

Tren, Peluang, dan Jejaring dalam Bioteknologi Kelautan

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



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



Daftar Isi

01

Tren dalam Bioteknologi Kelautan

02

Peran Quadruple Helix

03

Potensi Kelautan di Indonesia

04

Keanekaragaman Hayati yang Luas dan Belum
Tergali di Indonesia

05

Economic Opportunities and Industries in Indonesia

06

Kesimpulan

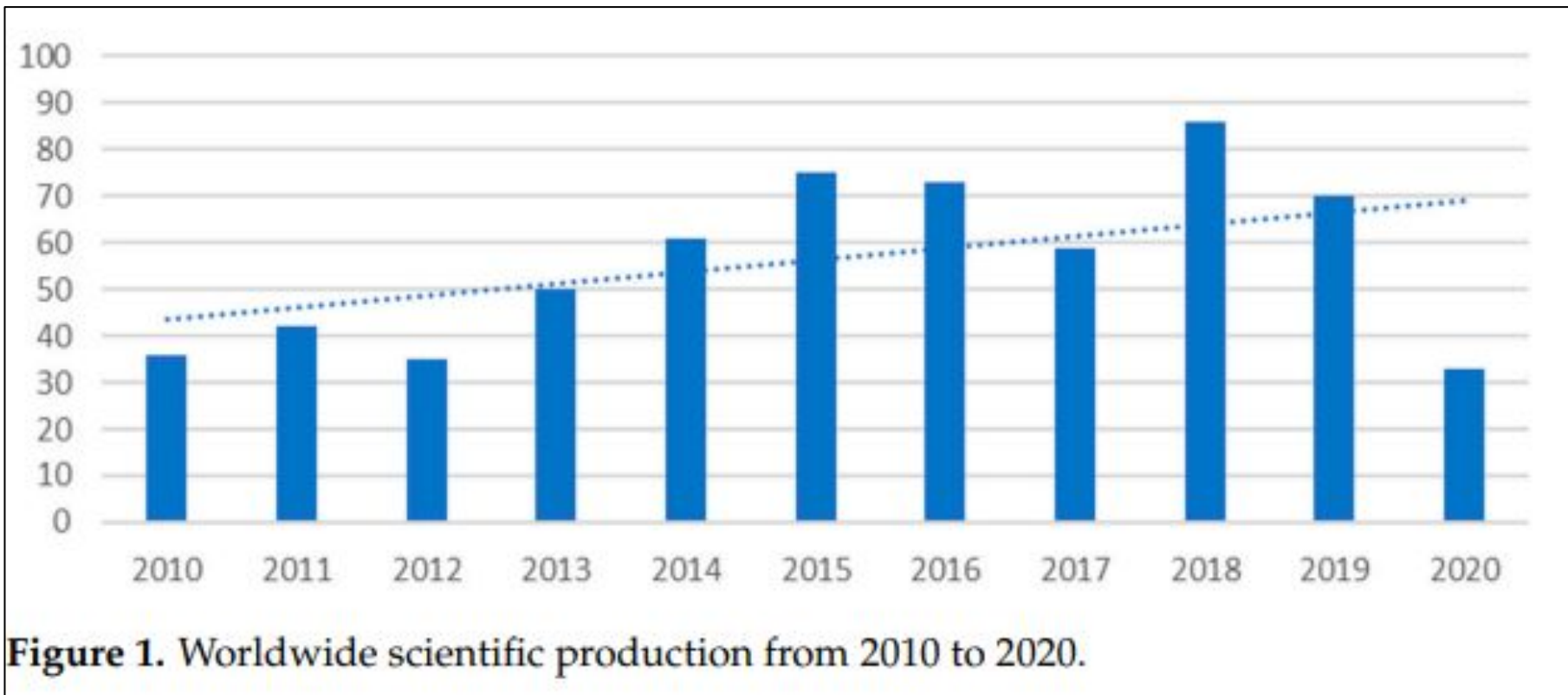
07

Daftar Pustaka – Bacaan Tambahan

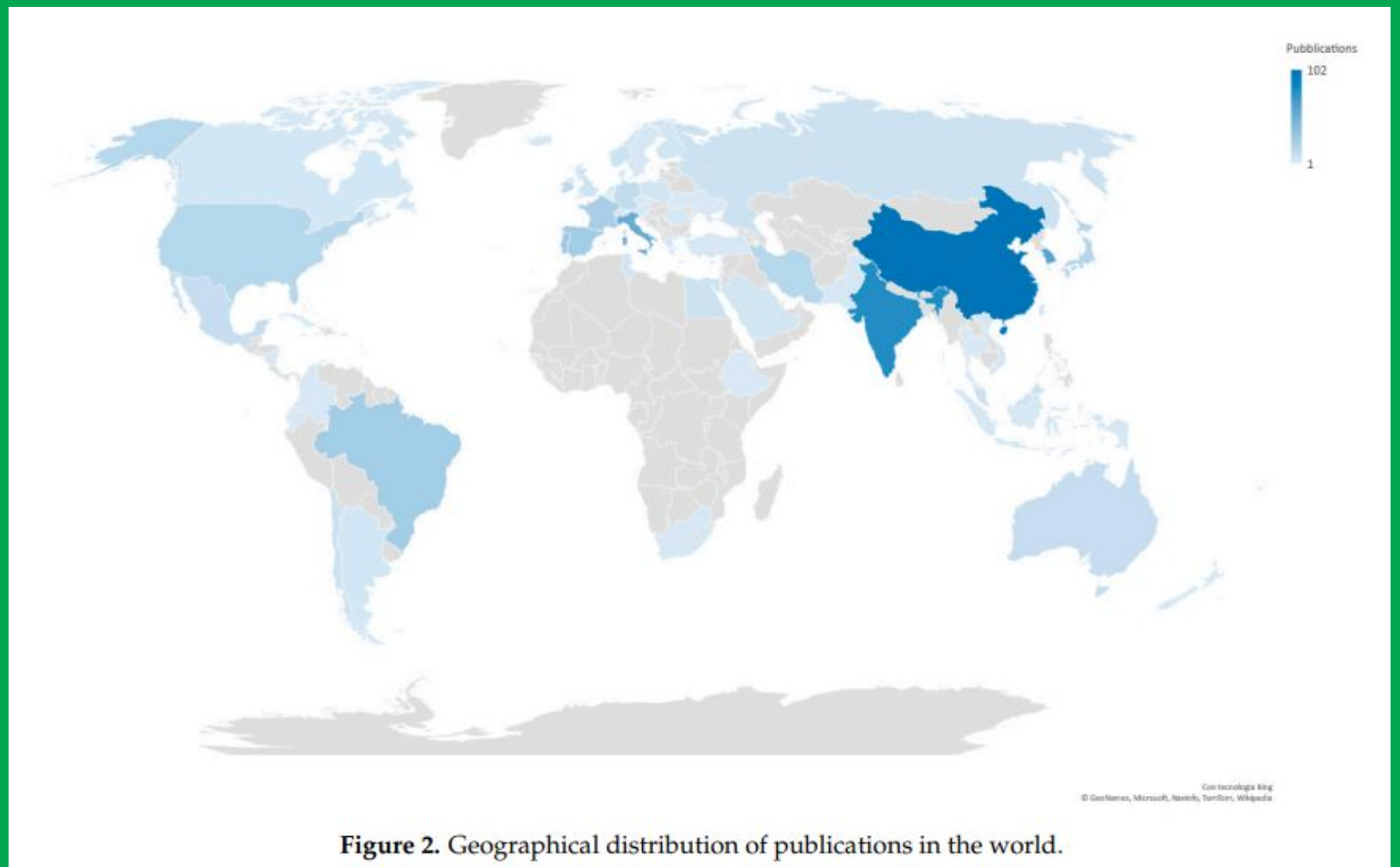


Tren dalam Bioteknologi Kelautan

Antara tahun 2010 dan 2020, terdapat total 620 publikasi ilmiah mengenai bioteknologi kelautan yang berfokus pada aplikasi di bidang industri pangan dan farmasi.



Bioteknologi kelautan dalam konteks farmasi dan pangan paling banyak diteliti di Asia dengan 312 publikasi (50%), disusul oleh Eropa dengan 208 publikasi (33,5%), seperti terlihat pada grafik pada Gambar di bawah.



Tren dalam Bioteknologi Kelautan

Bioteknologi kelautan, yang juga dikenal sebagai blue biotechnology, saat ini mengalami tren perkembangan dan pemanfaatan yang pesat. Meskipun masih dianggap "pada tahap awal" dibandingkan dengan potensi yang sangat besar, dengan lebih dari 70% permukaan bumi tertutup oleh lautan dan diperkirakan 25% spesies dunia hidup di dalamnya, pasar bioteknologi kelautan diproyeksikan akan mengalami ekspansi signifikan. Secara global, nilai pasar bioteknologi kelautan diperkirakan akan mencapai sekitar USD 6,4 miliar pada tahun 2025. Pertumbuhan ini didorong oleh keragaman biota laut yang sangat besar, yang sebagian besar masih belum dieksplorasi maupun dimanfaatkan.

□ Percepatan Penemuan Produk dan Ekspansi Pasar:

- Terdapat peningkatan signifikan dalam penemuan produk alami laut baru, dengan lebih dari 1.000 produk baru ditemukan setiap tahunnya sejak 2008. Hal ini terutama disebabkan oleh kemajuan metode analisis, seperti mass spectrometry (MS) dan spektrometer high-resolution Nuclear Magnetic Resonance (NMR).

Sebanyak 79 kata kunci dengan frekuensi kemunculan 30 kali atau lebih berhasil diidentifikasi, dan Tabel 1 menampilkan 20 kata kunci teratas berdasarkan frekuensinya. Kata kunci seperti mikroalga, rumput laut, tumbuhan laut, hewan laut, dan mikroba laut berada pada posisi teratas dalam hal frekuensi kemunculan, yang menunjukkan bahwa kata-kata tersebut merupakan kata kunci utama dalam penelitian bioindustri kelautan.

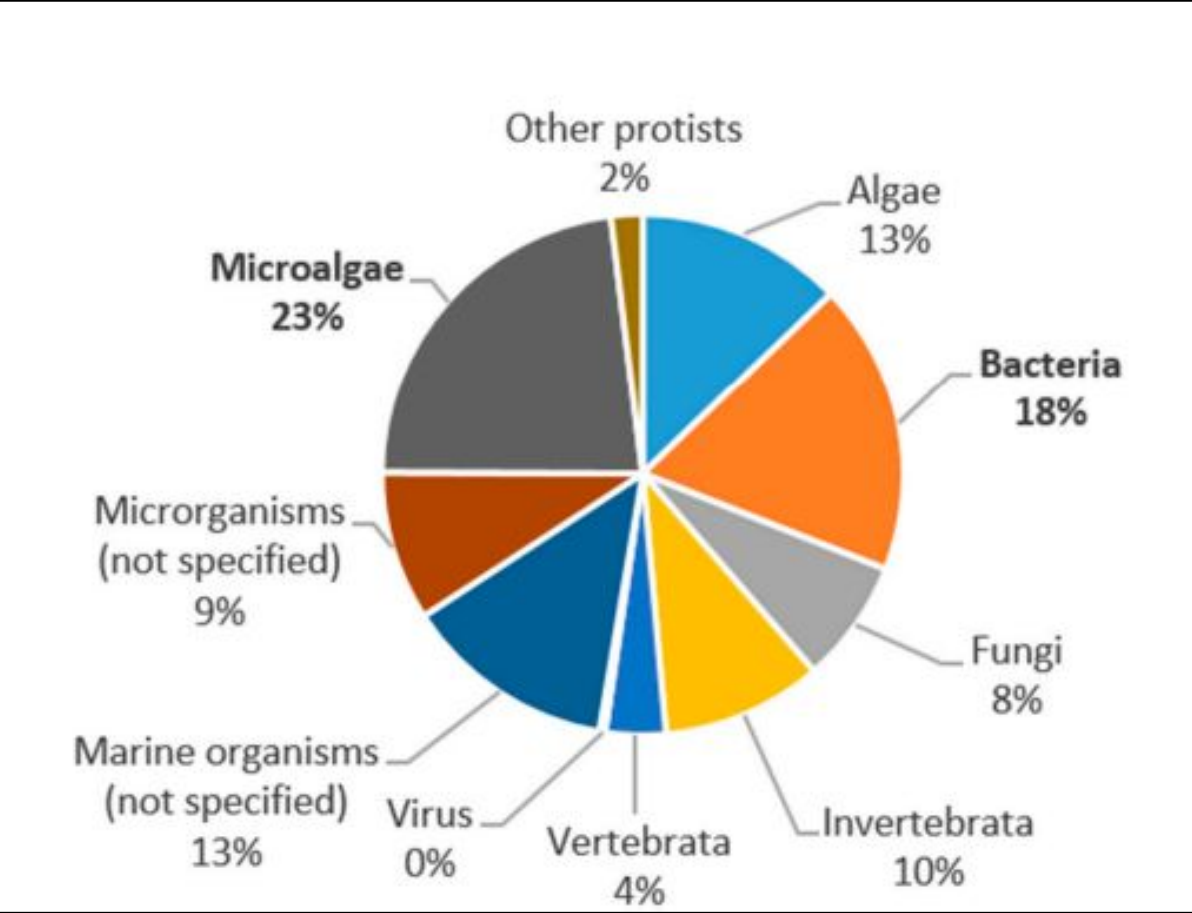
Table 1. Keyword frequency.		
Ranking	Keywords	Frequency
1	Microalgae	224
2	Seaweed	140
3	Marine Plant	124
4	Marine Animal	121
5	Marine Microbe	117
6	Reference Genome	117
7	Functional Gene	114
8	Monitoring	112
9	Marine Biomaterials	93
10	Marine Microalgae	88
11	Marine Biotechnology	83
12	Biomarker	81
13	Health Functional Food	78
14	Biosensor	77
15	Climate Change	76
16	Functional Food	74
17	Biomass	73
18	Chemical Industry Materials	68
19	Marine Bioplastics	68
20	Marine Fiber and Complex Materials	68

(Source: Jang-Hyung Han et. al, 2023)



Tren: Senyawa Laut

Distribusi organisme laut yang digunakan dalam aplikasi farmasi dan pangan bioteknologi laut, berdasarkan publikasi.

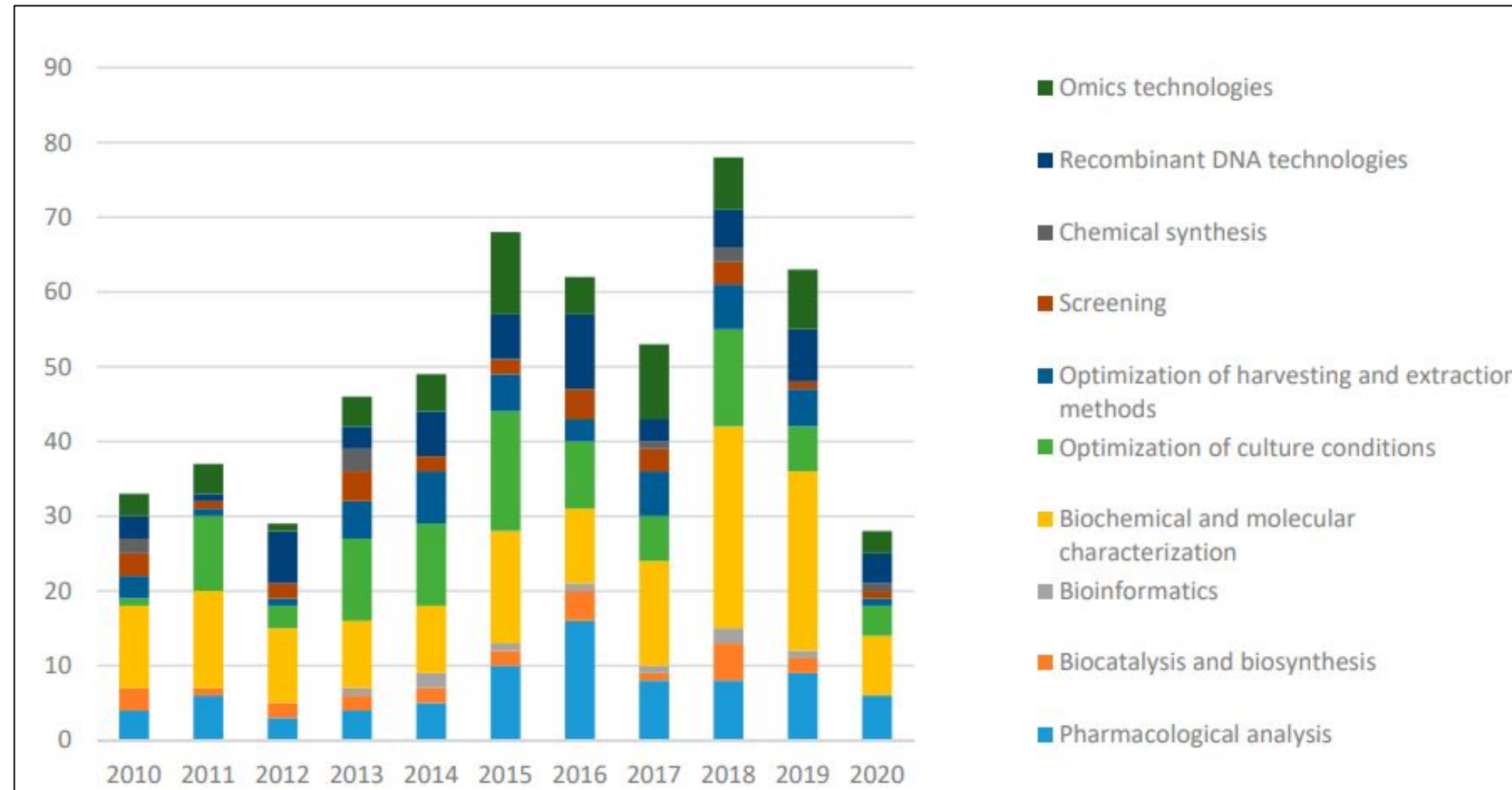


(Source: Daniotti & Ilaria, 2021)

Table 1				
Production and detailed information about key marine-derived molecules reported from 2018–2020				
Compound	Source	Host strain	Content or titer	Reference
Astaxanthin (1)	Shrimp wastes; <i>Haematococcus pluvialis</i> ; <i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i>	<i>Escherichia coli</i>	7.12 mg/g DCW (432.82 mg/L) (bioreactor)	[52]
		<i>E. coli</i>	11.92 mg/g DCW (shake-flasks)	[53]
		<i>E. coli</i>	15.1 mg/g DCW (shake-flasks)	[54**]
		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	320 mg/L (bioreactor)	[55]
		<i>S. cerevisiae</i>	13.8 mg/g DCW (217.9 mg/L) (bioreactor)	[56]
		<i>Yarrowia lipolytica</i>	235 mg/L (bioreactor)	[57**]
Zeaxanthin (2)	Cyanobacteria; Microalgae; Higher plants	<i>Haematococcus pluvialis</i>	6 mg/g DCW (285 ± 19 mg/L) (bioreactor)	[58]
		<i>Chlorella zofingiensis</i> CZ-bkt1	45.8 mg/Kg of raw biomass	[59]
		<i>Sphingobium</i> DIZ	36.79 ± 2.23 mg/L (bioreactor)	[60]
Fucoanthin (3)	Diatoms; Seaweeds	<i>Cylindrotheca closterium</i>	479.5 mg/L (bioreactor)	[61]
Squalene (4)	Shark liver oils	<i>S. cerevisiae</i> Y2805	25.5 mg/g DCW (bioreactor)	[62]
		<i>E. coli</i>	2011 ± 75 mg/L (bioreactor)	[63]
Shinorine (5)	Cyanobacteria; Macroalgae	<i>E. coli</i>	28.5 mg/g DCW (52.1 mg/L) (bioreactor)	[64]
		<i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	2.37 ± 0.21 mg/g DCW (shake-flasks)	



Tren: Teknologi dalam Bioteknologi Laut



(Source: Daniotti & Ilaria, 2021)



Analisis artikel dari tahun 2010 hingga 2020 mengungkapkan tren yang berbeda dalam penerapan teknologi-teknologi ini:

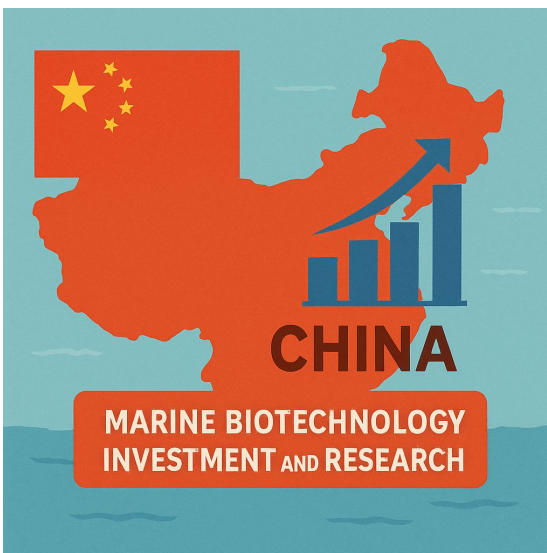
- "Karakterisasi biokimia dan molekuler" merupakan teknologi yang paling banyak digunakan, diterapkan dalam 150 studi (24% dari total), dengan pertumbuhan tahunan yang konsisten dan mencapai puncaknya pada 2018. Namun, sebagai teknologi dasar, hal ini tidak memberikan nilai tambah yang diperlukan untuk berinovasi dalam proses penemuan obat dan tidak dianggap sebagai tren yang muncul untuk penelitian masa depan.
- Menyusul dari segi jumlah publikasi adalah "optimasi kondisi pertumbuhan" (15%) dan "analisis farmakologis" (13%).
- "Teknologi omics" (10%) juga menunjukkan tren pertumbuhan yang stabil selama dekade tersebut.
- Tren Pertumbuhan Membandingkan 2015–2019 dengan 2010–2014: Saat membandingkan jumlah publikasi dalam lima tahun terakhir (2015–2019) dengan periode sebelumnya (2010–2014), hampir semua kategori menunjukkan peningkatan positif, dengan beberapa pengecualian:
- "Sintesis kimia" merupakan satu-satunya kategori yang mengalami penurunan sebesar 40%.
- Kategori dengan peningkatan kurang dari 50% meliputi:
 - "Skrining" (+8,3%).
 - "Optimasi kondisi kultur" (+38,9%).
 - "Biokatalisis" (+40%).
 - "Optimasi metode panen dan ekstraksi" (+47%).
- Teknologi yang lebih dari dua kali lipat jumlah publikasinya pada periode lima tahun terakhir (2015–2019) dibandingkan dengan 2010–2014, menjadikannya tren utama yang sedang berkembang, mencakup:
 - Bioinformatika (+100%).
 - Teknologi analisis farmakologis (+131,8%).
 - Teknologi omics (+141%).
- Peningkatan substansial juga diamati pada "teknologi DNA rekombinan" (+55%).
- Teknologi-teknologi yang sedang berkembang ini (omics, analisis farmakologis, dan bioinformatika) terutama dimanfaatkan untuk penemuan organisme baru atau produk asal laut, sejalan dengan tujuan penelitian dasar yang sering dilakukan oleh universitas dan pusat riset.

Tren Geografis di Tiongkok

Bioteknologi laut telah menjadi bidang kunci bagi pembangunan ekonomi nasional di Tiongkok, khususnya sejak Rencana Pembangunan Lima Tahun ke-12. Negara ini menyadari pentingnya bioteknologi laut untuk menghadapi jumlah penduduk yang sangat besar serta kenaikan harga pangan yang terus-menerus. Tiongkok telah meningkatkan pengembangan teknologi tinggi secara signifikan dan memperbaiki kontribusi industri kelautan. Tingkat investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologinya dianggap maju, setara dengan negara kuat seperti Amerika Serikat dan Jepang.

Aspek utama keterlibatan Tiongkok dalam bioteknologi laut meliputi:

- **Kebijakan dan Investasi:** Pemerintah Tiongkok telah mendorong sektor kelautan sebagai pilar strategis pertumbuhan ekonomi sejak tahun 1996 melalui subsidi dan insentif pajak. Bioteknologi laut dipandang sebagai alat utama untuk “memanfaatkan laut melalui sains dan teknologi,” sebuah tujuan strategis pemerintah. Setelah Rencana Pembangunan Lima Tahun ke-12, Administrasi Kelautan Negara bersama dengan Dewan Negara mengeluarkan spesifikasi baru seperti Bioindustry Development Planning dan National Marine Affairs Development Planning, yang menekankan pentingnya bioteknologi laut.
- **Pangsa Pasar dan Produk:** Pada tahun 2015, nilai total output industri bioteknologi laut global mencapai 78 miliar dolar AS, dengan kontribusi Tiongkok sebesar 20 miliar dolar AS. Industri pangan fungsional dan farmasi yang melibatkan organisme laut berkembang pesat, dan banyak obat serta produk kesehatan berbasis laut telah disetujui untuk dipasarkan. Contohnya adalah teknologi “kulit buatan” untuk perbaikan jaringan yang telah mencapai tingkat internasional, serta obat baru antikanker, antitumor, dan anti-AIDS berbasis bioteknologi laut yang mendorong pertumbuhan ekonomi nasional.
- **Kepemimpinan Penelitian Ilmiah:** Tiongkok memimpin secara global dalam publikasi ilmiah terkait aplikasi bioteknologi laut untuk farmasi dan pangan, dengan total 102 publikasi. Negara ini juga memiliki faktor dampak rata-rata tertinggi di Asia (4,174).
- **Pusat Penelitian Terkemuka:** Empat dari sepuluh pusat penelitian teratas dunia dalam bidang ini berada di Tiongkok. Ocean University of China menempati peringkat pertama global dengan 18 publikasi, berfokus pada karakterisasi biokimia dan molekuler (39%) serta teknik rekombinan (22,2%). Akademi Ilmu Pengetahuan Tiongkok juga menonjol dengan teknik rekombinan (33%) dan penyaringan (27%), serta telah bekerja sama dalam proyek Eropa seperti PharmaSea dan MGATech.
- **Fokus Teknologi:** Penelitian Tiongkok banyak menggunakan teknik karakterisasi biokimia dan molekuler, optimasi kondisi kultur (22,5% publikasi Tiongkok), serta teknik rekombinan (13%).



Tren Geografis di Eropa

Pasar bioteknologi laut di Eropa diproyeksikan mencapai 1.301,85 juta dolar AS, dengan sektor farmasi dan pangan menyumbang lebih dari 60% nilai tambah.

Kebijakan dan Pendanaan:

- Blue Growth Strategy, yang diadopsi pada tahun 2012 oleh Komisi Eropa, menjadi kontribusi utama dalam mengidentifikasi strategi pertumbuhan jangka panjang yang berkelanjutan, dengan bioteknologi laut sebagai komponen kunci.
- Program Horizon 2020 (2014–2020), program penelitian dan inovasi terbesar di Eropa dengan alokasi €80 miliar, memiliki jalur investasi khusus Blue Growth. Program ini memanfaatkan instrumen seperti SME Instrument (sekarang EIC Accelerator Pilot), yang mendanai proyek dengan TRL (Technology Readiness Level) tinggi untuk komersialisasi, serta Bio-based Industries Joint Undertaking (BBI-JU), sebuah kemitraan publik-swasta untuk biorefinery.
- Pada periode 2014 hingga 2020, Komisi Eropa mengalokasikan lebih dari €149 juta untuk 29 proyek di sektor Blue Growth yang berfokus pada aplikasi pangan dan farmasi. Distribusi pendanaan bervariasi berdasarkan jenis proyek: €98,48 juta untuk proyek BG, €43,87 juta untuk proyek BBI, dan €7,08 juta untuk proyek SME instrument. Proyek SME instrument umumnya memiliki nilai TRL lebih tinggi (TRL 8 atau lebih).

Penelitian Ilmiah dan Negara Pusat: Eropa menyumbang 33,5% publikasi ilmiah global dalam bioteknologi laut untuk aplikasi farmasi dan pangan.

- Italia menjadi negara terdepan di Eropa dalam penelitian ilmiah, menempati peringkat keempat dunia dengan 55 publikasi, yang mewakili lebih dari seperempat total penelitian Eropa. Kualitas riset Italia, diukur melalui rata-rata faktor dampak, berada di peringkat ketiga di Eropa setelah Portugal dan Spanyol.
- Pusat unggulan Italia meliputi Anton Dohrn Zoological Station, yang menduduki peringkat pertama di Eropa dan kedua dunia dalam jumlah publikasi serta mengkhususkan diri pada teknologi omics (30%), serta National Research Council of Naples yang berfokus pada biosintesis dan biokatalisis (20%)



Tren Geografis di Eropa



Fokus Teknologi dan Model Bisnis: Proyek dengan TRL tinggi di Eropa umumnya berfokus pada optimasi kondisi budidaya serta metode panen dan ekstraksi (digunakan dalam lebih dari 65% proyek dengan tingkat kematangan tinggi), sering dikombinasikan dengan teknologi rekombinan untuk mengatasi tantangan keberlanjutan dan produktivitas.

Pengelolaan Spesies Non-Indigenous (NIS): Kebijakan Uni Eropa, seperti Marine Strategy Framework Directive (MSFD), mengatur pengelolaan NIS laut. Jumlah introduksi baru terus meningkat sejak tahun 2000, dengan tingkat rata-rata tahunan mencapai 21 NIS baru di laut Eropa selama 2012–2017. Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM) menetapkan ambang batas numerik nol untuk introduksi NIS baru melalui aktivitas antropogenik di Laut Baltik. Meskipun demikian, catatan NIS baru tetap muncul, yang menunjukkan adanya tantangan berkelanjutan. Peningkatan NIS kemungkinan disebabkan oleh intensitas aktivitas manusia serta meningkatnya upaya penelitian.



Tren Geografis di Korea Selatan

Korea Selatan secara aktif berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan industri bioteknologi laut, dengan menyadari pentingnya bidang ini.

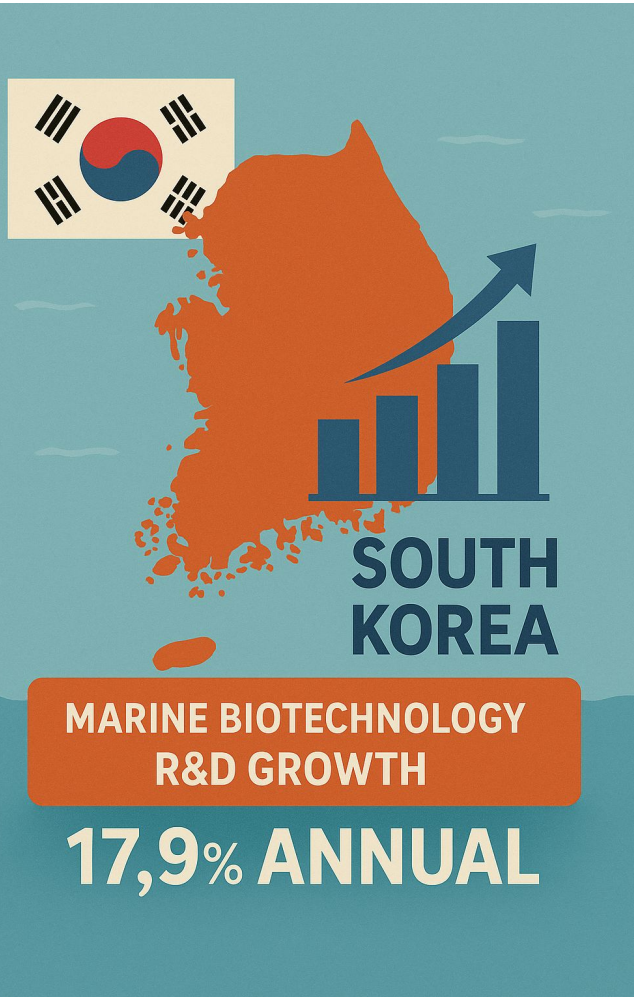
Pertumbuhan R&D dan Investasi: Proyek R&D yang terkait dengan bioindustri laut di Korea menunjukkan tingkat pertumbuhan rata-rata tahunan yang tinggi, yaitu 17,9% dari tahun 2002 hingga 2022, meningkat dari 20 proyek pada tahun 2002 menjadi 542 proyek pada tahun 2022. Kementerian Kelautan dan Perikanan telah menginvestasikan 248,6 miliar won dalam proyek R&D nasional di sektor bio laut antara 2005 hingga 2017. Meskipun investasi meningkat signifikan (misalnya, 4,5 kali lipat dari 2005 hingga 2017), tingkatnya masih lebih rendah dibandingkan kementerian lain, dan kinerja komersialisasinya dinilai “relatif lemah.”

Topik Penelitian Utama:

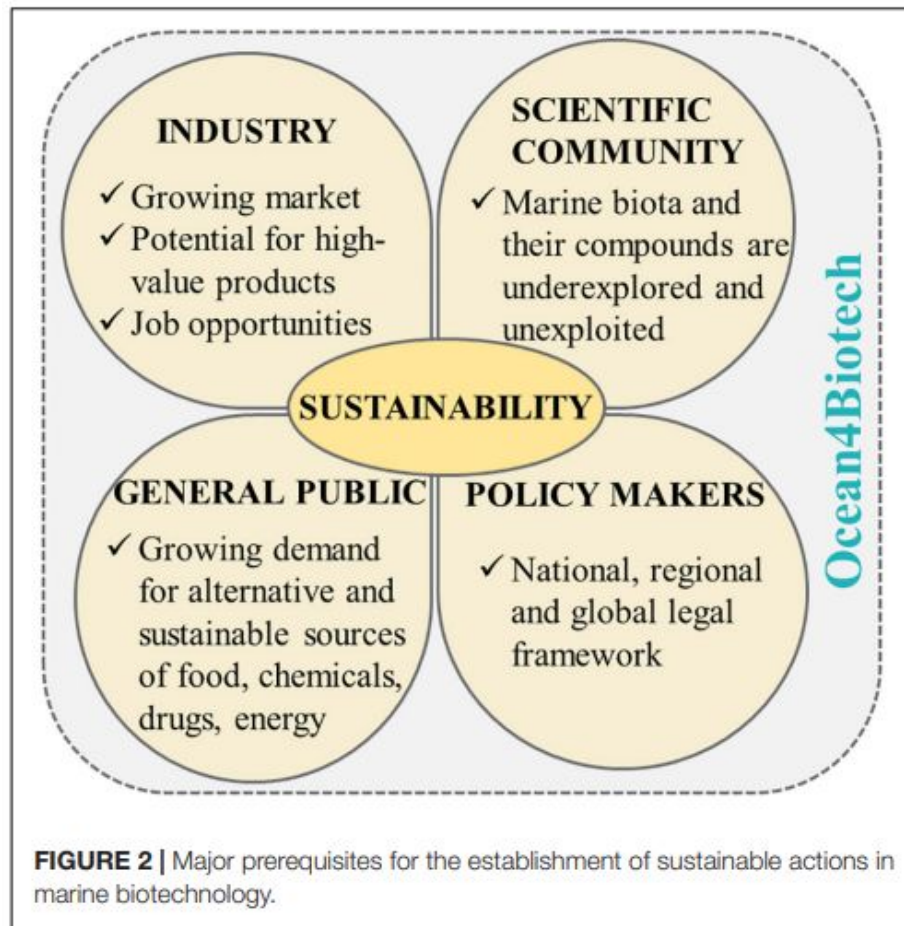
- Pada awal 2000-an, penelitian berfokus pada bioteknologi, bioindustri, pangan fungsional, bioindustri laut, biosensor, dan probiotik.
- Hingga tahun 2022, topik penelitian utama meliputi blue carbon, perubahan iklim, penyimpanan karbon, garis pantai hidup, rawa pasang surut, dan pangan fungsional.
- Kata kunci yang secara konsisten muncul sebagai tema besar di semua bagian adalah: mikroalga, rumput laut, tumbuhan laut, hewan laut, mikroba laut, reference genomes, gen fungsional, pemantauan, biomaterial laut, dan mikroalga laut.
- Kata kunci seperti “marine,” “marinebio,” dan “algae” menunjukkan nilai eigenvector dan betweenness centrality yang tinggi, menandakan peran sentralnya dalam penelitian.

Publikasi Ilmiah: Korea Selatan menjadi kontributor penting dalam penelitian ilmiah, menempati peringkat ketiga dunia dengan 61 publikasi terkait bioteknologi laut dalam aplikasi farmasi dan pangan.

Fokus Teknologi: Publikasi Korea Selatan banyak menampilkan analisis farmakologis, yang muncul dalam 21% dari total publikasi mereka.



Peran *Quadruple Helix*



1. Komunitas Ilmiah

Peran: Mendorong penelitian dan inovasi melalui eksplorasi keanekaragaman hayati laut, pengembangan metode high-throughput screening, budidaya organisme laut, serta optimasi ekstraksi senyawa bioaktif.

Kontribusi terhadap Keberlanjutan: Mengembangkan metode bioprospeksi ramah lingkungan, mempromosikan inovasi yang bertanggung jawab, dan berkontribusi pada pemanfaatan sumber daya laut secara berkelanjutan.

2. Industri

Peran: Menerjemahkan hasil penelitian menjadi produk komersial seperti biofuel, obat-obatan, nutraseutikal, dan biomaterial.

Kontribusi terhadap Keberlanjutan: Didorong untuk mengadopsi teknologi hijau, menerapkan penilaian keberlanjutan siklus hidup, serta mendukung kemitraan publik-swasta untuk produksi dan komersialisasi yang berkelanjutan.

3. Pembuat Kebijakan

Peran: Menyediakan kerangka regulasi, memastikan kepatuhan terhadap hukum lingkungan, serta memfasilitasi bioprospeksi yang etis dan berbagi manfaat (misalnya Protokol Nagoya, arahan Uni Eropa).

Kontribusi terhadap Keberlanjutan: Mendukung legislasi dan kerja sama internasional untuk memajukan bioteknologi laut sekaligus melindungi keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem laut.

4. Masyarakat Umum

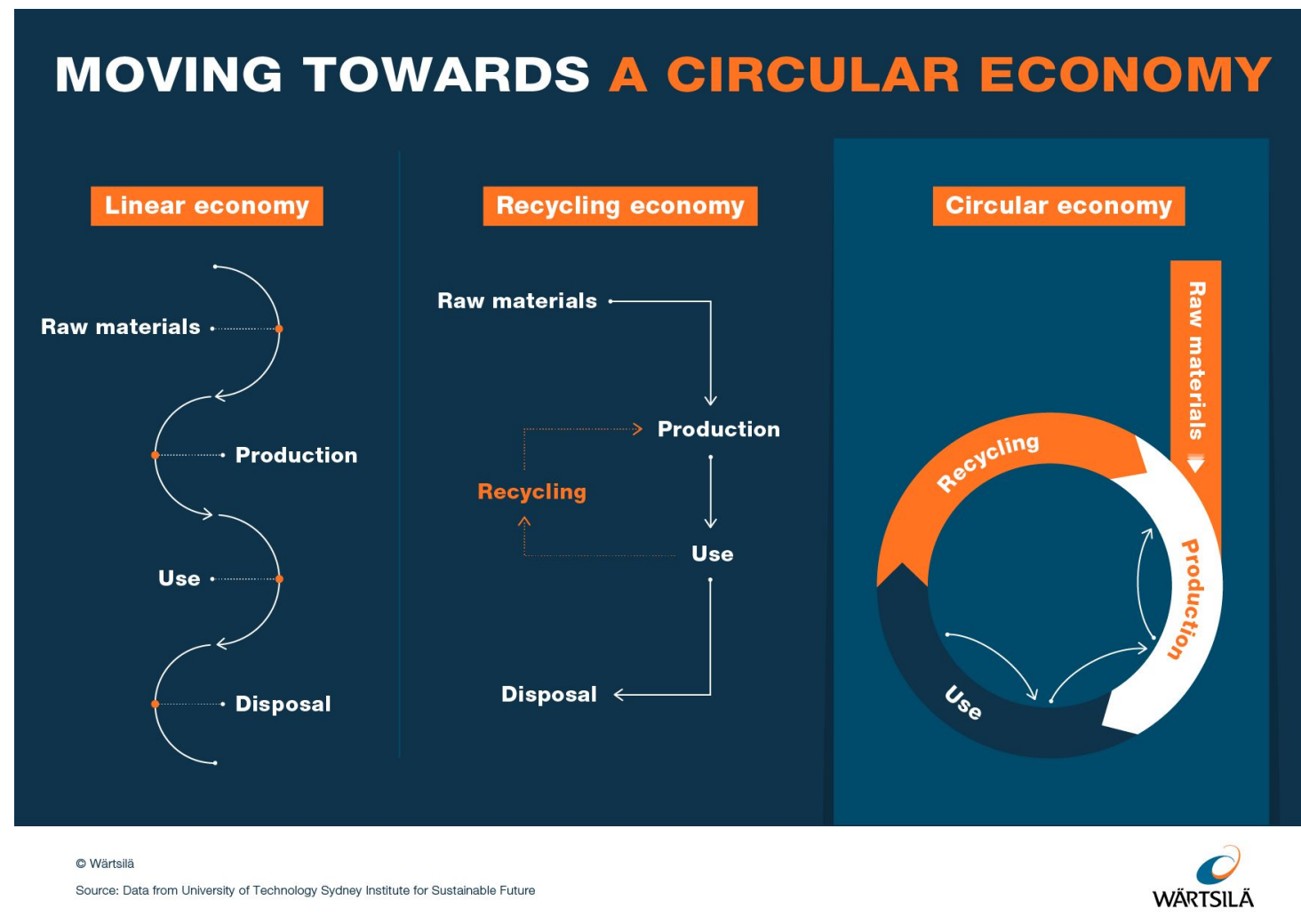
Peran: Bertindak sebagai konsumen dan penerima manfaat produk bioteknologi laut, serta perlu diinformasikan dan dilibatkan.

Kontribusi terhadap Keberlanjutan: Kesadaran yang meningkat mendorong permintaan terhadap produk berkelanjutan dan ramah lingkungan, sehingga mendukung konsumsi yang bertanggung jawab dan pasar bagi inovasi hijau.

Semua pemangku kepentingan ini harus bekerja sama dalam kerangka transdisipliner dan lintas negara untuk mencapai pembangunan bioteknologi laut yang berkelanjutan dan bertanggung jawab.



Tren Bioteknologi Laut Saat Ini adalah Penekanan pada Keberlanjutan dan Ekonomi Sirkular



Terdapat fokus yang semakin meningkat pada pemanfaatan berkelanjutan sumber daya hayati laut. Hal ini mencakup pemanfaatan aliran samping dan limbah (misalnya dari industri perikanan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi seperti hidrolisat protein atau kolagen) serta menargetkan organisme laut yang dibudidayakan secara berkelanjutan.

Teknik produksi ramah lingkungan, seperti metode enzimatik untuk sintesis produk (biokatalisis dan biosintesis) yang mengurangi penggunaan senyawa beracun, juga menjadi prioritas.

Akuakultur diakui sebagai solusi penting bagi permasalahan perikanan dunia dan diperkirakan akan meningkatkan produksi hingga tujuh kali lipat pada tahun 2025 untuk memenuhi permintaan. Akuakultur juga menjadi alternatif terhadap eksploitasi tidak berkelanjutan terhadap fauna laut liar.



Jaringan Kolaboratif dan Penelitian serta Inovasi yang Bertanggung Jawab (Responsible Research and Innovation/RRI):

Ada kebutuhan yang diakui untuk membangun jejaring yang efektif, lintas negara, dan transdisipliner yang menghubungkan industri, peneliti, pembuat kebijakan, dan masyarakat guna mendorong pengembangan bioteknologi laut dan bioekonomi secara berkelanjutan.

- Inisiatif seperti Ocean4Biotech (sebuah COST Action) menjadi contoh pendekatan ini dengan menghubungkan para pemangku kepentingan di seluruh Eropa dan sekitarnya, memungkinkan berbagi infrastruktur, pertukaran pengetahuan, serta pengembangan karier bagi para peneliti.
- Pengembangan bioteknologi laut semakin dipandu oleh prinsip Responsible Research and Innovation (RRI), yang mencakup etika, akses terbuka, kesetaraan gender, tata kelola (dengan mematuhi konvensi internasional seperti Convention on Biological Diversity dan Nagoya Protocol), keterlibatan publik, serta pendidikan sains.



<https://www.ocean4biotech.eu/>



Bioteknologi Laut Berkontribusi terhadap Pertumbuhan Ekonomi Global

- Pada tahun 2015, nilai total output industri bioteknologi laut global mencapai 78 miliar dolar AS, dengan Tiongkok memberikan kontribusi signifikan sebesar 20 miliar dolar AS. Pasar bioteknologi laut global diperkirakan akan mencapai sekitar 6,4 miliar dolar AS pada tahun 2025, dengan industri pangan fungsional dan farmasi yang melibatkan organisme laut terus berkembang secara stabil.
- Industri ini menghasilkan berbagai produk, mulai dari produk dengan volume tinggi namun bernilai rendah seperti biofuel dan pakan, hingga produk bernilai tinggi namun berisiko tinggi seperti biomaterial baru, kosmetik, nutraseutikal, dan farmasi.
- Organisme laut menghasilkan keragaman besar metabolit yang bermanfaat bagi manusia, termasuk senyawa sitotoksik, antioksidan, antimikroba, antikanker, dan nutrisi. Metabolit ini membantu memenuhi meningkatnya permintaan akan sumber alternatif nutraseutikal, farmasi, kosmeseutikal, pangan, pakan, serta produk baru berbasis hayati.
- Sebagai contoh, industri pangan fungsional dan farmasi terus berkembang secara stabil, dan banyak obat serta produk kesehatan berbasis laut telah disetujui untuk dipasarkan. Produk komersial yang berhasil antara lain analgesik Prialt®, antihipertensi Lovaza®, serta agen antikanker seperti Yondelis® dan Cytosar-U®.
- Pasar bioteknologi laut di Eropa diproyeksikan mencapai 1.301,85 juta dolar AS, dengan sektor farmasi dan pangan menyumbang lebih dari 60% dari nilai tambah.
- Upaya Eropa dipandu oleh Blue Growth Strategy yang diadopsi pada tahun 2012 oleh Komisi Eropa, yang menempatkan bioteknologi laut sebagai komponen kunci untuk pertumbuhan berkelanjutan jangka panjang.
- Program Horizon 2020 (2014–2020) merupakan program penelitian dan inovasi terbesar di Eropa, dengan alokasi lebih dari €149 juta untuk 29 proyek di sektor Blue Growth yang berfokus pada aplikasi pangan dan farmasi. Pendanaan ini disalurkan melalui instrumen seperti panggilan Blue Growth (BG), Bio-based Industries Joint Undertaking (BBI-JU), dan SME Instrument (kini dikenal sebagai EIC Accelerator Pilot).
- Proyek dengan Technology Readiness Level (TRL) 6–8, yang sering didanai oleh SME Instrument, berfokus pada teknologi untuk optimalisasi kondisi budidaya, panen, dan metode ekstraksi, yang sangat penting untuk eksploitasi komersial..
- Sektor nutraseutikal dan pangan fungsional diperkirakan akan memimpin tren pasar Eropa karena regulasi yang lebih longgar dan kebutuhan investasi yang lebih rendah dibandingkan farmasi, sekaligus memenuhi permintaan pangan secara berkelanjutan.
- Pasar bioteknologi laut Eropa sebagian besar terdiri dari sekitar 140 usaha kecil menengah mikro (micro SMEs) dan institusi akademik, yang seringkali kekurangan stabilitas keuangan untuk riset mutakhir jangka panjang. Hal ini menyoroti pentingnya kemitraan publik-swasta dan kegiatan jejaring (networking) untuk mendukung pengembangan berkelanjutan.



Potensi Kelautan di Indonesia

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki wilayah laut dan pesisir yang sangat luas.

Secara khusus:

- Luas laut Indonesia dilaporkan mencapai 5,8 juta km².
- Data yang lebih rinci menunjukkan bahwa wilayah tersebut terdiri atas
 - **0,3 juta km² laut teritorial**
 - **3,09 juta km² perairan kepulauan**
 - **2,97 juta km² zona ekonomi eksklusif**
 - Totalnya mencapai sekitar 6,36 juta km² wilayah laut.
- Garis pantai Indonesia dilaporkan mencapai antara 99.093 km hingga 104.000 km, yang merupakan garis pantai tropis terpanjang di dunia. Kondisi ini memberikan habitat yang sangat optimal bagi kehidupan laut, termasuk rumput laut yang menjadi salah satu komoditas unggulan.



Source: <https://www.resourcefulindonesian.com/mapping-indonesia.html>



Keanekaragaman Hayati yang Luas dan Belum Tergali di Indonesia

- Perairan Indonesia merupakan rumah bagi mega-biodiversitas yang mencakup tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Indonesia memiliki sekitar 86.700 kilometer persegi terumbu karang, yang mencakup lebih dari 75% spesies terumbu karang di dunia.
- Sebuah tinjauan sistematis mengidentifikasi sedikitnya 325 spesies rumput laut (103 alga hijau, 167 alga merah, dan 55 alga coklat), yang sebagian besar ditemukan di hutan mangrove dan terumbu karang di berbagai pulau.
- Organisme laut seperti spons (850 spesies telah tercatat di Indonesia), askidian, gorgonian, serta berbagai mikroorganisme (bakteri dan jamur) sangat melimpah dan menjadi sumber kaya akan produk alami yang unik.
- Meskipun memiliki kekayaan tersebut, sebagian besar spesies laut, khususnya mikroorganisme seperti jamur laut dan bakteri, masih belum banyak dieksplorasi.



(Nugraha, et. al. 2023 & Basyuni, et. al. 2024)

Peluang Ekonomi dan Industri di Indonesia

Akuakultur dan Perikanan:

- Sektor kelautan sangat penting bagi ketahanan pangan Indonesia, menyumbang sekitar 70% protein dalam pola makan masyarakat dan menghasilkan pendapatan tahunan yang signifikan.
- Indonesia merupakan salah satu produsen akuakultur terbesar di dunia, menempati peringkat kedua setelah Tiongkok dalam produksi rumput laut, dengan kontribusi sebesar 38% dari pasar global. Pada tahun 2021, produksi rumput laut diperkirakan mencapai 9,05 juta ton.
- Bioteknologi memainkan peran besar dalam meningkatkan akuakultur, mulai dari peningkatan produksi ikan, kualitas spesies, hingga ketahanan terhadap penyakit. Penerapan teknologi meliputi penggunaan hormon sintetis untuk pembiakan, rekayasa kromosom, teknik pengendalian jenis kelamin, transgenesis untuk peningkatan sifat, serta pakan dan manajemen kesehatan berbasis bioteknologi (misalnya vaksin dan tes diagnostik molekuler).
- Budidaya rumput laut juga menjadi sumber utama pendapatan masyarakat pesisir, dengan kebutuhan modal yang relatif rendah, sehingga sering dianggap sebagai sumber penghasilan tambahan yang berharga. Spesies komersial seperti Eucheuma, Kappaphycus, dan Gracilaria dibudidayakan untuk menghasilkan hidrokoloid seperti agar dan karagenan, yang permintaannya terus meningkat di bidang pangan, farmasi, kosmetik, dan biofuel. Pemerintah Indonesia juga tengah menerapkan Kebijakan Hilirisasi Rumput Laut untuk memperkuat industri ini, termasuk proyek percontohan dan pengembangan biofuel serta plastik biodegradable berbasis rumput laut.



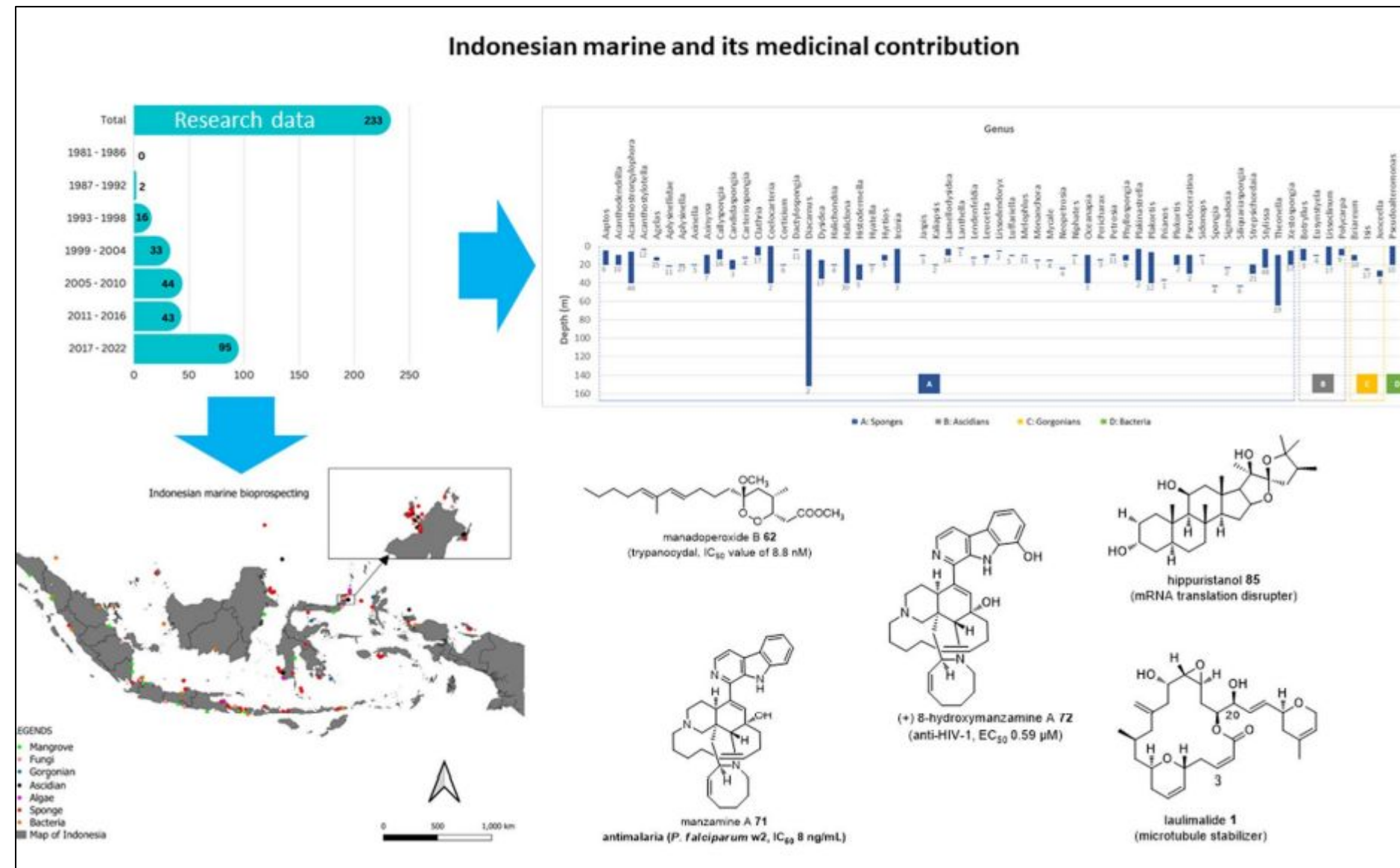
Source:
<https://thebalisun.com/communities-concerned-bali-farmers-are-returning-to-risky-tourism-sector-for-income/>



Peluang Ekonomi dan Industri di Indonesia

Biofarmasi dan Pengobatan:

- Organisme laut Indonesia merupakan sumber kaya produk alami bioaktif dengan beragam struktur dan aktivitas farmakologis.
- Senyawa yang diisolasi dari organisme laut Indonesia (seperti spons, ascidia, gorgonian, jamur, dan bakteri) telah menunjukkan aktivitas kuat, termasuk sebagai antikanker, antimikobakteri (anti-TB), antidiabetes, antidislipidemia, antiosteoblastogenik, antimalaria, dan anti-HIV-1.
- Beberapa penemuan penting antara lain: laulimalide (penstabil mikrotubulus yang kuat dari *Hyattella* sp.), papuamine (komplemen potensial untuk doxorubicin dari *Neopetrosia* cf. *exigua* dan *Haliclona* sp.), manzamine A dengan aktivitas antiplasmodial kuat dari *Acanthostrongylophora* *ingens*, manadoperoxide B dengan efek anti-trypanosomal sangat kuat dari *Plakortis* cfr. *simplex*, hippuristanol sebagai pengganggu translasi mRNA dari *Briareum* sp., serta (+)-8-hydroxymanzamine A dengan aktivitas anti-HIV-1 dari *Acanthostrongylophora* sp.
- Meskipun belum ada obat komersial dari lingkungan laut Indonesia yang beredar di pasaran, keragaman molekuler dan keanekaragaman hayati yang masih kurang dieksplorasi menunjukkan potensi besar bagi pengembangan biofarmasi di masa depan.



(Source: Nugraha, et. al. 2023)



Kesimpulan

Bioteknologi laut berkembang pesat secara global, dipimpin oleh investasi R&D yang signifikan, terutama dari Tiongkok, India, dan Korea Selatan. Tren utama meliputi fokus pada keberlanjutan, peningkatan produktivitas, serta penggunaan teknologi omics dan bioinformatika canggih untuk mengeksplorasi keanekaragaman hayati laut. Organisme laut menawarkan potensi besar untuk bidang farmasi (misalnya, laulimalide, papuamine), nutraseutikal, akuakultur berkelanjutan, biofuel, dan bioplastik. Mikroba laut juga menyediakan enzim industri yang bernilai tinggi.

Untuk mewujudkan potensi ini, diperlukan kolaborasi global yang kuat antara pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat sipil. Inisiatif seperti Ocean4Biotech di Eropa menekankan pentingnya jaringan lintas negara untuk mengatasi tantangan seperti biaya R&D yang tinggi, standarisasi data, dan rendahnya kesadaran publik. Indonesia, dengan keanekaragaman hayati lautnya yang sangat besar dan inisiatif biologi sintetis yang terus berkembang, berada pada posisi yang baik untuk berkontribusi pada bioekonomi laut global, meskipun masih menghadapi tantangan dalam akses data dan biaya konservasi. Upaya kolaboratif sangat penting untuk masa depan bioteknologi laut yang benar-benar berkelanjutan.



Daftar Pustaka

- Nugraha, A. S. *et al.* Indonesian marine and its medicinal contribution. *Natural Products and Bioprospecting* vol. 13 Preprint at <https://doi.org/10.1007/s13659-023-00403-1> (2023).
- Daniotti, S. & Re, I. Marine biotechnology: Challenges and development market trends for the enhancement of biotic resources in industrial pharmaceutical and food applications. a statistical analysis of scientific literature and business models. *Mar Drugs* **19**, (2021).
- Sanka, I. *et al.* Synthetic biology in Indonesia: Potential and projection in a country with mega biodiversity. *Biotechnology Notes* **4**, 41–48 (2023).
- Ahmadi, N. Preface. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* vol. 967 Preprint at <https://doi.org/10.1088/1755-1315/967/1/011001> (2022).
- Basyuni, M. *et al.* Current biodiversity status, distribution, and prospects of seaweed in Indonesia: A systematic review. *Heliyon* **10**, (2024).
- Wang, L. *et al.* 해양생명공학 분야 내 해조류 발효 연구동향 Algae Fermentation Research Trend in Marine Biotechnology. doi:10.23005/ksmls.2024.9.2.53.
- Colwell, R. R. Marine Biotechnology Trends and Applications. *Maritime Studies* **1999**, 1–8 (1999).
- Martudi, S. *An Empirical Study of Fish Breeding and Biotechnology: Evidence from Indonesia*. www.fishtaxa.com (2023).
- Han, J.-H., Kim, S.-A. & Lee, J.-P. Research and Development Trends of the Marine Bioindustry through the Keyword Network Analysis. *J Coast Res* **116**, (2024).
- Wang, A. *Application and Development Trend of Marine Biotechnology*. (2016).
- Yamazaki, H. Exploration of marine natural resources in Indonesia and development of efficient strategies for the production of microbial halogenated metabolites. *Journal of Natural Medicines* vol. 76 Preprint at <https://doi.org/10.1007/s11418-021-01557-3> (2022).
- Sibero, M. T. *et al.* First report of seaweed-associated yeast from Indonesia: Species composition and screening of their polysaccharides-degrading enzymes. *Biodiversitas* **23**, 1408–1419 (2022).



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

