

Pengenalan Bioprospeksi Kelautan



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.

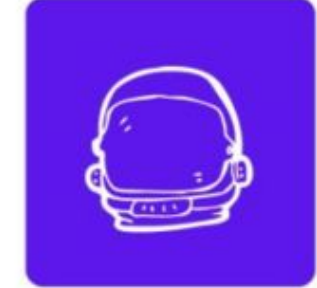
Project: 101129136 — SustainaBlue — ERASMUS-EDU-2023-CBHE

MITRA PROYEK

Malaysia



Indonesia



Greece



Cyprus



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

KONTEN

- 01 Tujuan Pembelajaran
- 02 Pendahuluan
- 03 Teknik-teknik dalam Bioprospeksi Kelautan
- 04 Aplikasi di Industri
- 05 Permasalahan Etika, Legalitas, dan Lingkungan
- 06 Rangkuman
- 07 Bibliografi – Bacaan Lanjutan



Tujuan Pembelajaran

- ☐ Definisi bioprospeksi kelautan
- ☐ Identifikasi organisme laut target
- ☐ Memahami proses bioprospeksi
- ☐ Mengetahui aplikasi di industri
- ☐ Pembahasan mengenai permasalahan etis dan legalitas



Apa Itu Bioprospeksi?

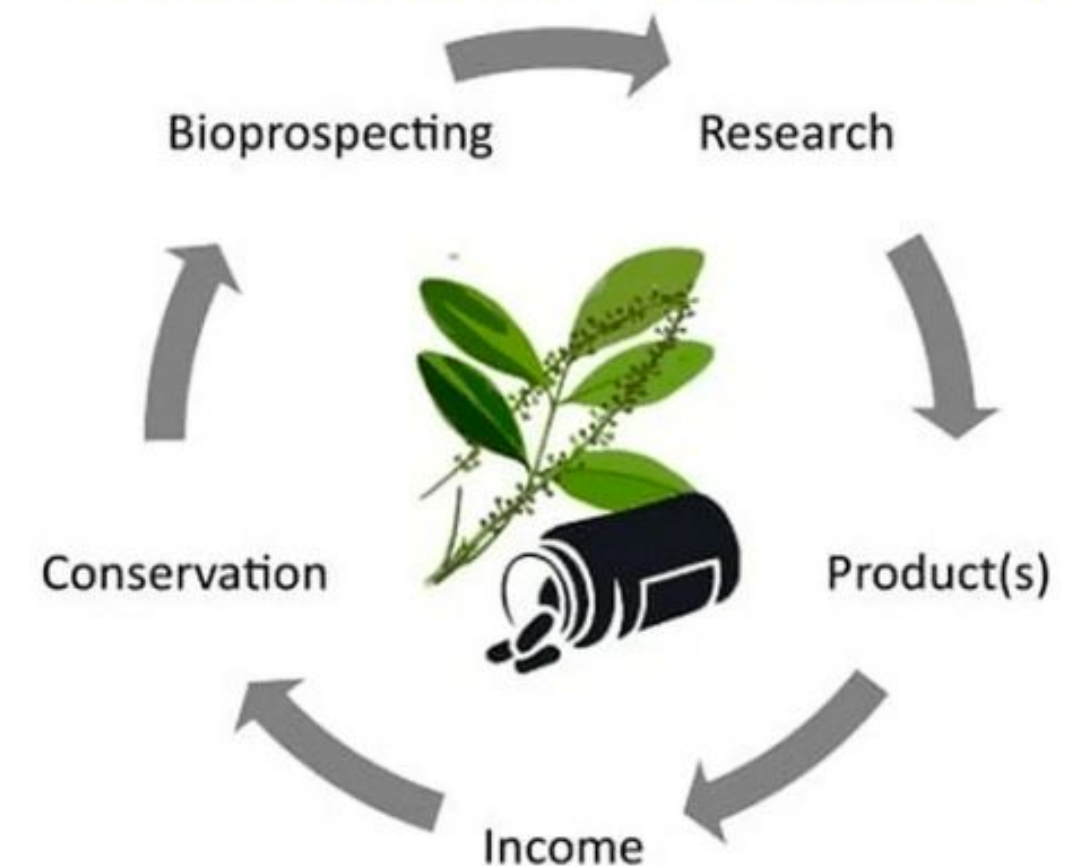
❑ **Bioprospeksi**

Pencarian senyawa bioaktif dari organisme di alam

- ❑ Bioprospeksi adalah pencarian harta karun di alam – pencarian senyawa biologis yang bermanfaat bagi masyarakat. Dilakukan dengan penuh tanggung jawab dan bertujuan untuk mengembangkan inovasi saintifik, konservasi lingkungan, dan kolaborasi yang adil dengan komunitas lokal dengan pengetahuan ekologis tradisional.

(Skirycz *et al.*, 2016)

WHAT IS BIOPROSPECTING?



(Source: Skirycz *et al.*, 2016.)



Apa Itu Bioprospeksi Kelautan?

- ❑ Bioprospeksi kelautan **terfokus pada biodiversitas laut dalam pencarian senyawa baru**
- ❑ Bioprospeksi kelautan adalah proses eksplorasi lingkungan laut untuk menemukan gen unik, molekul, dan organisme yang berpotensi digunakan dalam berbagai industri seperti, farmasi, kosmetik, kesehatan, dan produksi pangan.
- ❑ Proses ini didorong atas fakta bahwa laut secara relatif masih sedikit sekali tereksplor yang berpotensi menyimpan banyak senyawa baru, material, dan solusi-solusi dalam bioteknologi.

(Flemsæter, 2020)



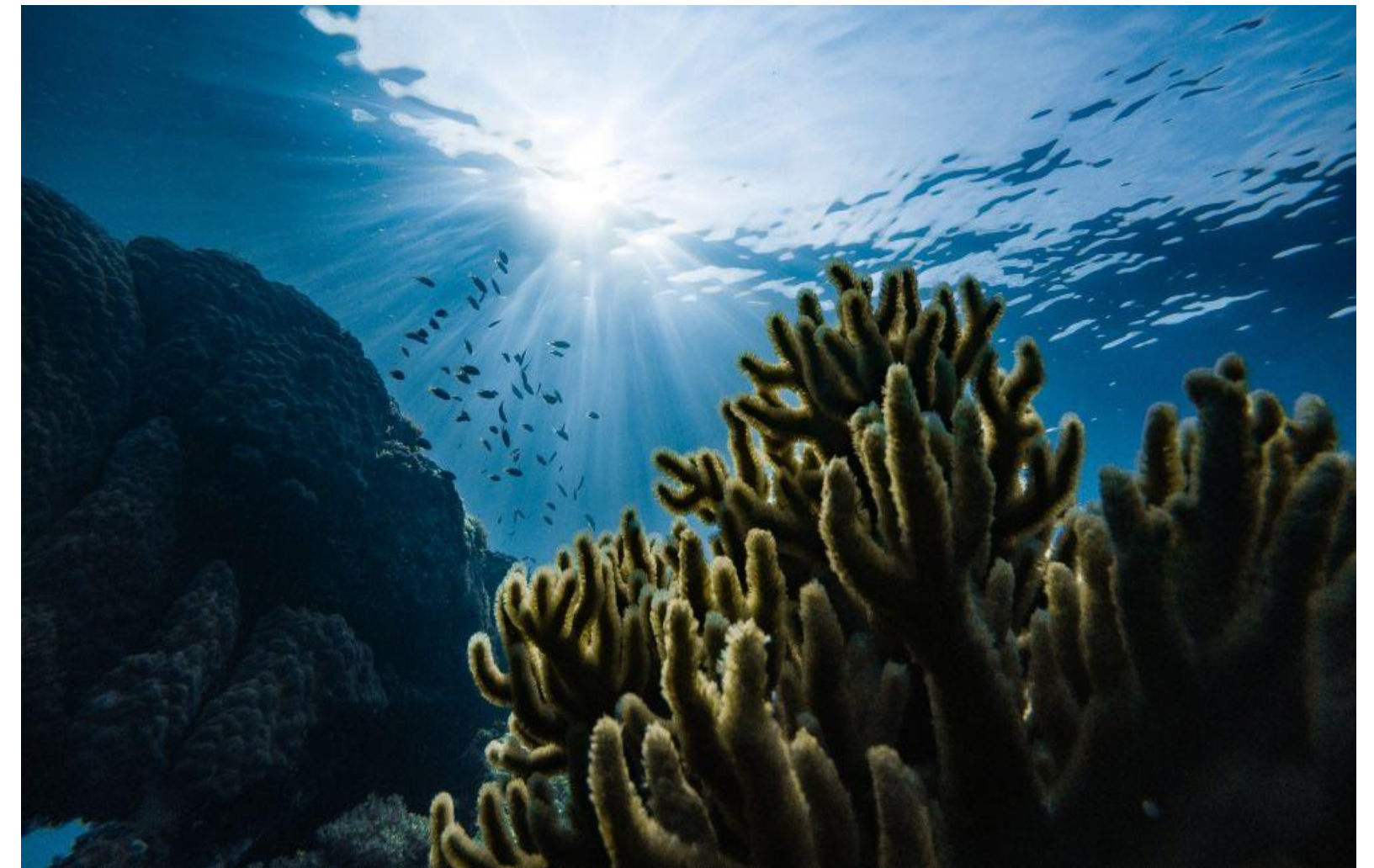
Co-funded by
the European Union



(Source: <https://www.asiaone.com/world/map-worlds-uncharted-ocean-beds-takes-shape-despite-crisis>)

Kenapa Laut?

- ❑ **Mengeksplorasi potensi bipspeksi kelautan sangatlah penting** karena wilayah laut masih sedikit sekali terekplor yang berpotensi menyimpan gen unik, molekul, dan organisme yang dapat digunakan untuk banyak terobosan di berbagai lini (Flemsæter, 2020).
- ❑ Laut meliputi 70% bumi dan berperan sebagai rumah bagi 90% biosfer
- ❑ Laut memiliki lingkungan yang ekstrem yang menyimpan potensi penemuan senyawa baru
- ❑ Laut memiliki biodiversitas spesies dan ekosistem yang tinggi (terumbu, celah hidrotermal, dll.)

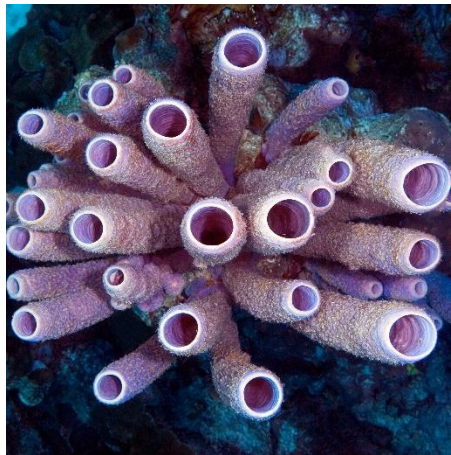


(Source: <https://www.asiaone.com/world/map-worlds-uncharted-ocean-beds-takes-shape-despite-crisis>)



Organisme Laut yang Diteliti

❑ Spons Laut



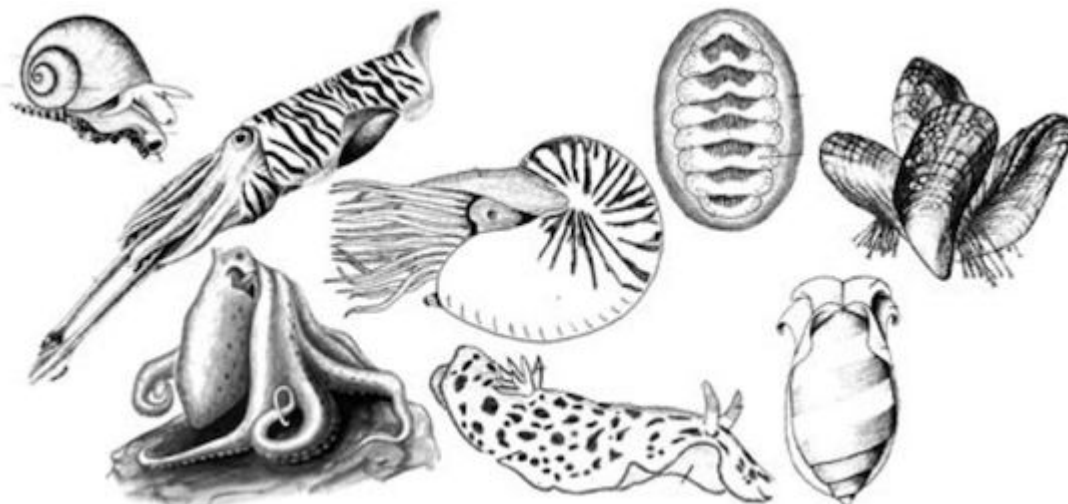
❑ *Cyanobacteria*



❑ Alga



❑ Tunikata, Moluska



❑ Fungi laut dan actinomycetes



Langkah-langkah dalam Bioprospeksi Kelautan

Bioprospeksi kelautan melibatkan beberapa langkah penting:

1. Pengoleksian sampel
2. Isolasi dan skrining senyawa bioaktif
3. Karakterisasi dan pengujian.
4. Pengembangan produk dan komersialisasi.

Proses ini bertujuan untuk menemukan dan memanfaatkan sumber daya biologis berharga yang berasal organisme laut yang digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti farmasi, nutrasetikal, dan produk industri.



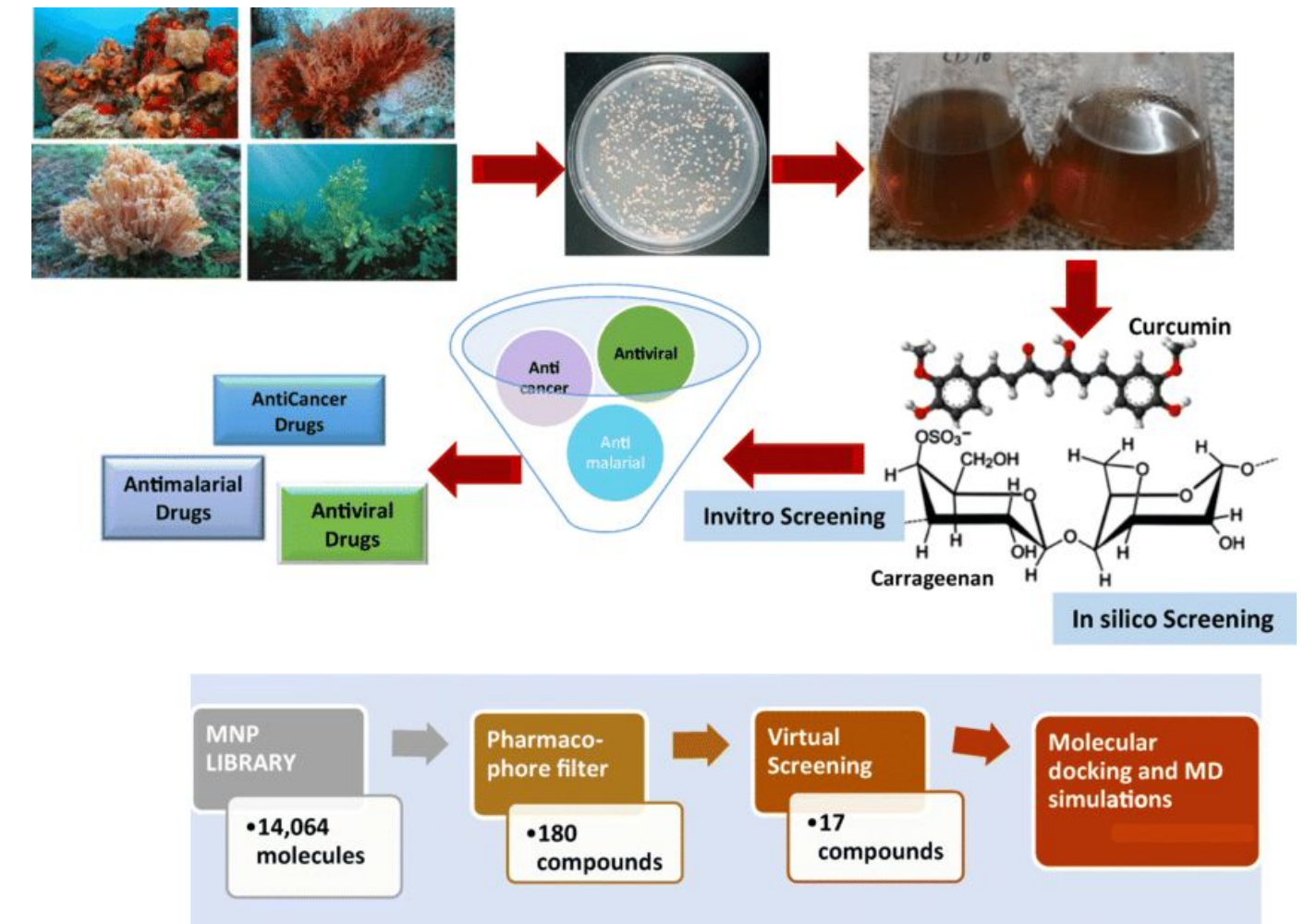
Langkah-langkah dalam Bioprospeksi Kelautan

1. Pengoleksian Sampel:

Fase ini meliputi eksplorasi dan pengoleksian organisme laut dari berbagai habitat seperti laut dalam, wilayah pesisir, dan area *reservoir* minyak. Tujuannya adalah untuk mengumpulkan sampel biologis yang beragam termasuk mikroorganisme, flora, dan fauna.

2. Isolasi dan Skrining:

Ketika sudah dikoleksi, sampel akan dibawa ke laboratorium untuk analisis lanjutan. Ilmuwan akan mengisolasi dan mengkultur mikroorganisme dan kemudian diskriminasi untuk melihat potensi senyawa bioaktif, yakni molekul yang menunjukkan aktivitas biologis yang diinginkan. Proses skrining biasanya melibatkan beragam *bioassay* untuk mengidentifikasi senyawa dengan potensi farmasi ataupun aplikasi industri.



(Source: Singh *et al.*, 2021)



Langkah-langkah dalam Bioprospeksi Kelautan

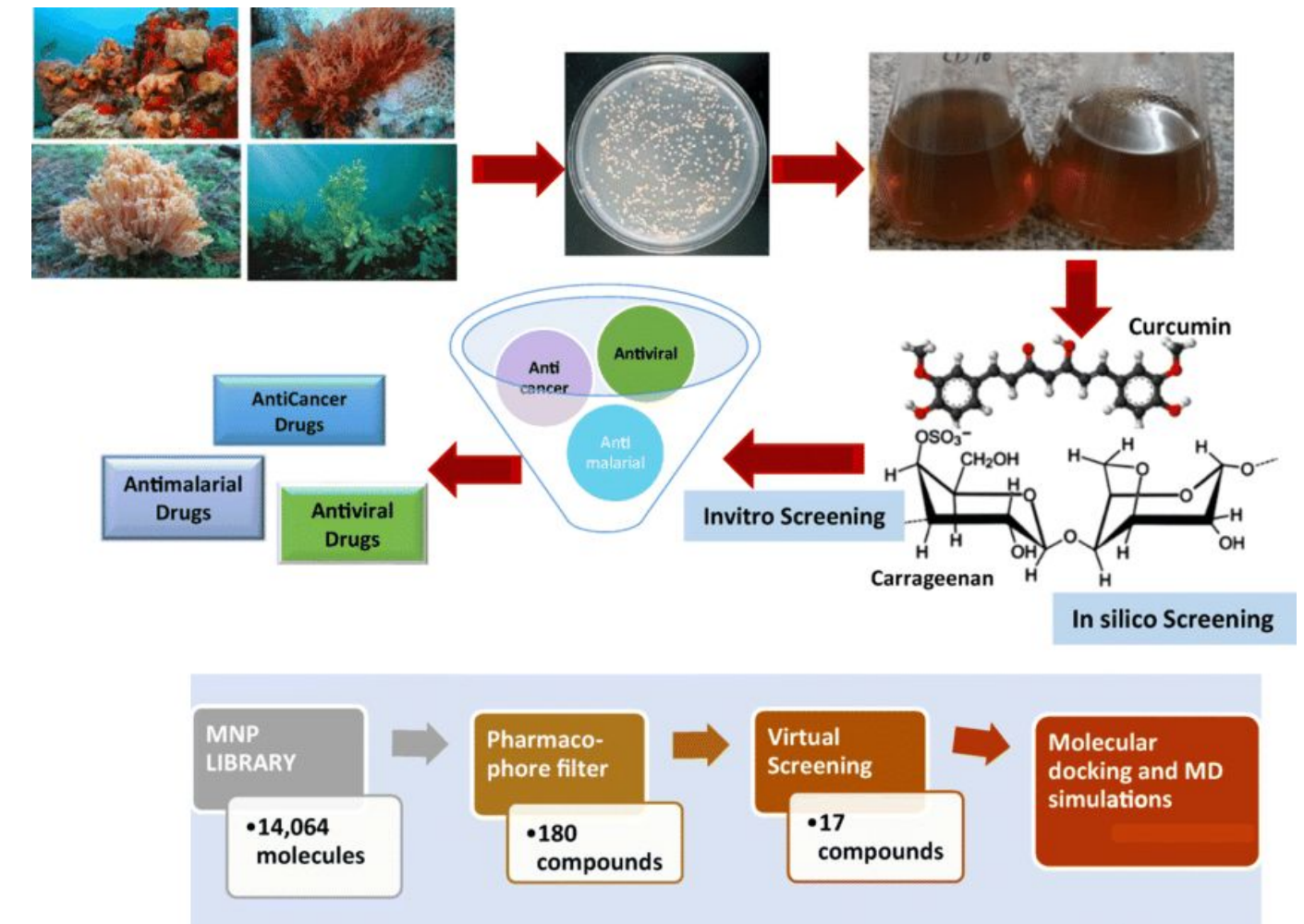
3. Karakterisasi dan Pengujian:

Setelah mengidentifikasi senyawa-senyawa yang potensial, dilakukan karakterisasi untuk menentukan struktur kimia, sifat-sifat, dan aktivitas biologisnya. Pengujian lanjutan dilakukan untuk menilai efektivitas, keamanan, dan potensi senyawa tersebut untuk dikembangkan menjadi produk yang dapat dipasarkan.

4. Pengembangan Produk dan Komersialisasi:

Fase akhir ini mencakup peningkatan skala produksi senyawa bioaktif, pengamanan hak kekayaan intelektual (paten), dan pengembangan produk untuk dipasarkan. Tahap ini juga melibatkan kegiatan pemasaran dan penjualan produk akhir.

(Singh *et al.*, 2021)



(Source: Singh *et al.*, 2021. Fig.3)

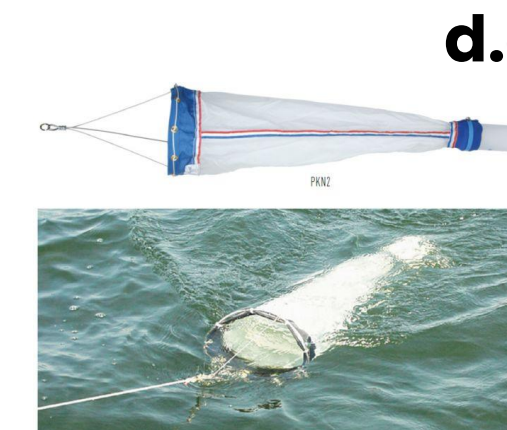
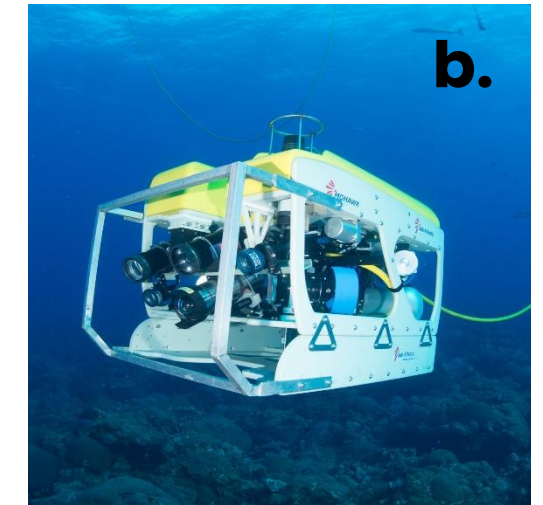
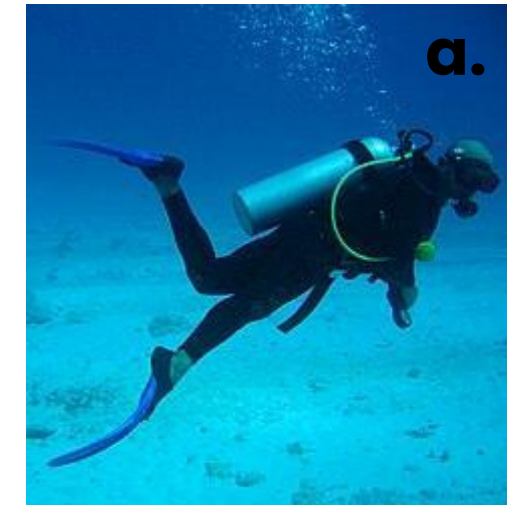
Teknik-teknik yang Digunakan dalam Bioprospeksi Kelautan

1. *Sampling* dan Pengoleksian

In iadalah tahap pertama, mengumpulkan materi biologi dari laut.

Teknik-teknik:

- Selam scuba:** Untuk organisme perairan dangkal (cth., spons laut, alga, tunikata).
- ROV (*Remotely Operated Vehicles*):** Untuk mengakses organisme laut dalam tanpa penyelam manusia.
- Pengambilan sampel sedimen/inti:** Untuk mikroba benthik atau organisme yang terkait dengan sedimen.
- Jaring plankton:** Untuk mengumpulkan mikroba, fitoplankton, atau zooplankton.
- Settlement Panel/Traps:** Untuk mengambil organisme *biofouling* yang seperti bakteri, tunikata, dan teritip.



Teknik-teknik yang Digunakan dalam Bioprospeksi Kelautan

2. Identifikasi Taksonomi

Penting untuk mengetahui organisme apa yang sedang dipelajari.

Teknik-teknik Techniques:

- Analisis morfologis: Metode klasik menggunakan kunci taksonomik yang berlandaskan kepada bentuk dan struktur organisme.
- DNA Barcoding*: Menggunakan sekuens gen spesifik (cth., COI, 16S rRNA) untuk mengidentifikasi spesies.
- Metagenomic: Untuk menganalisis DNA yang didapatkan langsung dari sampel lingkungan, terutama mikroorganisme yang sukar untuk dikultur.

3. Kultur dan Isolasi (Chang, et al., 2019)

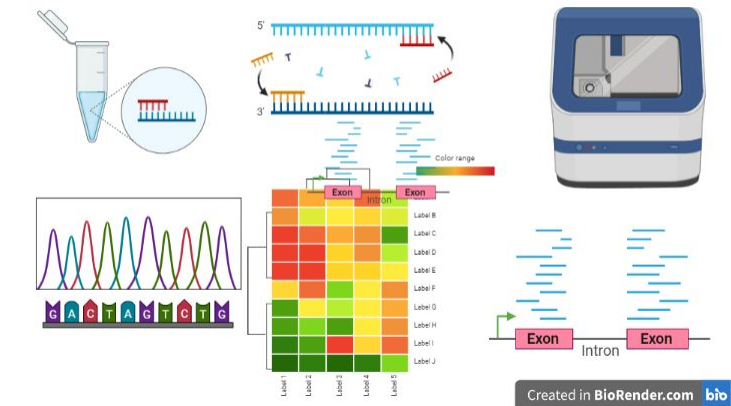
Banyak organisme (terutama mikroba) harus dikultur terlebih dahulu untuk mempelajari zat yang diproduksi.

Teknik-teknik:

- Media selektif: Mengkultur bakteri/fungi dari sedimen laut ataupun organisme lain.
- Ko-kultur: Menstimulasi produksi sesuatu senyawa dengan cara meniru interaksi suatu mikroba di alam.
- Kultur yang diperkaya: Meningkatkan pertumbuhan suatu organisme spesifik yang diinginkan (cth. actinomycetes).

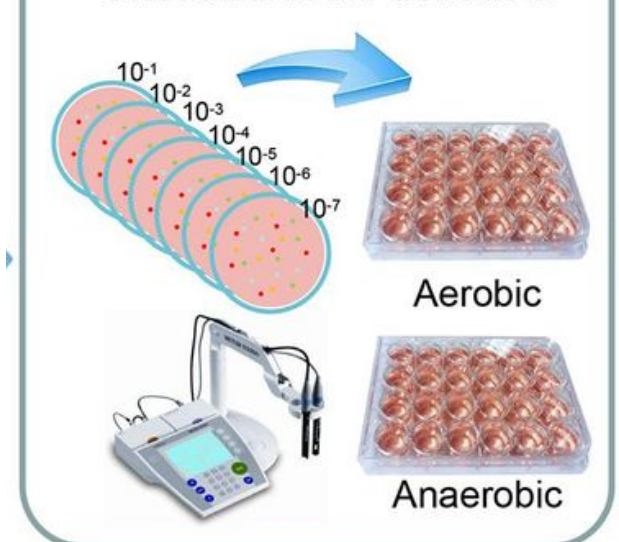


DNA BARCODING



(Source: <https://sciencevidid.com/dna-barcoding/>)

Subculture and enrichment culture



(Source: Chang et al., 2019)

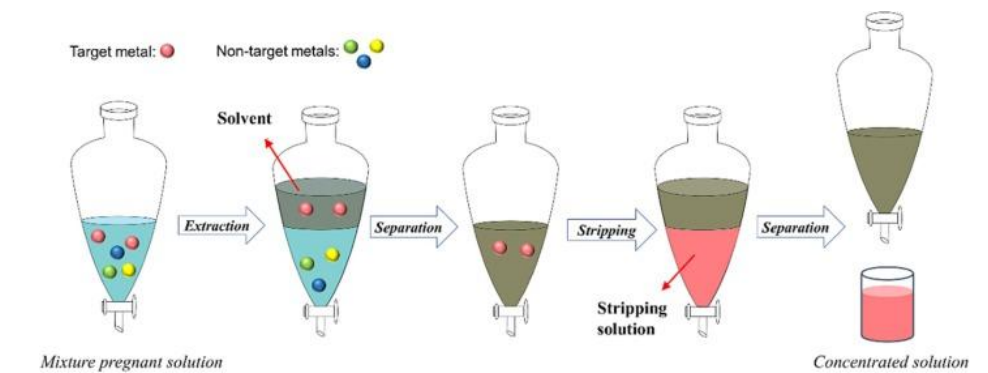
Teknik-teknik yang Digunakan dalam Bioprospeksi Kelautan

4. Ekstraksi Senyawa (Erkey, 2011)

Biomolekul diekstraksi untuk pengujian.

Teknik-teknik:

- Ekstraksi Pelarut:** Menggunakan etanol, metanol, heksana, dan pelarut lainnya untuk mengekstraksi berbagai jenis senyawa.
- Solid-Phase Extraction (SPE):** Memusatkan dan memurnikan senyawa dari sampel cair.
- Supercritical Fluid Extraction (SFE):** Teknik kimia ramah lingkungan yang menggunakan CO₂ untuk proses ekstraksi.



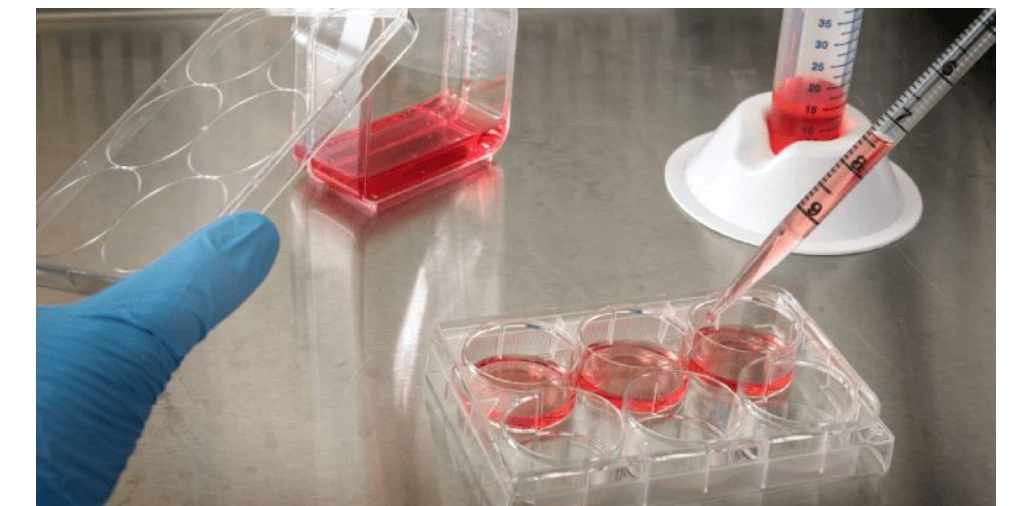
(Source: Erkey, 2011)

5. Skrining Bioaktivitas

Untuk menguji apakah senyawa yang diekstraksi aktif secara biologis (cth, antikanker, antimikroba).

Teknik-teknik:

- Pengujian *In-vitro* :
 - Assay sitotoksik (cth, MTT, LDH)
 - Assay antibakteri (cth, tes MIC)
 - Inhibisi enzim (cth, protease, kinase)
- Assay Gen Reporter: Menggunakan marka *fluorescent* atau *luminescent*.
- High-throughput Screening* (HTS): Mengotomatisasi pengujian ribuan sampel.



(Source: <https://www.csescienceeditor.org/article/how-life-science-journals-can-be-champions-of-better-material-sharing-and-reporting/>)

Teknik-teknik yang Digunakan dalam Bioprospeksi Kelautan

6. Isolasi dan Elusidasi Struktur

Setelah suatu senyawa aktif, maka harus dipurifikasi dan diidentifikasi

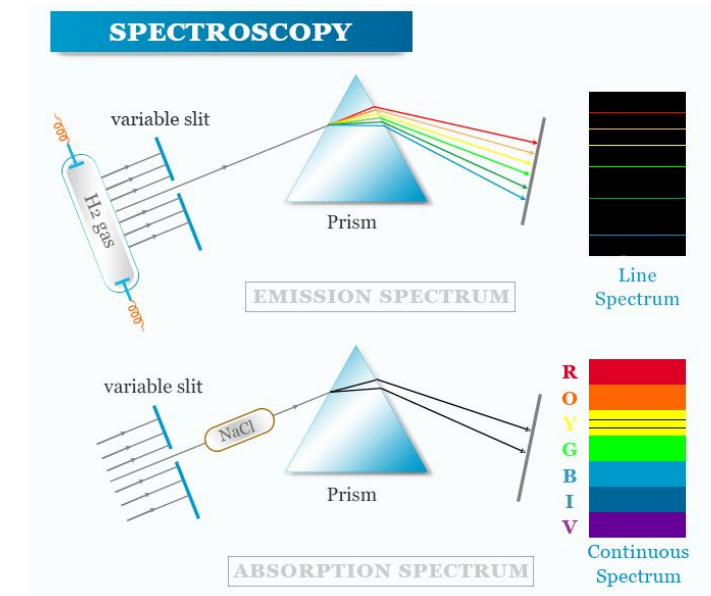
Teknik-teknik:

a. Kromatografi:

- *Thin Layer Chromatography* (TLC)
- *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC)
- *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

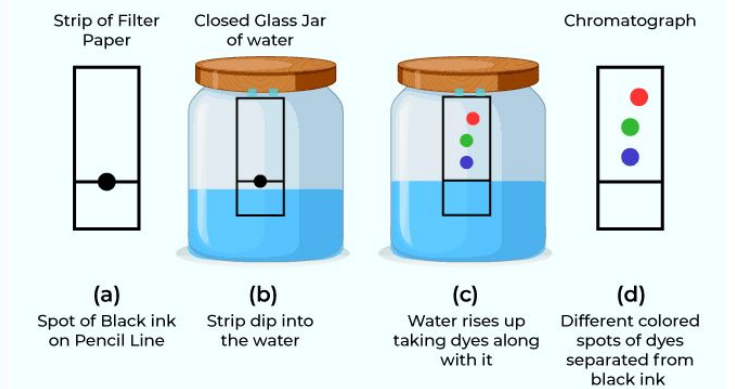
b. Spektroskopi:

- *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR)
- *UV-Vis* dan *IR spectroscopy*
- *Mass Spectrometry* (MS)



(Source: <https://www.priyamstudycentre.com/chemistry/spectroscopy/>)

Chromatography



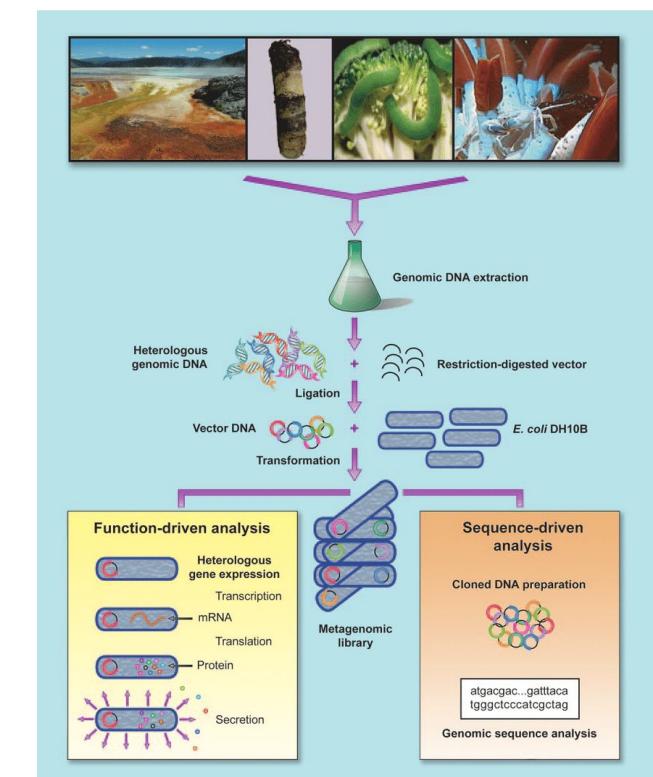
(Source: <https://www.geeksforgeeks.org/chemistry/chromatography/>)

7. Pendekatan Genomik dan Sintetik

Digunakan ketika suatu organisme tidak dapat dikultur dan langka.

Teknik-teknik:

- *Metagenomic Libraries*: Mengklon DNA lingkungan ke dalam sel inang untuk memproduksi senyawa yang diinginkan.
- *Genome Mining*: Mencari kluster gen biosintesis (cth., *polyketide synthase*).
- Biologi Sintetik: Memasukan gen ke dalam sel organisme model (seperti *E. coli*) untuk memproduksi senyawa yang diinginkan.



(Source: <https://www.bio.davidson.edu/courses/genomics/2014/Cambronero/Metagenomics.html>)



Senyawa Bioaktif dari Laut

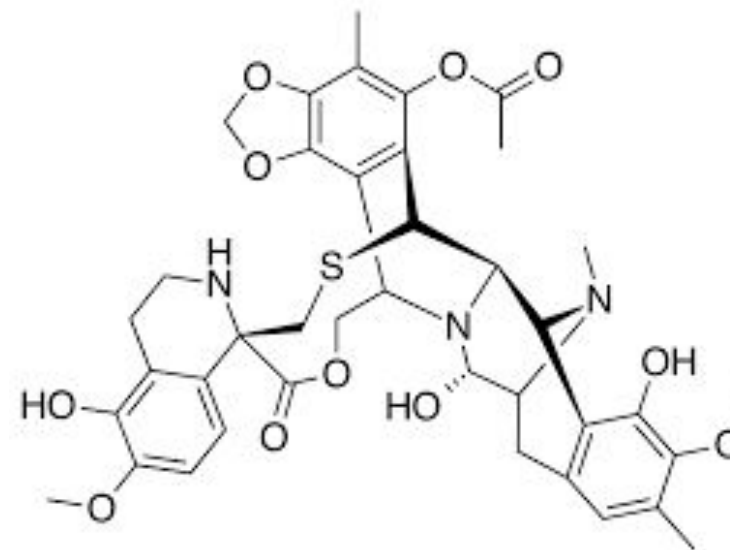
❑ **Trabectedin** (van Kesteren *et al.*, 2003)

Trabectedin, obat antikanker, merupakan senyawa yang berasal dari laut dan awalnya diisolasi dari tunikata Karibia *Ecteinascidia turbinata*.

Merupakan molekul semi-sintetik pengikat DNA, dengan target spesifik, yakni alur kecil (*minor groove*) DNA. Interaksi ini mendistorsi struktur heliks ganda DNA, memicu kerusakan DNA, dan pada akhirnya mendorong kematian sel kanker (apoptosis).



Ecteinascidia turbinata.



(Source: van Kesteren *et al.*, 2003)



Aplikasi di Industri

❑ Kesehatan: kanker, infeksi



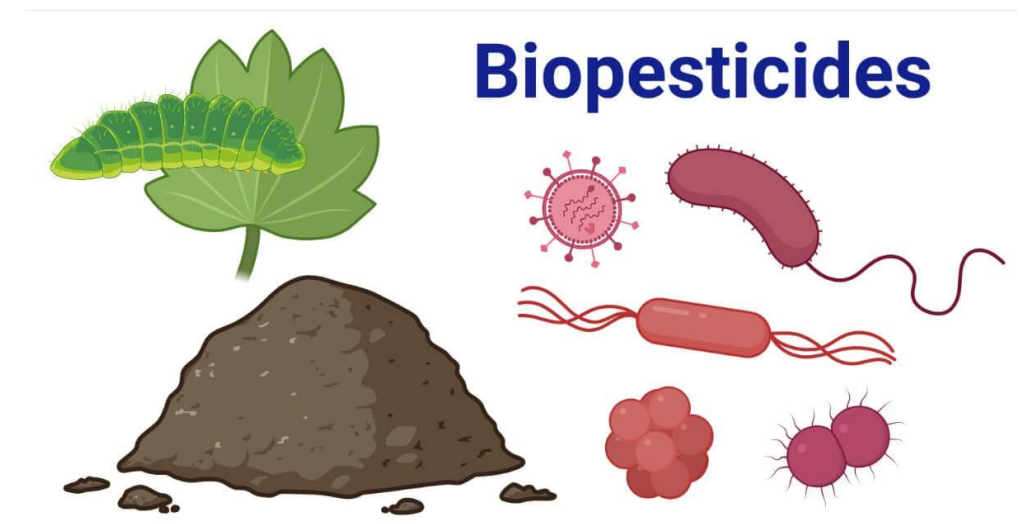
❑ Nutrasetikal: alga omega-3



❑ Kosmetik: tabir surya



❑ Agrikultur: biopestisida



Aplikasi di Industri Kesehatan: Kanker, Infeksi

1. Terapi Kanker

Beberapa senyawa dari organisme laut telah dikembangkan sebagai **obat antikanker**:

a) Trabectedin (Yondelis®) (van Kesteren *et al.*, 2003)

Sumber: *Ecteinascidia turbinata* (ascidia laut)

Aksi: Mengikat DNA dan mengganggu siklus sel pada sel kanker

Penggunaan: Telah disetujui untuk pengobatan sarkoma jaringan lunak dan kanker ovarium

Dikomersilkan oleh: PharmaMar



b) Eribulin (Halaven®) (Menis, *et al.*, 2011)

Sumber: Analog sintetis dari halichondrin B yang berasal dari spons laut (*Halichondria okadai*)

Aksi: Menghambat dinamika mikrotubulus pada sel kanker

Penggunaan: Untuk pengobatan kanker payudara metastatik dan liposarkoma

Dikomersilkan oleh: Eisai Co., Jepang



c) Bryostatin 1 (Kowalczyk *et al.*, 2025)

Sumber: *Bugula neritina* (bryozoa)

Penggunaan: Diteliti untuk pengobatan leukemia, limfoma, dan sebagai modulator sistem imun

Mekanisme: Memodulasi aktivitas protein kinase C (PKC)



Aplikasi di Industri Kesehatan: Kanker, Infeksi

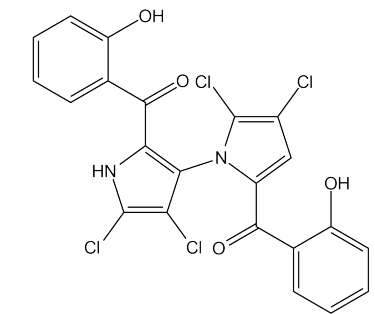
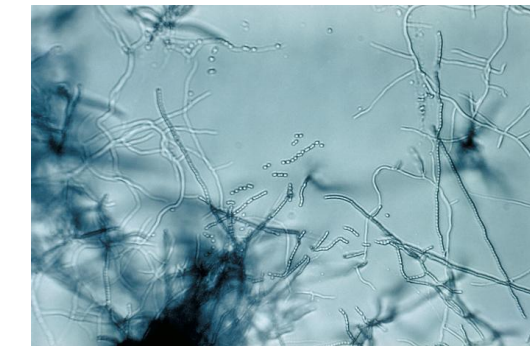
1. Infeksi

Agen Antivirus dan Antimikroba

a) **Marinopyrrole A** (Hughes *et al.*, 2010)

Sumber: *Streptomyces* spp. dari sedimen laut

Penggunaan: Aktivitas antibakteri spektrum luas, termasuk terhadap MRSA (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*)

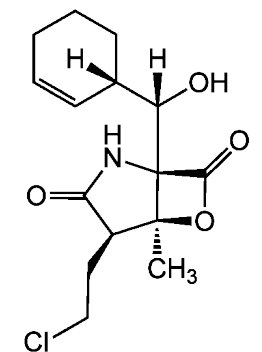
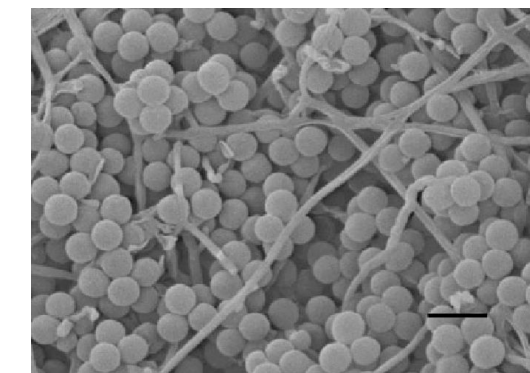


b) **Salinosporamide A (Marizomib)** (Feling *et al.*, 2003)

Sumber: *Salinispora tropica*, aktinomiset laut

Aksi: Inhibitor proteasome

Status: Dalam uji klinis untuk *multiple myeloma* dan glioblastoma

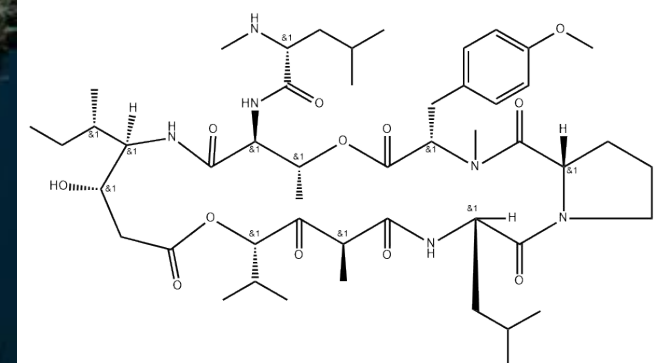


c) **Didemnins** (Rinehart *et al.*, 1981)

Sumber: *Trididemnum solidum* (ascidia laut)

Penggunaan: Antivirus dan antikanker (misalnya, plitidepsin menunjukkan potensi terhadap SARS-CoV-2 dan *multiple myeloma*)

Dikomersilkan oleh: PharmaMar



Aplikasi di Kosmetik: Tabir Surya

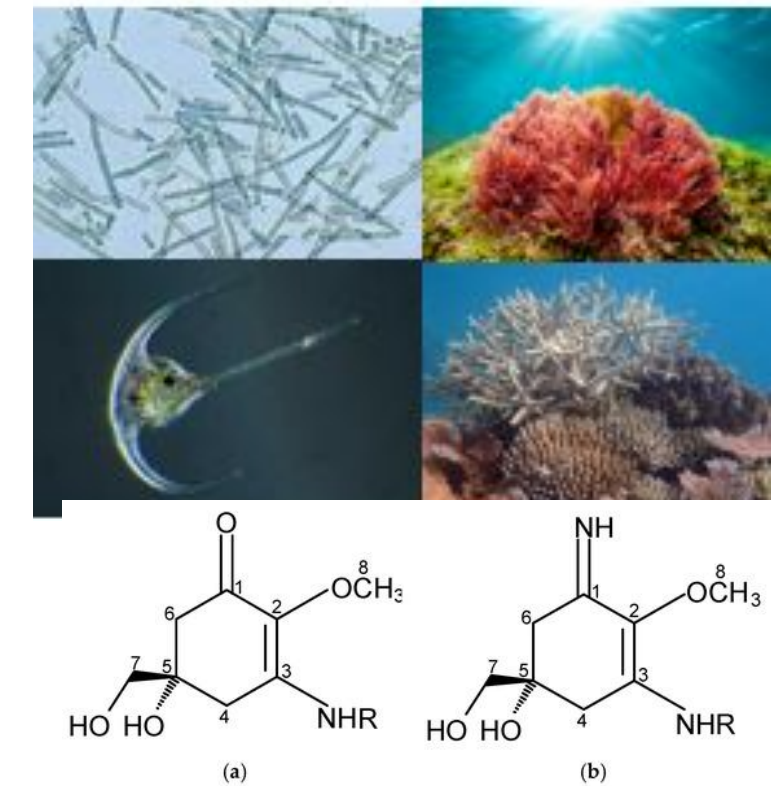
A. *Mycosporine-like Amino Acids (MAAs)* (Singh *et al.*, 2021)

Sumber: *Cyanobacteria*, alga merah, dinoflagellata, dan karang

Fungsi: Bertindak sebagai tabir surya alami yang menyerap radiasi UV-A dan UV-B (310–360 nm)

Sifat: Fotostabil (tidak mudah terdegradasi oleh sinar matahari), larut dalam air, memiliki aktivitas antioksidan

Aplikasi: Digunakan dalam formulasi tabir surya alami, serta dimasukkan ke dalam produk anti-penuaan dan pelembab



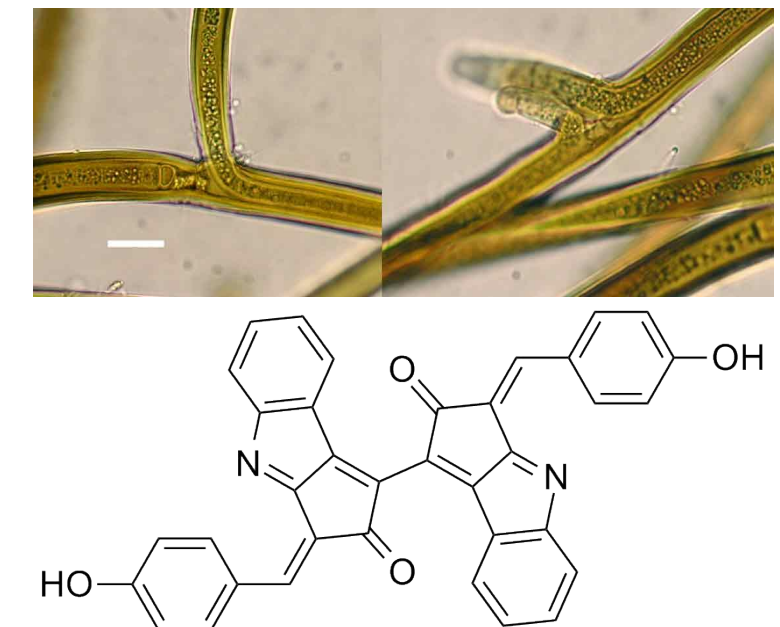
B. *Scytonemin* (Ručová *et al.*, 2023)

Sumber: Sianobakteri (misalnya, spesies *Scytonema*)

Fungsi: Penyerap UV-A yang kuat

Sifat: Larut dalam lipid, memiliki aktivitas antiinflamasi dan antioksidan

Aplikasi: Berpotensi digunakan dalam kosmetik antipenuaan akibat paparan sinar matahari



Aplikasi di Kosmetik: Tabir Surya

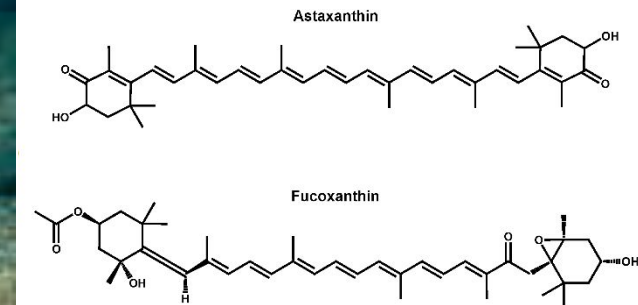
C. Karotenoid Laut (Shah *et al.*, 2025)

Contoh: Astaxanthin, fucoxanthin

Sumber: Mikroalga, rumput laut, dan crustacea

Fungsi: Antioksidan yang melindungi dari stres oksidatif akibat paparan sinar UV

Aplikasi: Formulasi oral dan topikal, memiliki efek anti-kerut, pencerah kulit, dan antiinflamasi



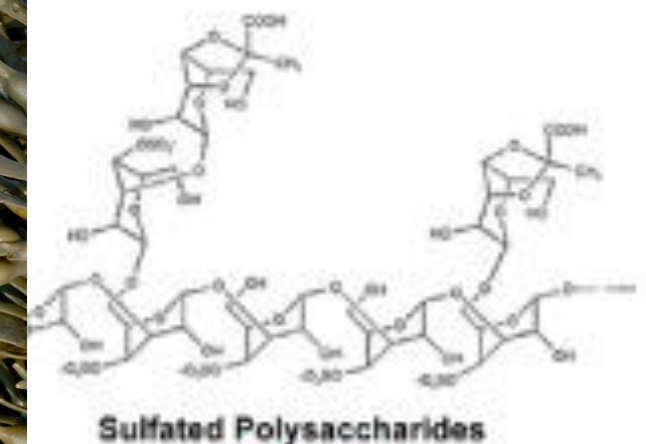
D. Polisakarida dari Alga (Li *et al.*, 2024)

Contoh: Polisakarida tersulfat

Sumber: Alga coklat dan alga merah

Fungsi: Memberikan hidrasi dan melindungi lapisan kulit; beberapa juga memiliki kemampuan menyaring sinar UV

Aplikasi: Meningkatkan perlindungan kulit dan sering digunakan bersama bahan aktif lainnya



Aplikasi di Kosmetik: Tabir Surya

Alga Omega-3 (Parrish, 2024)

Bioprospeksi kelautan telah menghasilkan penemuan berbagai senyawa bioaktif, dengan asam lemak omega-3 menjadi salah satu produk nutrasetikal yang paling sukses secara komersial. Asam lemak esensial ini, terutama asam *eicosapentaenoate* (EPA) dan asam dokos heksanoat (DHA), berasal dari sumber laut dan memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan manusia.

Sources:

Mikroalga (Alternatif yang berkelanjutan)

- ❑ *Schizochytrium* sp. (mengandung DHA tinggi)
- ❑ *Cryptocodinium cohnii* (digunakan dalam suplemen omega-3 vegan)
- ❑ *Phaeodactylum tricornutum* (mengandung EPA)

Penggunaan Komersial:

Suplemen minyak alga
(misalnya Life's DHA® oleh DSM, Neuromins® oleh Martek)



Aplikasi di Nutrasetikal

Contoh Produk dan Merk:

a) Helioguard® 365:

Mengandung MAA dari alga merah (*Porphyra umbilicalis*); digunakan sebagai penyaring UV-A alami dalam krim kosmetik.



(Schimd *et al.*, n.d.)

b) Blue Light Protection by Algaktiv®:

Memanfaatkan MAA sebagai perlindungan dari sinar biru dan UV



(Algaktiv, 2024)

c) Bioastin®:

Suplemen dan bahan topikal yang kaya akan astaxanthin, yang digunakan dalam *skincare* antipenuaan dan anti UV



(Ambati *et al.*, 2014)



Aplikasi di Agrikultur: Biopestisida

Rumput Laut (Makroalga) (Ganesh et al., 2024)

Rumput laut coklat, hijau, dan merah mengandung senyawa seperti fucoidan, phlorotannin, polifenol, peptida, dan polisakarida yang memiliki efek pestisida (herbisida, fungisida, insektisida, nematisida, dan penolak hama).

Contoh:

- ❑ Ekstrak *Ascophyllum nodosum* meningkatkan ketahanan terhadap patogen jamur dan bakteri pada tanaman seperti tomat dan jagung, dengan cara mengaktivasi enzim pertahanan tanaman.
- ❑ Spesies *Gracilaria*, *Ulva lactuca*, dan *Sargassum* menunjukkan efek insektisida, fungisida, nematisida, serta sebagai penolak hama melalui berbagai metode ekstraksi.



Ascophyllum nodosum



Ulva lactuca



Gracilaria



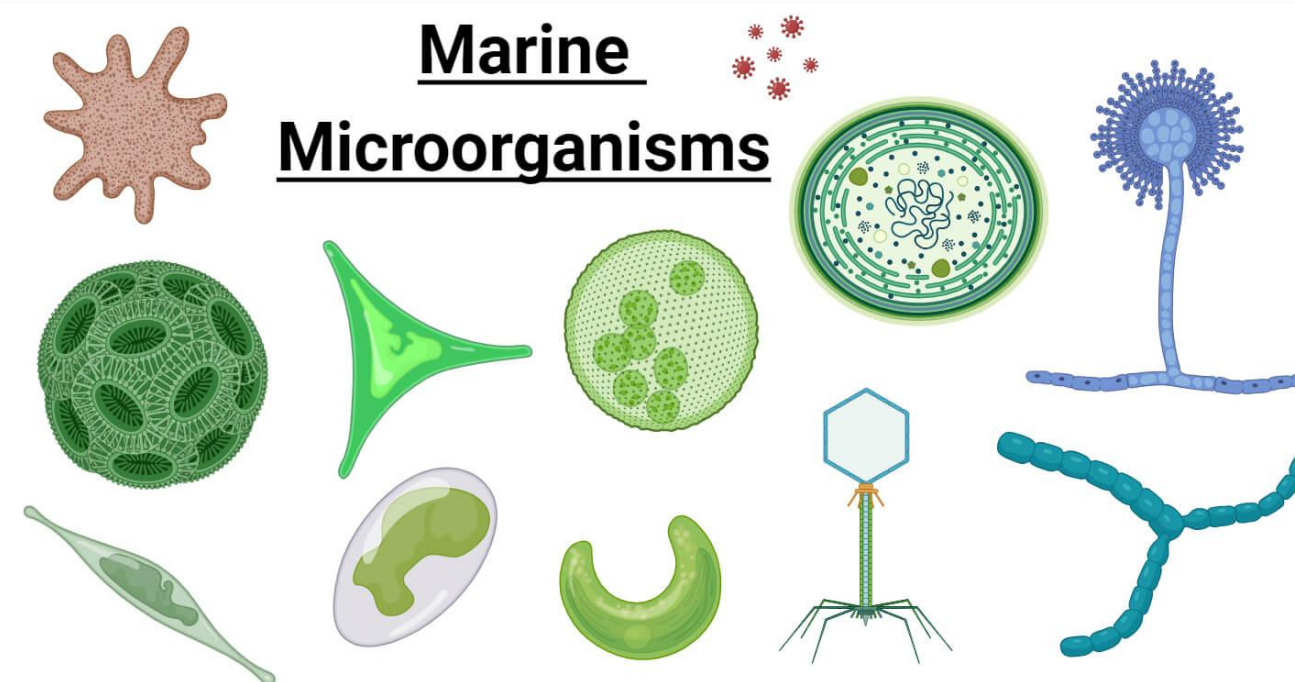
Sargassum

Aplikasi di Agrikultur: Biopestisida

Mikroorganisme dan Fungi Laut (Rodrigues et al., 2022)

Jamur laut dan actinomycetes menghasilkan alkaloid, peptida, dan poliketida baru yang memiliki aktivitas kuat sebagai antipatogen tanaman dan insektisida.

Sebagai contoh, beberapa jamur laut menghasilkan senyawa yang aktif melawan patogen tanaman berdasarkan uji laboratorium. Pestisida yang telah dikenal mencakup analog neristoksin dan alkaloid/insektisida baru yang berasal dari karang dan spons seperti manzamine A, hidroksi kolorenon, dan pirido akridin yang menunjukkan aktivitas spesifik terhadap hama pertanian.



Permasalahan Etika, Legalitas, dan Lingkungan



Permasalahan Etika, Legalitas, dan Lingkungan

❑ Protokol Nagoya

Protokol Nagoya adalah perjanjian internasional di bawah *Convention on Biological Diversity* (CBD) yang bertujuan untuk memastikan pembagian manfaat yang adil dan setara dari pemanfaatan sumber daya genetik dan pengetahuan tradisional yang terkait.

Protokol ini menetapkan kerangka hukum atas akses terhadap sumber daya genetik dan pengetahuan tradisional terkait, serta mendorong transparansi dan kepastian hukum bagi pihak penyedia maupun pengguna.

(Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011)



Permasalahan Etika, Legalitas, dan Lingkungan

❑ *Access & Benefit-Sharing (ABS)*

Bioprospeksi kelautan memerlukan kerangka Akses dan Pembagian Manfaat (*Access and Benefit-Sharing/ABS*) guna memastikan distribusi manfaat yang adil dan setara dari pemanfaatan sumber daya tersebut.

Kerangka ini mengatasi tantangan dalam mengakses sumber daya genetik laut, khususnya di wilayah yang berada di luar yurisdiksi nasional, dan bertujuan untuk mendistribusikan keuntungan dari komersialisasi produk yang berasal dari sumber daya tersebut secara adil.

Aspek Kunci dari Bioprospeksi Kelautan ABS:

- **Akses:**

Menentukan siapa yang dapat mengakses sumber daya genetik dari laut dan apa syaratnya.

- **Pembagian Manfaat:**

Membangun mekanisme untuk pembagian manfaat yang didasari oleh penggunaan sumber daya genetik dari laut.

- **Hukum Internasional:**

UN Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) dan Protokol Nagoya mengatur akses dan pembagian manfaat atas sumber daya genetik.

- **Monitoring dan Kepatuhan:**

Menerapkan langkah-langkah efektif untuk memantau pemanfaatan sumber daya genetik laut dan memastikan kepatuhan terhadap perjanjian ABS..



Permasalahan Etika, Legalitas, dan Lingkungan

❑ Pembajakan Hayati

Pembajakan hayati dalam bioprospeksi kelautan merujuk pada pengambilan dan komersialisasi sumber daya genetik serta pengetahuan tradisional dari laut secara tidak sah atau tidak etis, yang sering kali dilakukan tanpa kompensasi yang adil atau pembagian manfaat kepada komunitas atau negara asal sumber daya tersebut.

Aspek utama pembajakan hayati dalam bioprospeksi laut:

- **Akses Tanpa Izin:**

Mengakses sumber daya genetik laut (seperti mikroorganisme, tumbuhan, dan hewan) tanpa izin yang sah dari otoritas atau komunitas terkait.

- **Komersialisasi Tanpa Pembagian Manfaat:**

Produk dikomersialisasikan tanpa pembagian manfaat yang adil kepada komunitas atau negara asal sumber daya tersebut.

- **Eksplorasi Pengetahuan Tradisional:**

Pengetahuan tradisional dimanfaatkan tanpa pengakuan atau kompensasi yang layak kepada komunitas adat yang memilikinya.

- **Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati dan Komunitas:**

Menyebabkan penurunan sumber daya laut, berdampak negatif terhadap keanekaragaman hayati, dan merugikan komunitas lokal dari potensi manfaat ekonomi serta warisan budaya mereka.



Rangkuman

- ❑ Bioprospeksi Kelautan = masa depan bioteknologi
- ❑ Potensi bagi inovasi kesehatan, pangan dan lingkungan
- ❑ Membutuhkan sains, etika, dan kebijakan



Bibliografi

Davidson, S.K., Allen, S.W., Lim, G.E., Anderson, C.M. and Haygood, M.G. (2001). Evidence for the Biosynthesis of Bryostatins by the Bacterial Symbiont 'Candidatus Endobugula sertula' of the Bryozoan Bugula neritina. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(10), pp.4531–4537. doi:<https://doi.org/10.1128/aem.67.10.4531-4537.2001>.

Flemsæter, F. (2020). Regulating marine bioprospecting. Exploring the establishment of new regulatory regimes in the blue bioeconomy. *Ocean & Coastal Management*, 194, p.105207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105207>.

Ganesh, C., Pullagura, S., Nagendra, Urkude, A. and Yadav, M. (2024). Marine Bioprospecting: Novel Use of Ocean Resources. *Vigyan Varta*, [online] 5(10). Available at: https://www.vigyanvarta.in/adminpanel/upload_doc/VV_1024_22-C.pdf.

Hosseini, H., Al-Jabri, H.M., Moheimani, N.R., Siddiqui, S.A. and Saadaoui, I. (2022). Marine microbial bioprospecting: Exploitation of marine biodiversity towards biotechnological applications—a review. *Journal of Basic Microbiology*. doi:<https://doi.org/10.1002/jobm.202100504>.

Rodrigues, C.J.C. and de Carvalho, C.C.C.R. (2022). Marine Bioprospecting, Biocatalysis and Process Development. *Microorganisms*, 10(10), p.1965. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms10101965>.

Shetty, N. and Gupta, S. (2014). Eribulin drug review. *South Asian Journal of Cancer*, [online] 3(1), pp.57–59. doi:<https://doi.org/10.4103/2278-330X.126527>.

Shukla, P.S., Mantin, E.G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A.T. and Prithiviraj, B. (2019). Ascophyllum nodosum–Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. *Frontiers in Plant Science*, 10. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>.

Singh, A., Čížková, M., Bišová, K. and Vítová, M. (2021). Exploring Mycosporine–Like Amino Acids (MAAs) as Safe and Natural Protective Agents against UV–Induced Skin Damage. *Antioxidants*, 10(5), p.683. doi:<https://doi.org/10.3390/antiox10050683>.

van Kesteren, Ch., de Vooght, M.M.M., López-Lázaro, L., Mathôt, R.A.A., Schellens, J.H.M., Jimeno, J.M. and Beijnen, J.H. (2003). Yondelis® (trabectedin, ET-743): the development of an anticancer agent of marine origin. *Anti-Cancer Drugs*, 14(7), pp.487–502. doi:<https://doi.org/10.1097/00001813-200308000-00001>.



Bibliografi

Menis, J., & Twelves, C. (2011). Eribulin (Halaven): A new, effective treatment for women with heavily pretreated metastatic breast cancer. *Breast Cancer: Targets and Therapy*, 3, 101–111. <https://doi.org/10.2147/BCTT.S21741> \

Skirycz, A., Kierszniowska, S., Méret, M., Willmitzer, L., & Tzotzos, G. (2016). Medicinal bioprospecting of the Amazon rainforest: A modern Eldorado? *Trends in Biotechnology*, 34(10), 781–790. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.03.006>

Singh, R., Chauhan, N., & Kuddus, M. (2021). Exploring the therapeutic potential of marine-derived bioactive compounds against COVID-19. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 52798–52809. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16104-6>

Chang, Y., Hou, F., Pan, Z., Huang, Z., Han, N., Bin, L., Deng, H., Li, Z., Ding, L., Gao, H., Zhi, F., Yang, R., & Bi, Y. (2019). Optimization of culturomics strategy in human fecal samples. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2891. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02891>

Erkey, C. (2009). Supercritical Fluids and Their Applications. In M. A. McHugh & V. J. Krukonis (Eds.), *Supercritical Fluid Science and Technology* (pp. 135–176). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045329-3.00006-8>

Kowalczyk, T., Gawel, D., & Gawel, K. (2025). Anticancer activity of the marine-derived compound Bryostatin 1. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(16), 7765. <https://doi.org/10.3390/ijms26167765>

Hughes, C. C., MacMillan, J. B., Gaudêncio, S. P., Jensen, P. R., & Fenical, W. (2010). Marinopyrrole A: Antibiotic activity and synthesis. *Organic Letters*, 12(18), 4228–4231. <https://doi.org/10.1021/ol101801r>

Feling, R. H., Buchanan, G. O., Mincer, T. J., Kauffman, C. A., Jensen, P. R., & Fenical, W. (2003). Salinosporamide A: A highly cytotoxic proteasome inhibitor from a novel marine bacterium. *Angewandte Chemie International Edition*, 42(3), 355–357. <https://doi.org/10.1002/anie.200390119>

Rinehart, K. L., Holt, T. G., Fregeau, N. L., Stroh, J. G., Keifer, P. A., Sun, F., & Li, L. H. (1981). Didemnins: Antiviral and antitumor depsipeptides from a Caribbean tunicate. *Journal of the American Chemical Society*, 103(7), 1857–1859. <https://doi.org/10.1021/ja00400a056>



Bibliografi

Ručová, D., Vilková, M., Sovová, S., Vargová, Z., Kostecká, Z., Frenák, R., Routray, D., & Bačkor, M. (2023). Photoprotective and antioxidant properties of scytonemin isolated from Antarctic cyanobacterium *Nostoc commune* and its potential as sunscreen ingredient. *Journal of Applied Phycology*, 35, 2839–2850. <https://doi.org/10.1007/s10811-023-03109-6>

Shah, F. I., Imran, H., Akram, F., Khalid, T., & Shehzadi, S. (2025). Marine carotenoids: Unlocking advanced antioxidant mechanisms and therapeutic applications for oxidative stress. *Molecular Biotechnology*.
<https://doi.org/10.1007/s12033-025-01420-w>

Li, C., Wang, H., Zhu, B., Yao, Z., & Ning, L. (2024). Polysaccharides and oligosaccharides originated from green algae: Structure, extraction, purification, activity and applications. *Bioresources and Bioprocessing*, 11, Article 85.
<https://doi.org/10.1186/s40643-024-00800-5>

Parrish, C. C. (2024). Thraustochytrids and algae as sustainable sources of long-chain omega-3 fatty acids for aquafeeds. *Sustainability*, 16(21), 9142. <https://doi.org/10.3390/su16219142>

Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2011). Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity: Text and annex. United Nations. <https://www.cbd.int/abs/text>

Ambati, R. R., Phang, S.-M., Ravi, S., & Aswathanarayana, R. G. (2014). Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications—A review. *Marine Drugs*, 12(1), 128–152. <https://doi.org/10.3390/md12010128>

Schmid, D., Schürch, C., & Züllig, F. (n.d.). Helioguard® 365: Mycosporine-like amino acids from red algae protect against premature skin aging. *Mibelle Biochemistry*. Retrieved from:
<https://www.personalcaremagazine.com/story/44274/algaktiv-reveals-retinart-clinical-study-findings>

Algaktiv. (2024). Algaktiv RetinART: Clinical study findings on marine-based retinol alternative. *Personal Care Magazine*. Retrieved from: [Algaktiv reveals RetinArt clinical study findings](#)



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

