi juga bertanggungjawab terhadap alam sekitar dan mampan.



Pengenalan

Objektif:

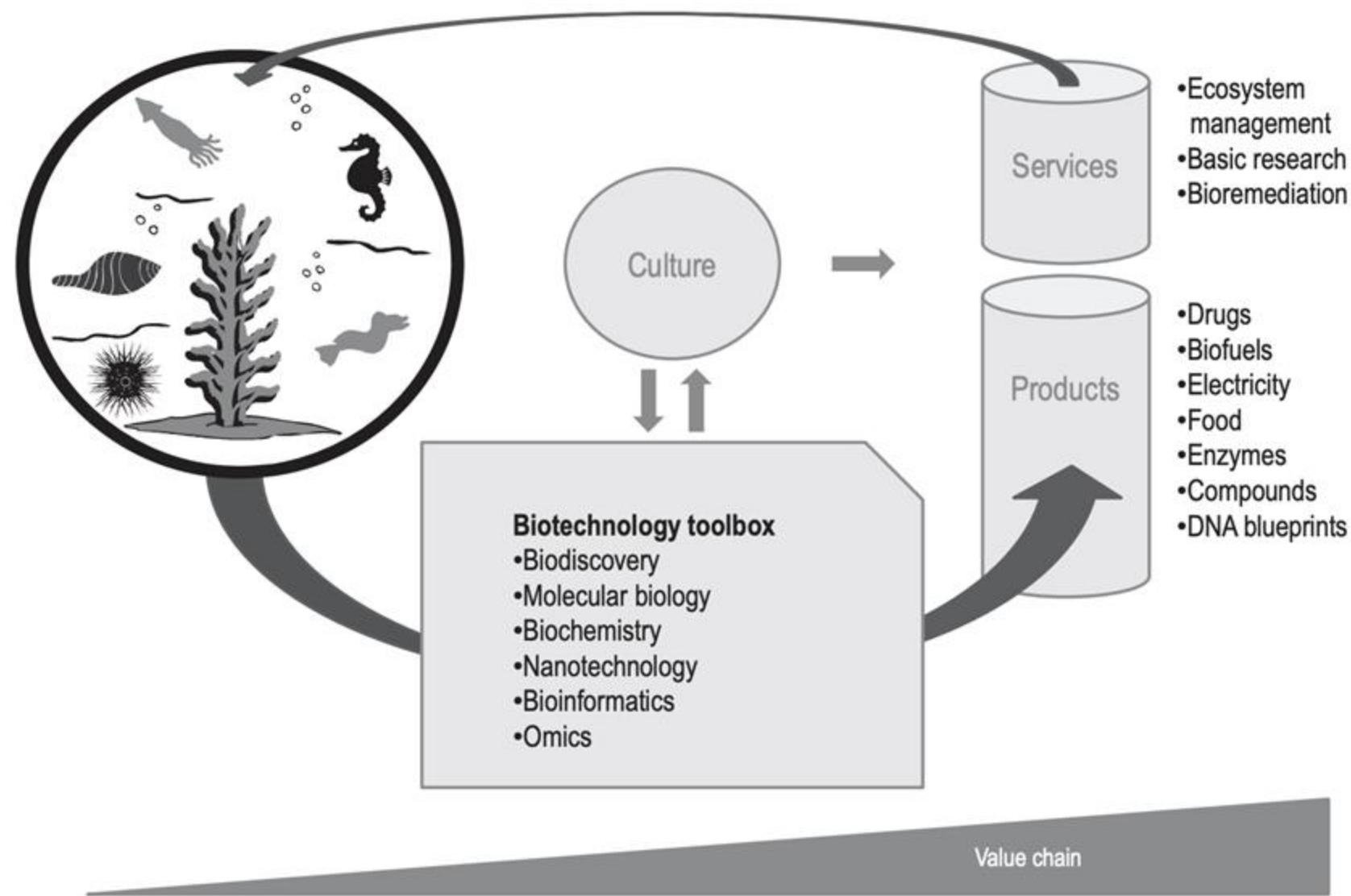
- Menganalisis aplikasi bioteknologi marin dalam ekonomi biru (bioplastik).
- Gunakan GIS untuk menilai biodiversiti dan sumber marin.

Hasil Pembelajaran:

- (CLO1) Terangkan prinsip dan inovasi dalam bioteknologi marin dan kaitannya dengan biodiversiti dan ekonomi biru.
- (CLO2) Menganalisis penggunaan alat digital seperti teknologi GIS dan omik dalam meneroka dan mengurus sumber biologi marin.



Pengenalan



[Diambil daripada:ESF 2010 in OECD 2013]

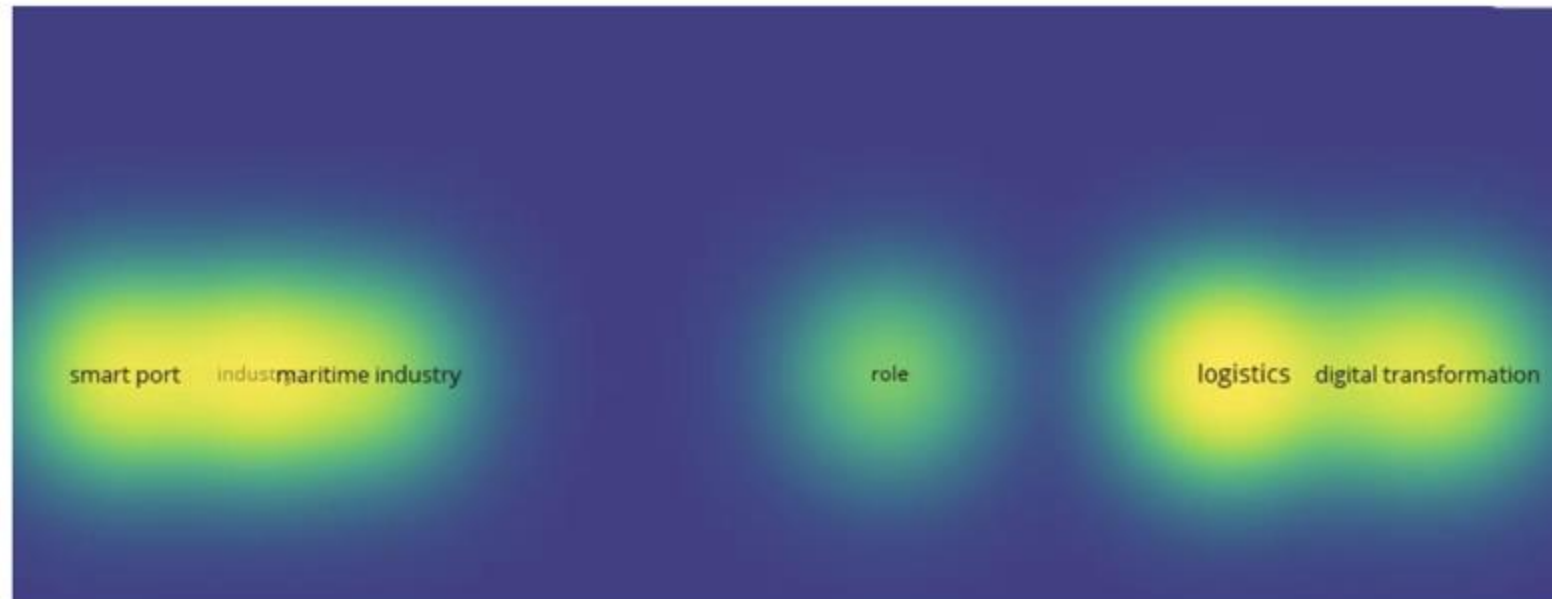
Dalam tempoh 60 tahun yang lalu, bioteknologi telah menghasilkan beberapa kemajuan ketara dalam perubatan, kosmetik, nutraseutikal, pengeluaran makanan dan aplikasi industri seperti biopenapisan. Aplikasi bioteknologi marin juga luas, seperti pengeluaran makanan dan biofuel (bioteknologi pertanian), pembangunan ubat baharu (bioteknologi kesihatan), pembangunan bahan baharu (bioteknologi industri), dan pembangunan teknologi bioremediasi (bioteknologi alam sekitar).

Ini menunjukkan bahawa bioteknologi marin boleh membantu menangani cabaran global yang berkaitan dengan makanan, keselamatan bahan api, kesihatan penduduk dan proses perindustrian yang mampan. Kemajuan terkini dalam sains dan teknologi telah meningkatkan minat dalam bioteknologi marin sebagai sumber inovasi dan pertumbuhan ekonomi baharu.

(OECD 2013)



Digitalization in The Marine Industries



Kekerapan Topik yang Paling Banyak Dibincangkan dalam
Penyelidikan Maritim semasa 2015–2024
[Diambil daripada: Yusuf & Syaifullah 2025]

Perhatian:
Semakin besar saiz topik dalam visualisasi, semakin tinggi
kekerapan kejadiannya dalam penerbitan yang dianalisis.



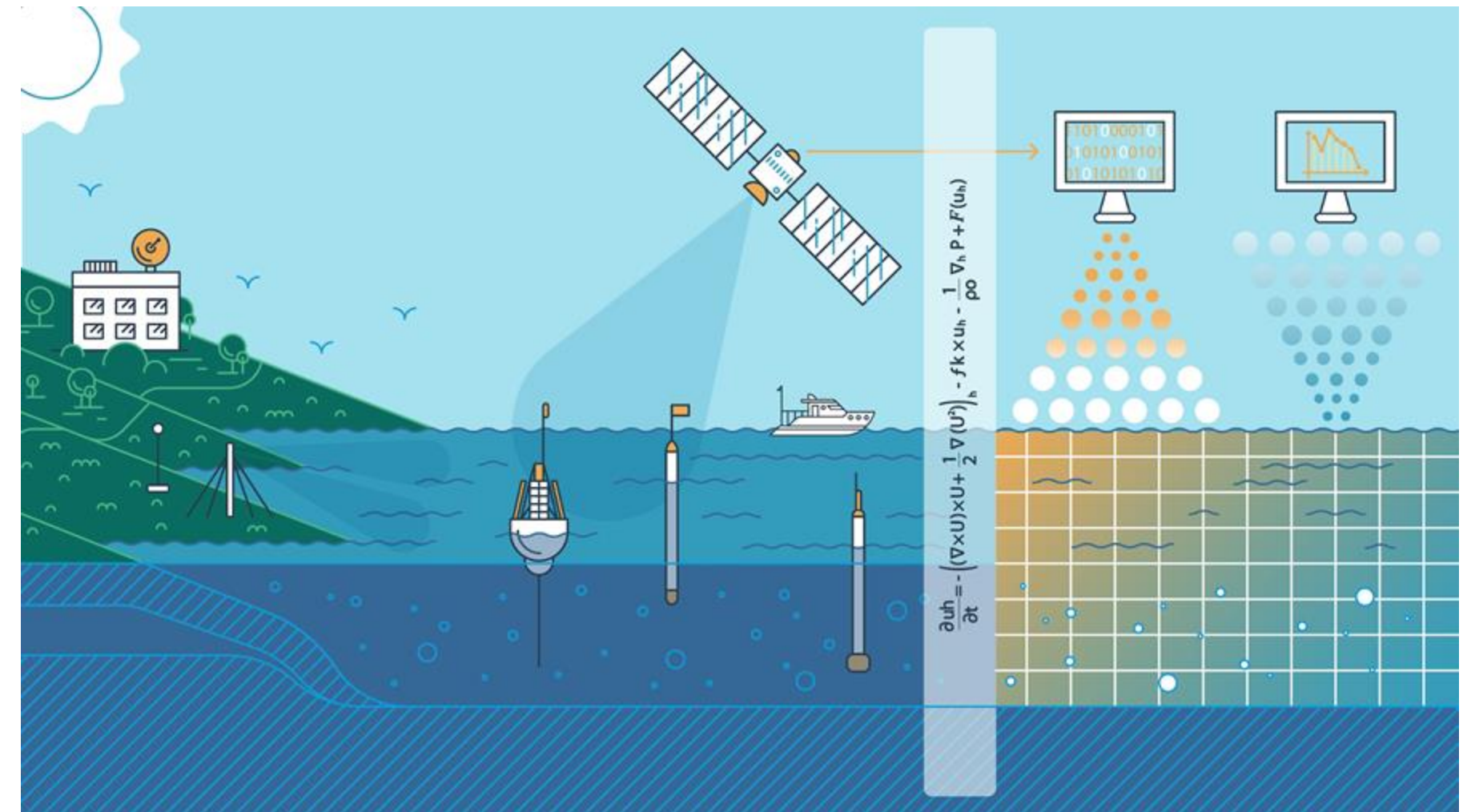
Pendigitalan dalam industri marin merujuk kepada penyepaduan teknologi digital ke dalam operasi, penyelidikan dan pengurusan. Aplikasinya boleh meningkatkan kecekapan aktiviti pengeluaran marin dan mengurangkan pembaziran sumber. Sebagai contoh, sistem penangkapan ikan pintar yang digabungkan dengan analisis data masa nyata boleh memantau keadaan sumber perikanan dengan tepat, mencapai pengurusan mampan dan menggunakan sumber perikanan secara rasional, sekali gus menggalakkan pembangunan hijau ekonomi marin.

Sebaliknya, dengan mewujudkan sistem pemantauan yang canggih, teknologi digital meningkatkan keupayaan untuk pengawasan dan penilaian segera persekitaran marin, memudahkan pengesanan awal dan tindak balas terhadap isu alam sekitar seperti pencemaran dan pengasidan lautan.

Pengumpulan Data dalam Alam Sekitar Marin

Pengumpulan data alam sekitar marin terdiri daripada parameter pada:

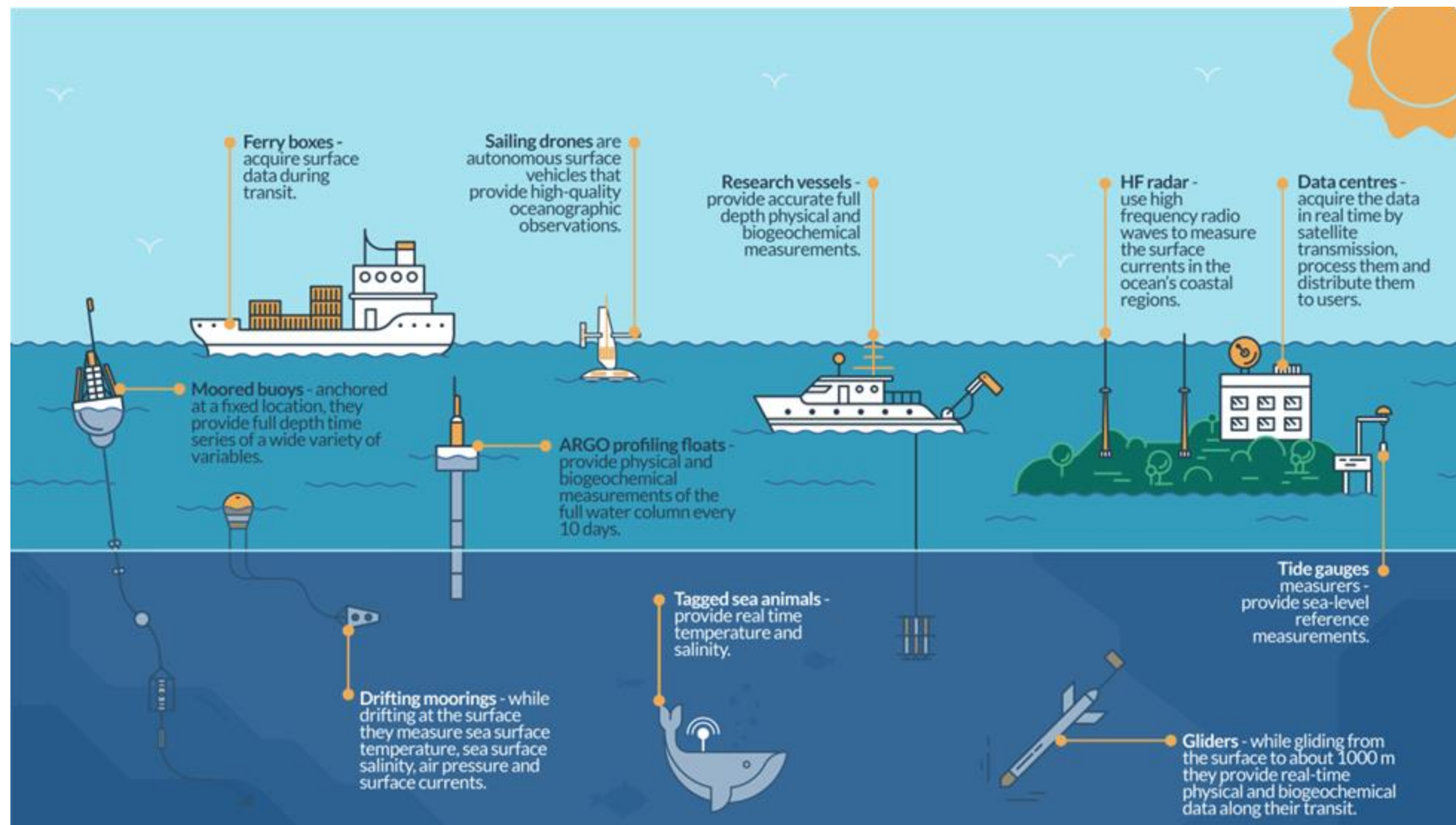
1. **Parameter Fizikal:** suhu, kemasinan, kedalaman, gelombang, arus, penutup ais dan ketebalan
2. **Parameter Kimia:** Tahap pH, oksigen terlarut, tahap karbon dioksida, nutrient
3. **Parameter Biologi:** komposisi dan kelimpahan spesies, pemetaan habitat, klorofil
4. **Parameter Geologi dan Geofizik:** Pemetaan dasar laut, aktiviti tektonik, komposisi dan ketebalan sedimen, magnet (resonans?)



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



Pengumpulan Data dalam Alam Sekitar



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



Pengumpulan Data In Situ

Data yang dikumpul terus dari lautan menggunakan pelbagai jenis instrumen dan platform. Kaedah ini memberikan data dengan ketepatan dan kebolehpercayaan yang tinggi. Selain itu, ia juga menangkap perubahan temporal di situ.

Tambatan, pelampung dan Tolok pasang surut mengumpul data lautan permukaan dan bawah permukaan seperti kelajuan angin, suhu, paras air, dsb. Penderia ini boleh digunakan untuk pengesanan tsunami awal, ramalan cuaca dan navigasi lautan. Walau bagaimanapun, penggunaan dan penyelenggaraan platform in situ boleh mahal, memakan masa, bergantung kepada cuaca dan terhad dari segi ruang. Oleh itu, pengumpulan data ex-situ digunakan untuk mengatasi batasan ini. (Amani *et al.* 2022; Haupt *et al.* 2022)

Pengumpulan Data dalam Alam Sekitar Marin



[Diambil daripada: Alshareef, Elbeshehy & Alshehri 2021]

Pengumpulan Data Ex Situ

Data yang dikumpul daripada persekitaran marin disimpan di makmal dan dalam kemudahan terkawal. Kaedah ini membolehkan penyelidik menjalankan analisis dan eksperimen terperinci di bawah keadaan terkawal.

Sebagai contoh, air, sedimen atau organisma marin (seperti alga atau mikrob) boleh dikumpulkan dari lautan dan dibawa ke makmal untuk ujian kimia, biologi atau genetik. Dalam bioteknologi marin, kaedah ex-situ adalah penting untuk mengkultur mikroorganisma marin, menganalisis jujukan DNA dan menguji tindak balas kepada keadaan persekitaran yang berbeza (cth, suhu atau pH).

Satu lagi bentuk pengumpulan data ex-situ ialah penderiaan jauh, yang mengumpul data dari jauh menggunakan satelit, dron atau pesawat. Pengumpulan data ex-situ membolehkan analisis ketepatan tinggi dan manipulasi pembolehubah, yang sukar dicapai di situ. Walau bagaimanapun, ia mungkin tidak meniru sepenuhnya kerumitan persekitaran lautan semula jadi. Oleh itu, ia sering digunakan untuk melengkapkan data in situ untuk pemahaman yang lebih komprehensif tentang sistem marin.

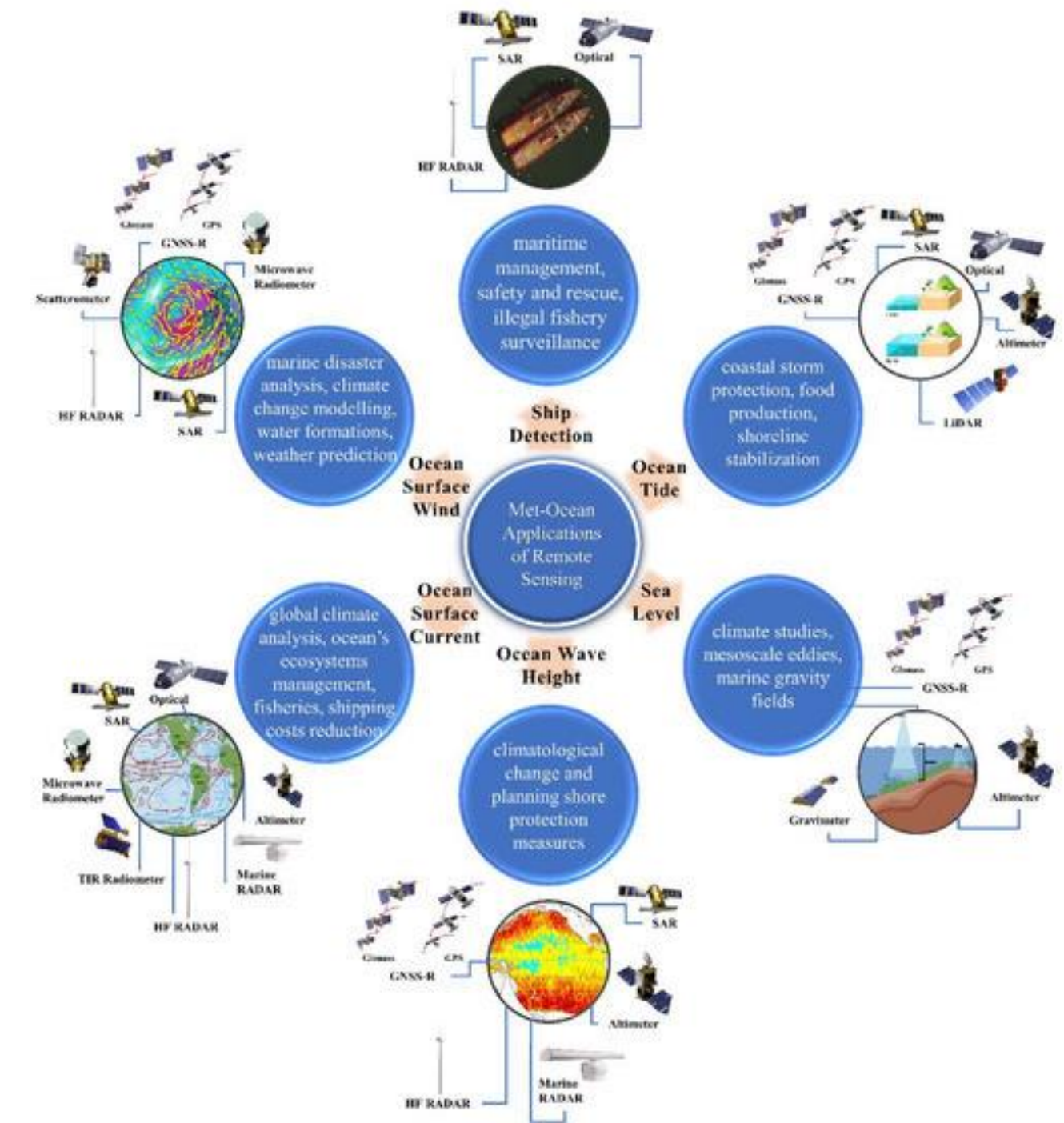


Pengumpulan Data dalam Alam Sekitar Marin

Penderiaan Jauh Satelit

Kelebihan utama ialah liputan kawasan yang besar, pelbagai resolusi temporal dan spatial, dan kos rendah set data terbitan. Penderia pasif digunakan untuk memperoleh parameter seperti warna lautan, batimetri dan topografi permukaan laut. Sebagai contoh, TIR (Penderia inframerah terma) boleh menyediakan suhu permukaan laut (SST) dan pemerhatian satelit warna lautan.

Penderia aktif, seperti Synthetic Aperture Radar (SAR), mempunyai keupayaan pengimejan siang dan malam dan beroperasi dalam semua keadaan cuaca. Penderia ini telah digunakan untuk mengesan pelbagai ciri, seperti tumpahan minyak, pencemaran plastik dan kapal di lautan.



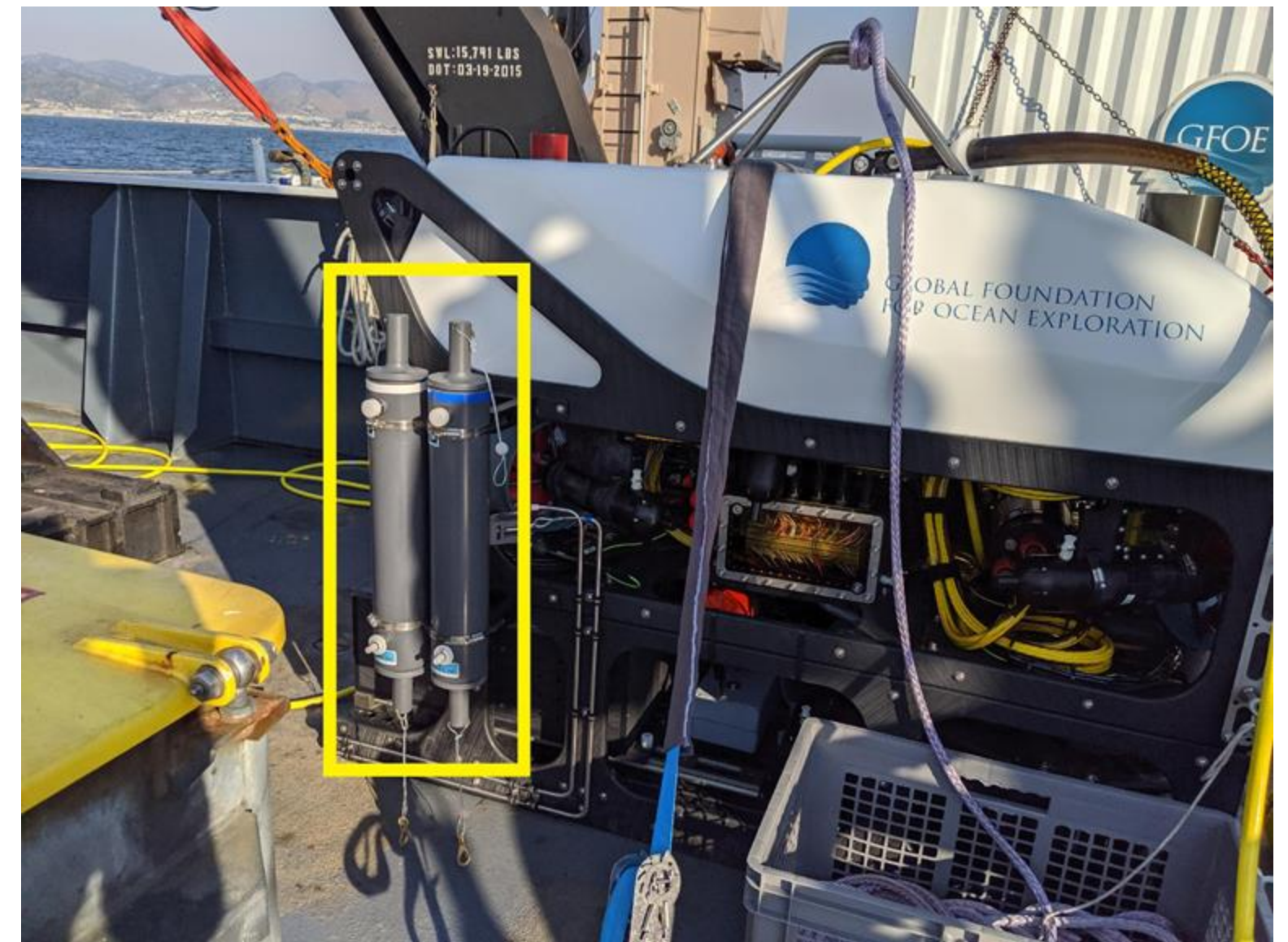
[Diambil daripada: Amani et al. 2022]

Pengumpulan Data dalam Alam Sekitar Marin

DNA Alam Sekitar (eDNA)

Data ini dikumpulkan daripada bahan genetik yang ditumpahkan oleh organisma ke persekitaran mereka. Sampel yang digunakan ialah lendir, najis, atau zarah tisu dan dikumpulkan dengan kaedah bukan invasif.

eDNA membantu kami mengenal pasti organisma dan mencirikan peranan mereka dalam siratan makanan dan ekosistem kawasan itu. Selain itu, ia juga boleh memantau kualiti air dan jumlah bakteria berbahaya dalam sampel air, dan perikanan komersial boleh menggunakannya untuk memaklumkan pemilihan lokasi dan amalan memancing mereka.



Botol Niskin
[Diambil daripada: <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/edna/edna.html>]

Ambil perhatian:
alat pensampelan air yang boleh digunakan untuk pengumpulan eDNA

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

Analisis Data dalam Alam Sekitar Marin

Analisis data bertujuan untuk menukar pemerhatian mentah – bacaan berangka, rekod visual, tandatangan akustik dan sampel biologi – kepada cerapan yang boleh diambil tindakan tentang sistem marin yang kompleks untuk memahami fenomena seperti gelombang haba marin, peralihan dalam taburan spesies dan kesihatan ekosistem sensitif seperti terumbu karang.



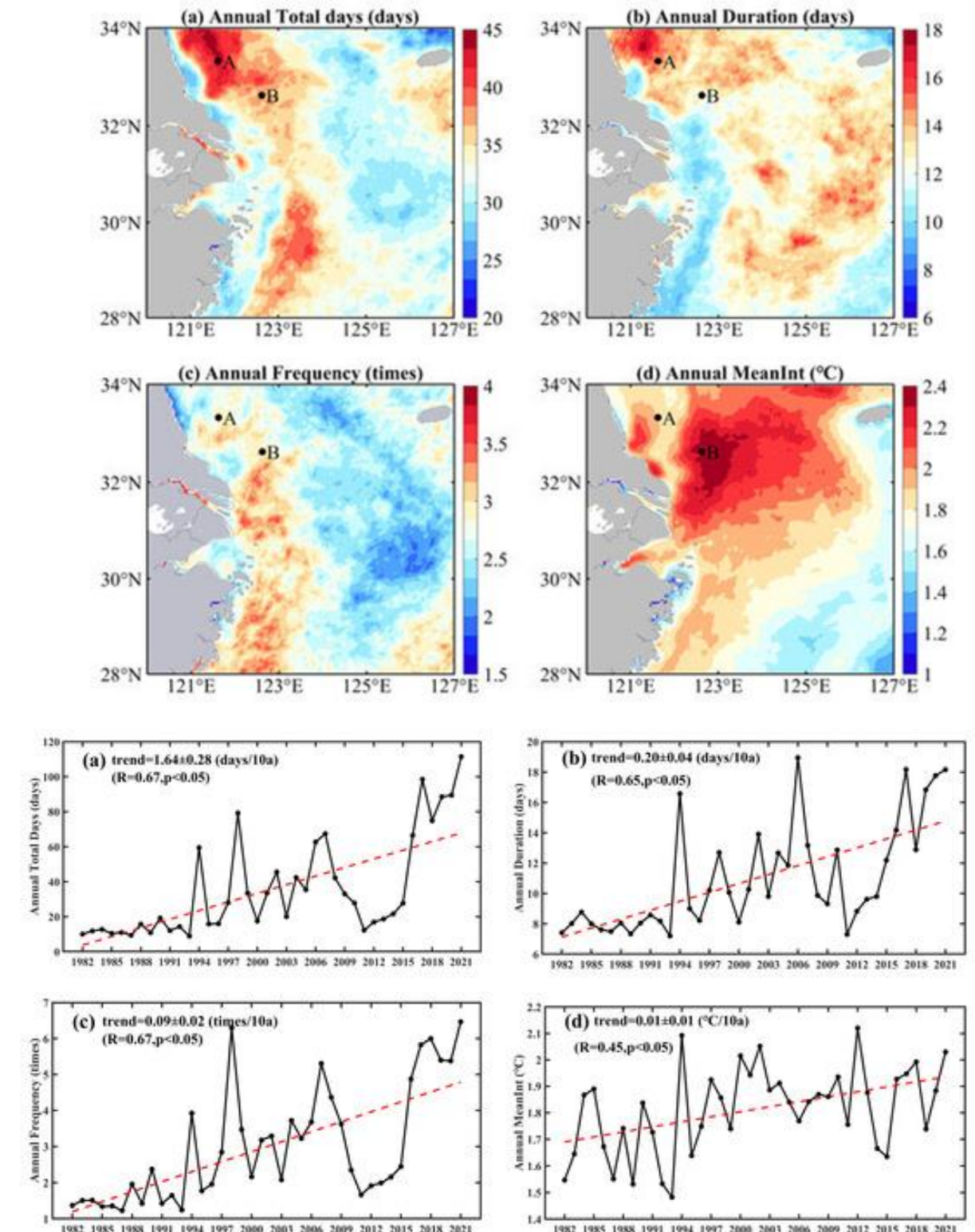
Analisis Spatial dan Temporal

Analisis Spatial dan Temporal dalam Persekitaran Marin merujuk kepada kajian fenomena marin mengenai lokasi mereka (spatial) dan masa (temporal).

Beberapa masalah yang dinyatakan di bawah ialah beberapa contoh yang boleh diselesaikan dengan jenis analisis ini.

- 1. Penjejakan tumpahan minyak:** Memetakan penyebaran tumpahan dari semasa ke semasa.
- 2. Mengkaji Pelunturan Karang:** Mengenal pasti lokasi dan garis masa peristiwa pelunturan.
- 3. Penghijrahan Ikan:** Pemetaan laluan dan masa penghijrahan spesies
- 4. Memantau Aktiviti Manusia:** Menganalisis pergerakan kapal atau corak intensiti memancing menggunakan data AIS dari semasa ke semasa.

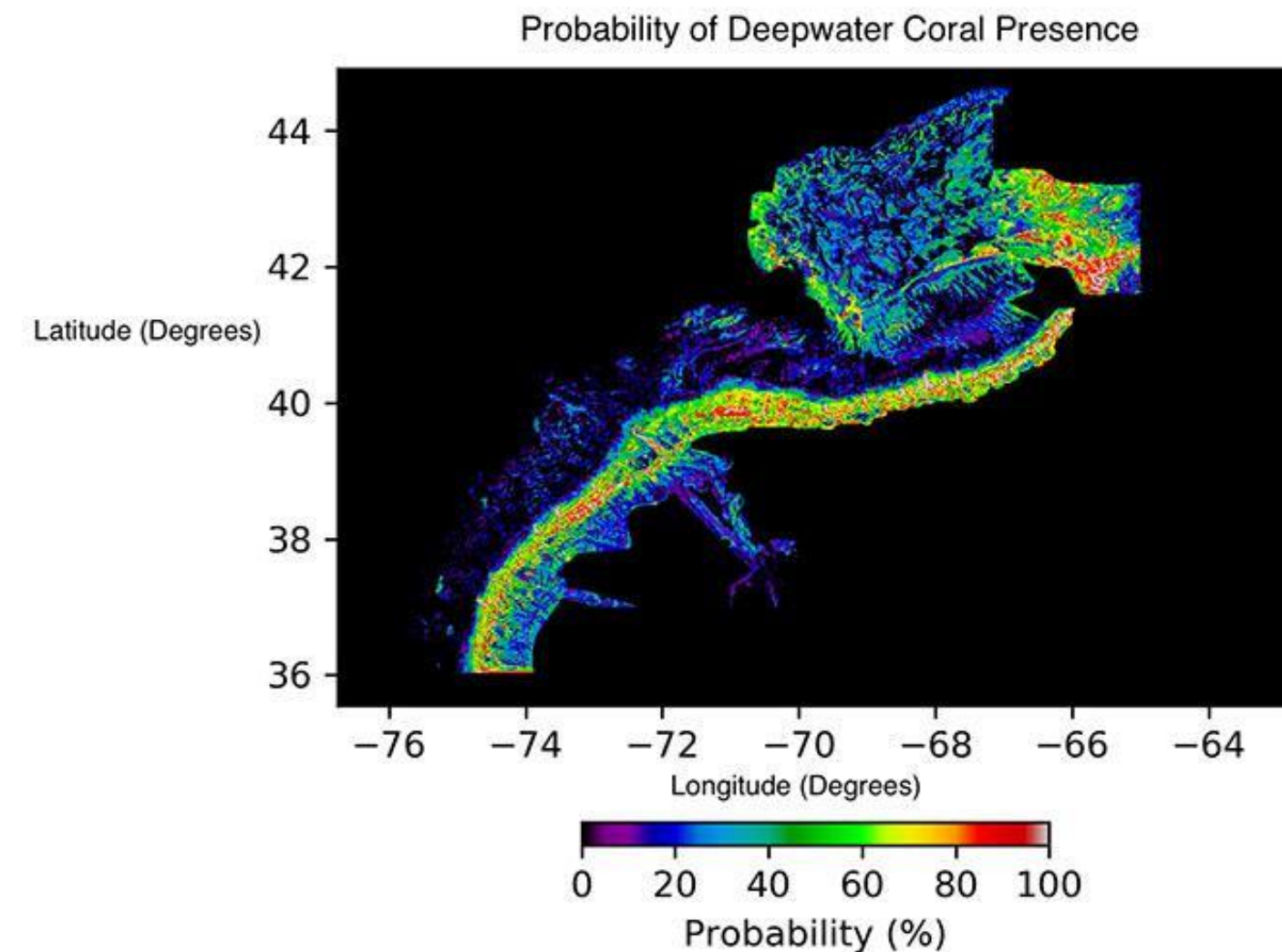
(Amani *et al.* 2022; Haupt *et al.* 2022; Jin *et al.* 2024)



Kecerdasan Buatan dan Pemodelan

AI (Kecerdasan Buatan) melibatkan penggunaan pembelajaran mesin (ML), pembelajaran mendalam dan algoritma pintar untuk mengesan corak, membuat ramalan atau mengautomasikan analisis, manakala.

Pemodelan merujuk kepada simulasi yang dibuat menggunakan rangka kerja matematik atau pengiraan. Data yang dimodelkan adalah penting untuk meramalkan peristiwa lautan berskala besar dan menyediakan alat yang berkuasa untuk pengurusan lautan jangka panjang. Model adalah penting untuk ramalan alam sekitar, penyelidikan iklim dan pengurusan lautan yang mampan. Digabungkan dengan kebolehan AI, model yang lebih komprehensif boleh dicipta.

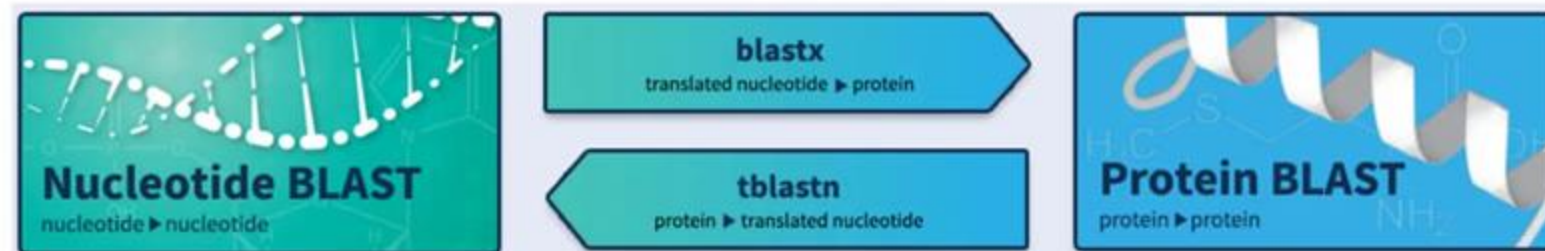


[Model ramalan kehadiran karang air dalam di perairan Atlantik AS-Kanada (Diambil daripada:<https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/explorations/ex1905/background/modeling/welcome.html>)]

Alat Bioinformatik

BLAST

Basic Local Alignment Search Tool



Alat bioinformatic berfungsi untuk menganalisis dan mentafsir data biologi seperti jujukan DNA/RNA yang diperoleh daripada organisma marin.

BLAST (Alat Carian Penjajaran Tempatan Asas) ialah Alat bioinformatik yang digunakan untuk membandingkan jujukan biologi (DNA, RNA, atau protein). Ia mengenal pasti kawasan persamaan antara jujukan pertanyaan dan jujukan dalam pangkalan data, mengira kepentingan statistik padanan.

Dalam biologi marin, BLAST digunakan dalam penyelidikan genomik untuk mengkaji susunan genetik organisma marin dan memahami penyesuaian dan evolusi mereka. Sebagai contoh, ia boleh digunakan untuk membandingkan genom spesies karang yang berbeza atau untuk mengenal pasti gen yang terlibat dalam tindak balas tekanan dalam haiwan marin.

Pendigitalan Marin dan Bioteknologi

Bagaimanakah pendigitalan membantu kemajuan bioteknologi marin?

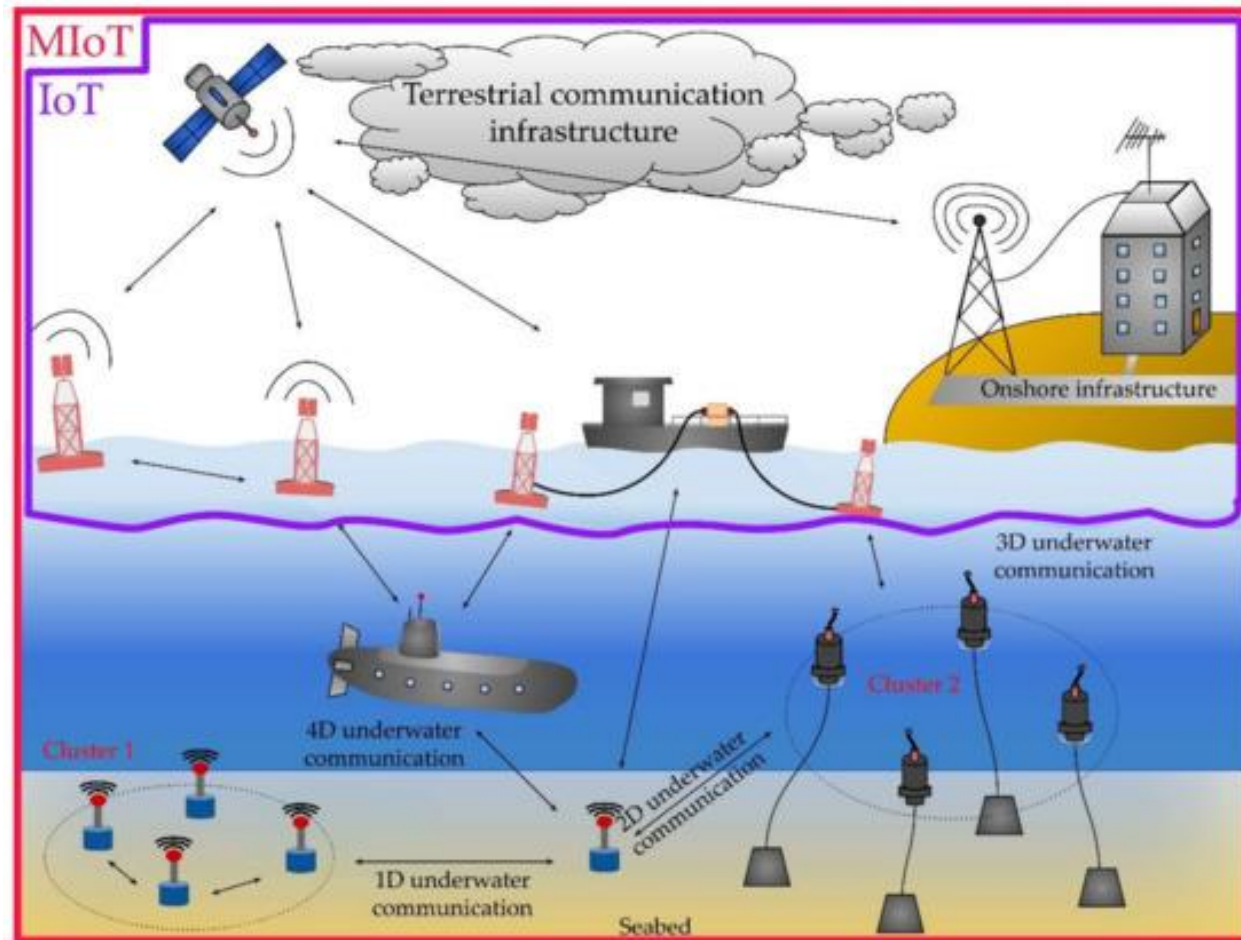
1. Contoh Perolehan

Kepelbagaian genetik biosumber marin, khususnya mikrob marin, menyediakan pelbagai peluang dan cabaran untuk bioteknologi marin. Ia mempunyai potensi besar untuk menemui sebatian bioaktif baharu dengan kebolegunaan yang luas dalam ubat-ubatan dan dalam industri yang lebih hijau dan mampan. Walau bagaimanapun, sumber bio ini selalunya sukar diperolehi kerana ia terletak jauh di dalam lautan atau di kawasan yang tidak dapat dicapai oleh manusia sendiri.

Dengan menggunakan robot, sampel yang terletak di kawasan yang melampau boleh diperolehi dan boleh dikaji lebih lanjut.



Pendigitalan Marin dan Bioteknologi



[Diambil daripada: Kabanov & Kramar 2022]

2. Internet of Things (IoT): Pemantauan dan Automasi Masa Nyata

IoT merevolusikan perikanan dengan menyambungkan pelbagai penderia, peranti dan jentera ke rangkaian berpusat, selalunya dipantau dan diuruskan melalui perisian perikanan. Peranti IoT yang digunakan dalam perikanan termasuk:

- **Penderia Persekitaran:** Penderia ini memantau parameter kualiti air seperti suhu, pH, dan oksigen terlarut dalam masa nyata. Sistem IoT membolehkan pelarasan automatik yang meningkatkan kesihatan ikan dan mengurangkan kadar kematian.
- **Pengumpulan Pintar:** Pengumpulan yang didayakan IoT boleh mengeluarkan jumlah makanan yang tepat berdasarkan selera ikan dan keadaan persekitaran, yang diuruskan oleh perisian perikanan. Ini meminimumkan sisa makanan, mengurangkan kos dan risiko pencemaran air.
- **Pemantauan Jauh:** Peranti IoT membolehkan nelayan dan pengurus ladang memantau operasi dari jauh melalui perisian yang direka untuk perikanan, menjadikannya lebih mudah untuk mengawasi ladang ikan besar atau berbilang kapal tanpa kehadiran secara fizikal.

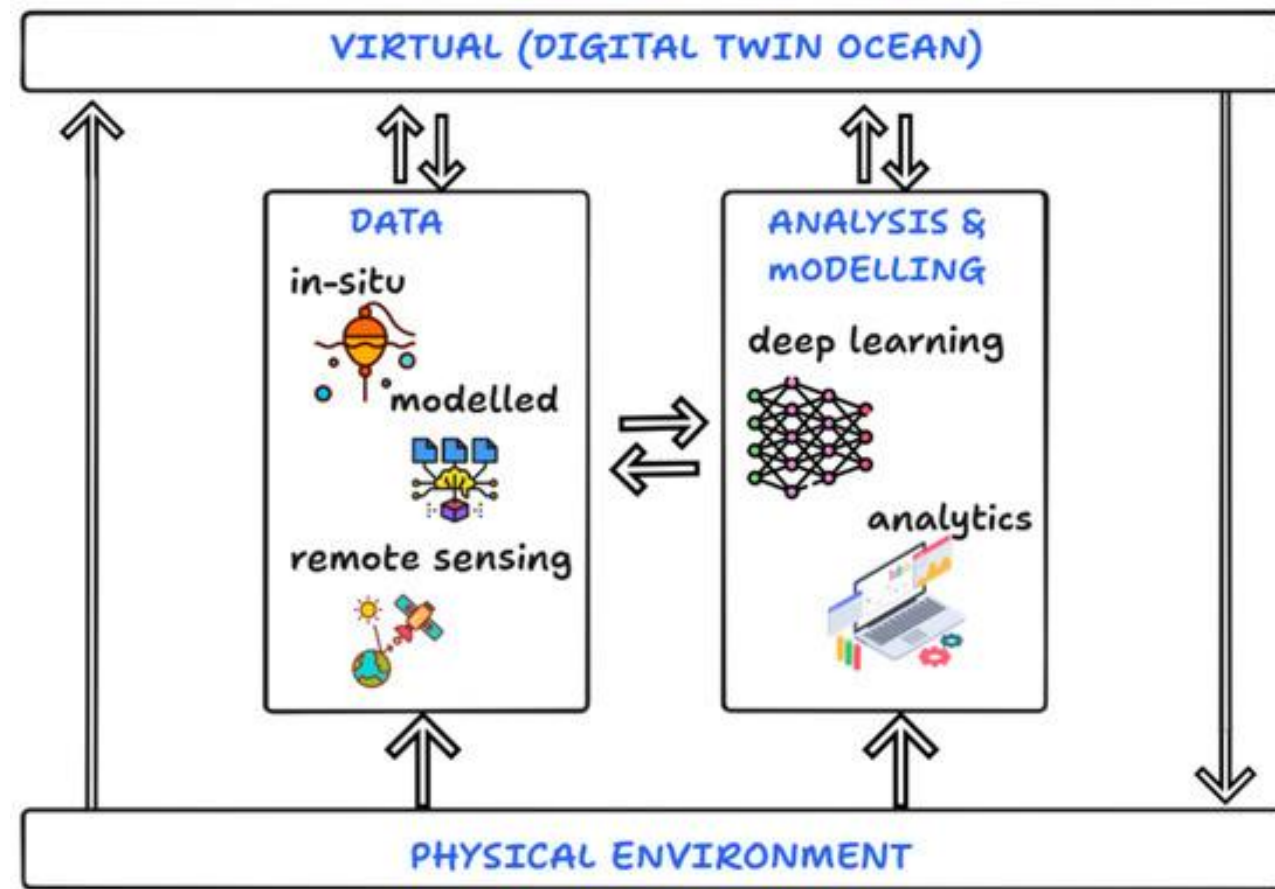
(Kabanov & Kramar 2022; Rowan 2023)



Pendigitalan Marin dan Bioteknologi

2. Kembar Digital Lautan (DTO)

DTO ialah model maya yang mensimulasikan dan mencerminkan sistem lautan kehidupan sebenar menggunakan model fizikal, data penderia dan teknologi pengkomputeran. DTO menyokong pemantauan masa nyata dan analisis ramalan persekitaran marin sepanjang kitaran hayat mereka. Pada asalnya diperkenalkan sebagai "model pencerminan maklumat", kembar digital kini digunakan secara meluas, disokong oleh teknologi seperti IoT, AI, pembelajaran mendalam dan pengkomputeran awan.



[Diambil daripada: Haupt et al. 2022]

Ideanya adalah untuk mencipta salinan digital sistem lautan supaya saintis dan pembuat keputusan boleh memantau perubahan, meramalkan masalah (seperti tumpahan minyak) dan merancang penyelesaian yang lebih baik. Model ini dibina menggunakan alat berkuasa seperti AI, Internet of Things (IoT) dan pengkomputeran awan.

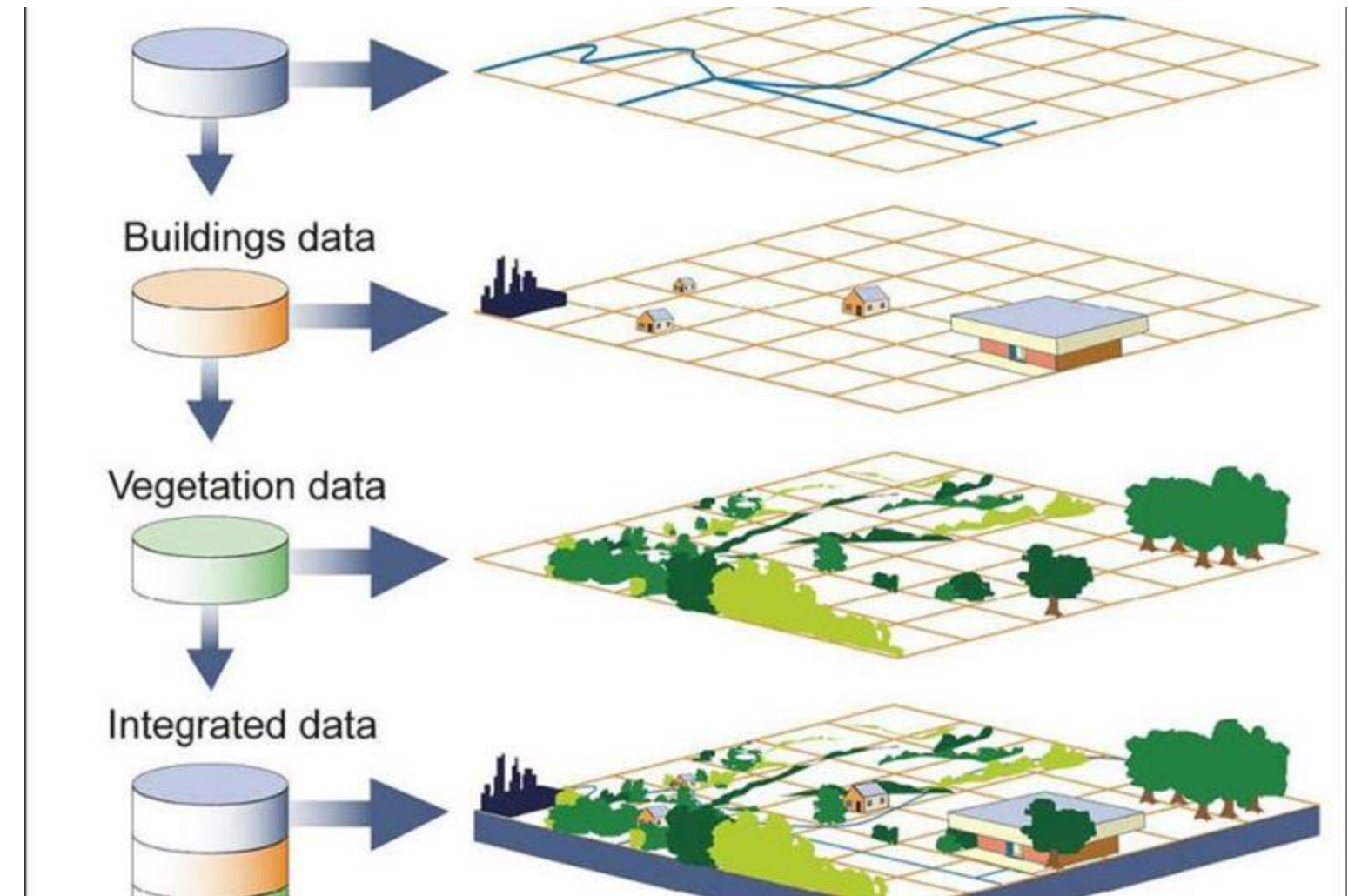


Sistem Maklumat Geografi (GIS)

Sistem maklumat geografi (GIS) ialah rangka kerja konseptual berasaskan komputer yang digunakan untuk mengatur dan menganalisis data yang berkaitan dengan kedudukan di permukaan Bumi.

Sifat persekitaran marin yang luas dan dinamik memberikan cabaran unik kepada saintis dan penyelidik, memerlukan pendekatan inovatif untuk mengkaji dan mengurus ekosistem kompleks ini dengan berkesan. GIS menangani cabaran ini dengan menawarkan rangka kerja yang komprehensif untuk menyepadukan pelbagai jenis data spatial dan temporal, membolehkan pemahaman yang lebih holistik tentang sistem marin.

Maklumat berdasarkan analisis GIS boleh meningkatkan pemahaman kita tentang lautan.



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



Fungsi GIS dalam Ekosistem Marin

- **Penyepaduan dan Visualisasi Data:** GIS membolehkan penyepaduan set data pelbagai marin ke dalam satu platform, membolehkan saintis menggambarkan dan menganalisis hubungan kompleks antara komponen fizikal, kimia dan biologi sistem marin
- **Pemetaan dan Pemantauan:** GIS adalah penting untuk memetakan habitat marin, memantau perubahan alam sekitar dan menilai kesan aktiviti manusia. Ia membantu dalam mencipta peta terperinci topografi dasar laut, terumbu karang dan habitat kritikal lain, yang penting untuk perancangan pemuliharaan dan pengurusan sumber.
- **Analisis Spatial:** Keupayaan untuk melakukan analisis spatial menggunakan alat GIS membantu saintis marin mengenal pasti corak dan arah aliran. Sebagai contoh, GIS boleh digunakan untuk menganalisis taburan spesies marin berhubung dengan pembolehubah persekitaran seperti suhu, kemasinan dan kedalaman, memberikan cerapan tentang keutamaan habitat spesies dan meramalkan potensi kesan 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

Dr. Retno Lestari, M.Si.

 retno.lestari@sci.ui.ac.id



Co-funded by
the European Union

Dibiayai oleh Kesatuan Eropah. Walau bagaimanapun, pandangan dan pendapat yang dinyatakan adalah pandangan pengarang sahaja dan tidak semestinya mencerminkan pandangan Kesatuan Eropah atau Agensi Eksekutif Pendidikan dan Kebudayaan Eropah (EACEA). Kesatuan Eropah mahupun EACEA tidak boleh dipertanggungjawabkan ke atas mereka.

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

