

Trend, Peluang dan Rangkaian dalam Bioteknologi Marin

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

Trend dalam Bioteknologi Marin

02

Peranan Heliks Empat Kali Ganda

03

Potensi Marin di Indonesia

04

Biodiversiti yang luas dan kurang diterokai di Indonesia

05

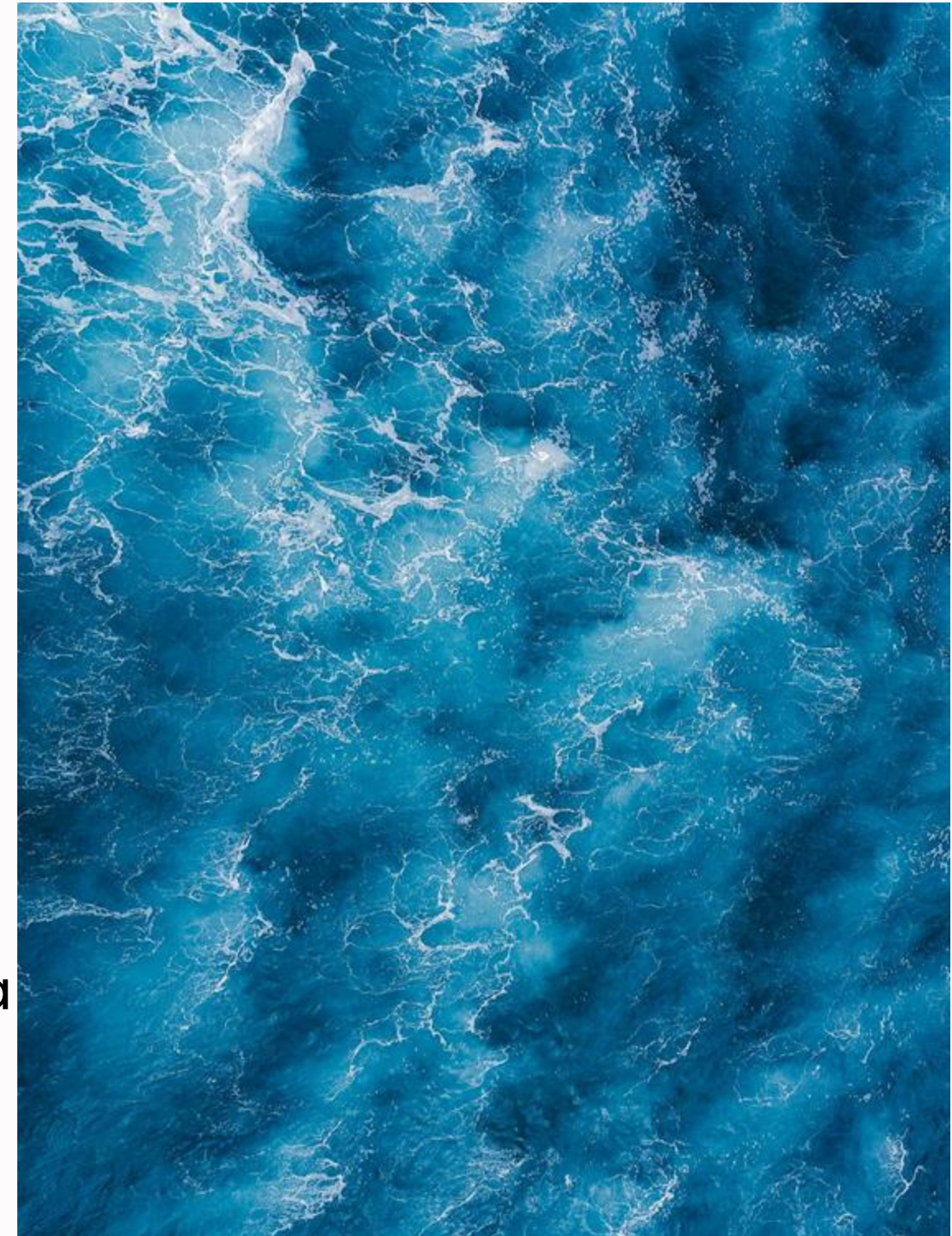
Peluang Ekonomi dan Industri di Indonesia

06

Kesimpulan

07

Bibliografi – Bacaan Tambahan



Trend dalam Bioteknologi Marin

Antara 2010 dan 2020, 620 penerbitan yang berkaitan dengan bioteknologi marin dengan aplikasi dalam industri makanan dan farmaseutikal telah diwujudkan.

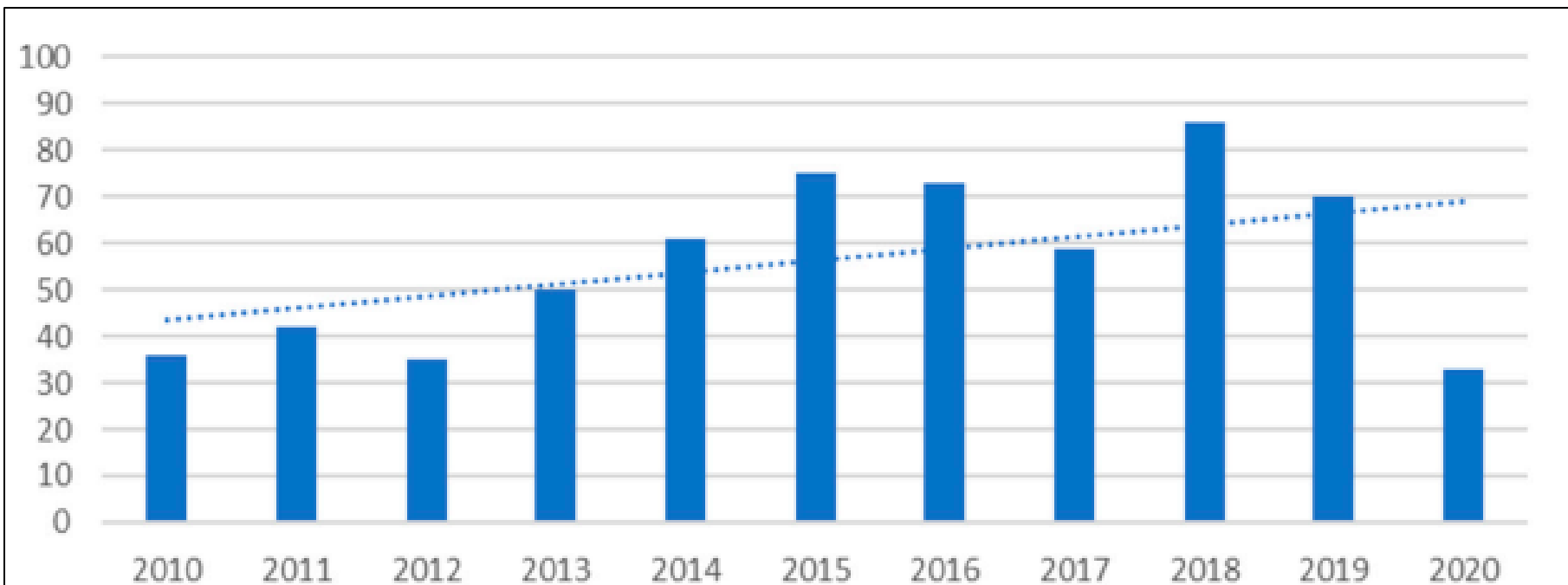
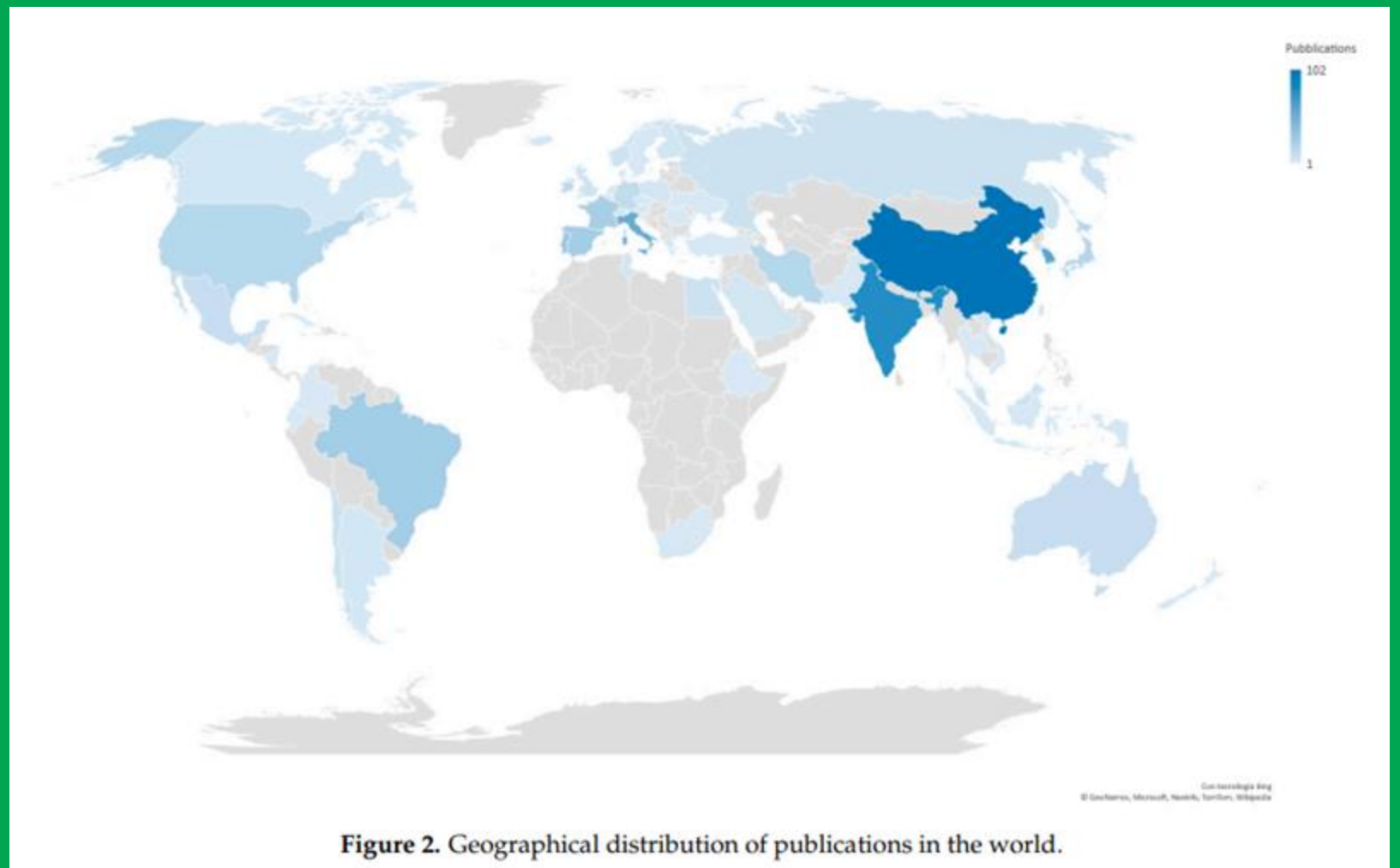


Figure 1. Worldwide scientific production from 2010 to 2020.

bioteknologi marin dalam konteks farmaseutikal dan makanan yang paling banyak dikaji ialah Asia, dengan 312 penerbitan (50%), diikuti oleh Eropah dengan 208 (33.5%), seperti yang boleh dilihat dalam graf dalam Rajah di bawah.



Trend dalam Bioteknologi Marin

Bioteknologi marin, juga dikenali sebagai **Bioteknologi biru**, sedang mengalami **trend berkembang pesat dalam pembangunan dan penggunaan**. Walaupun dianggap "di peringkat awal" berbanding potensinya yang besar, dengan lebih 70% permukaan Bumi diliputi oleh lautan dan dianggarkan 25% daripada spesies dunia yang tinggal di sana, pasaran diunjurkan untuk pengembangan yang ketara. Pasaran bioteknologi marin global dijangka mencapai kira-kira **\$6.4 bilion menjelang 2025**. Pertumbuhan ini sebahagian besarnya didorong oleh **kepelbagaian biota marin yang besar** kekal sebahagian besarnya belum diterokai dan tidak dieksploitasi.

➤ **Penemuan Produk Dipercepatkan dan Pengembangan Pasaran:**

- Terdapat peningkatan ketara dalam penemuan produk semula jadi marin baharu, dengan lebih **1,000 produk baharu ditemui setiap tahun sejak 2008**. Ini dikaitkan dengan kemajuan dalam kaedah analisis seperti **spektrometri jisim (MS)** dan **spektrometer Resonans Magnetik Nuklear (NMR)** resolusi tinggi.

Sebanyak 79 kata kunci dengan kekerapan 30 atau lebih kejadian telah dikenal pasti, dan Jadual 1 menunjukkan 20 kata kunci teratas mengikut kekerapan. Kata kunci seperti mikroalga, rumpai laut, tumbuhan laut, haiwan laut dan mikrob marin terletak di bahagian atas kekerapan kejadian, menunjukkan bahawa ia adalah kata kunci utama dalam penyelidikan bioindustri marin.

Table 1. *Keyword frequency.*

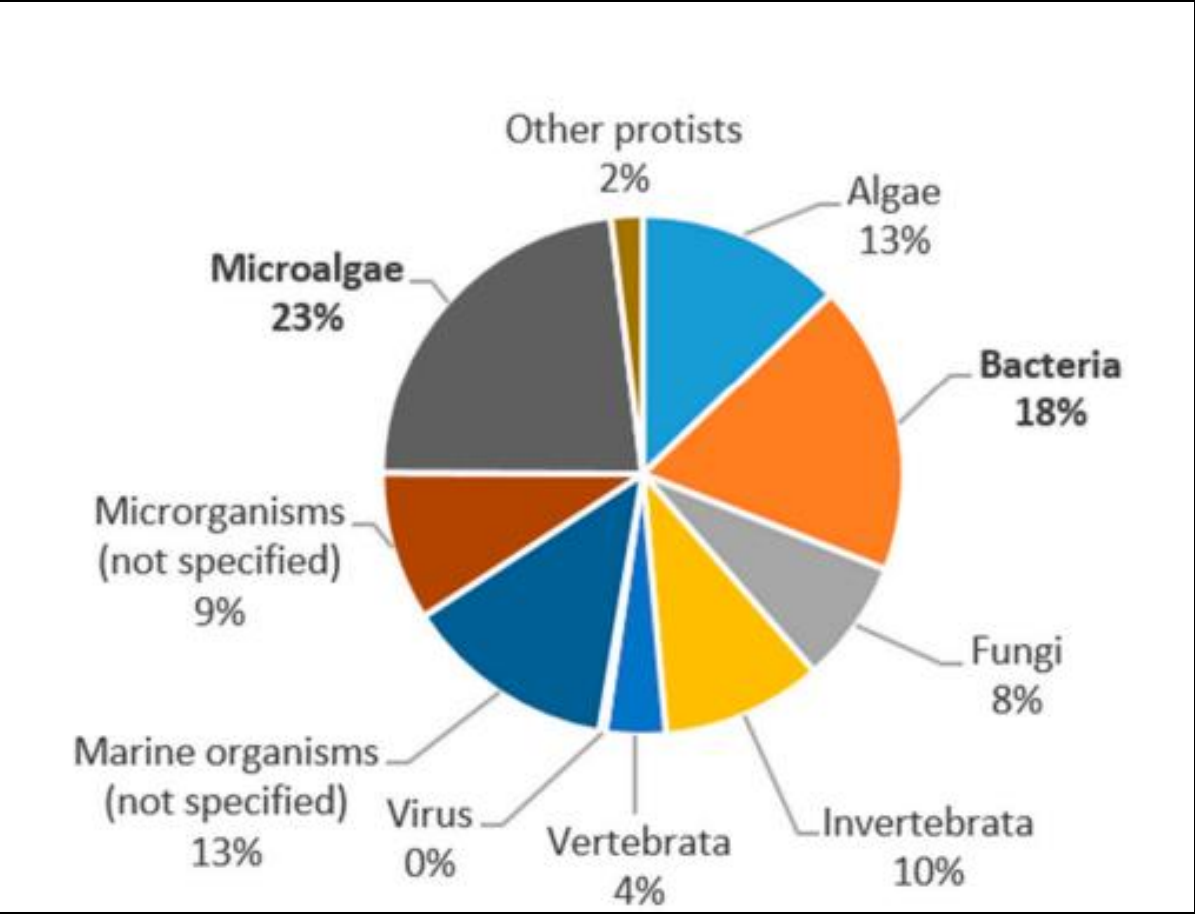
Ranking	Keywords	Frequency
1	Microalgae	224
2	Seaweed	140
3	Marine Plant	124
4	Marine Animal	121
5	Marine Microbe	117
6	Reference Genome	117
7	Functional Gene	114
8	Monitoring	112
9	Marine Biomaterials	93
10	Marine Microalgae	88
11	Marine Biotechnology	83
12	Biomarker	81
13	Health Functional Food	78
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)



Trend: Kompaun Marin

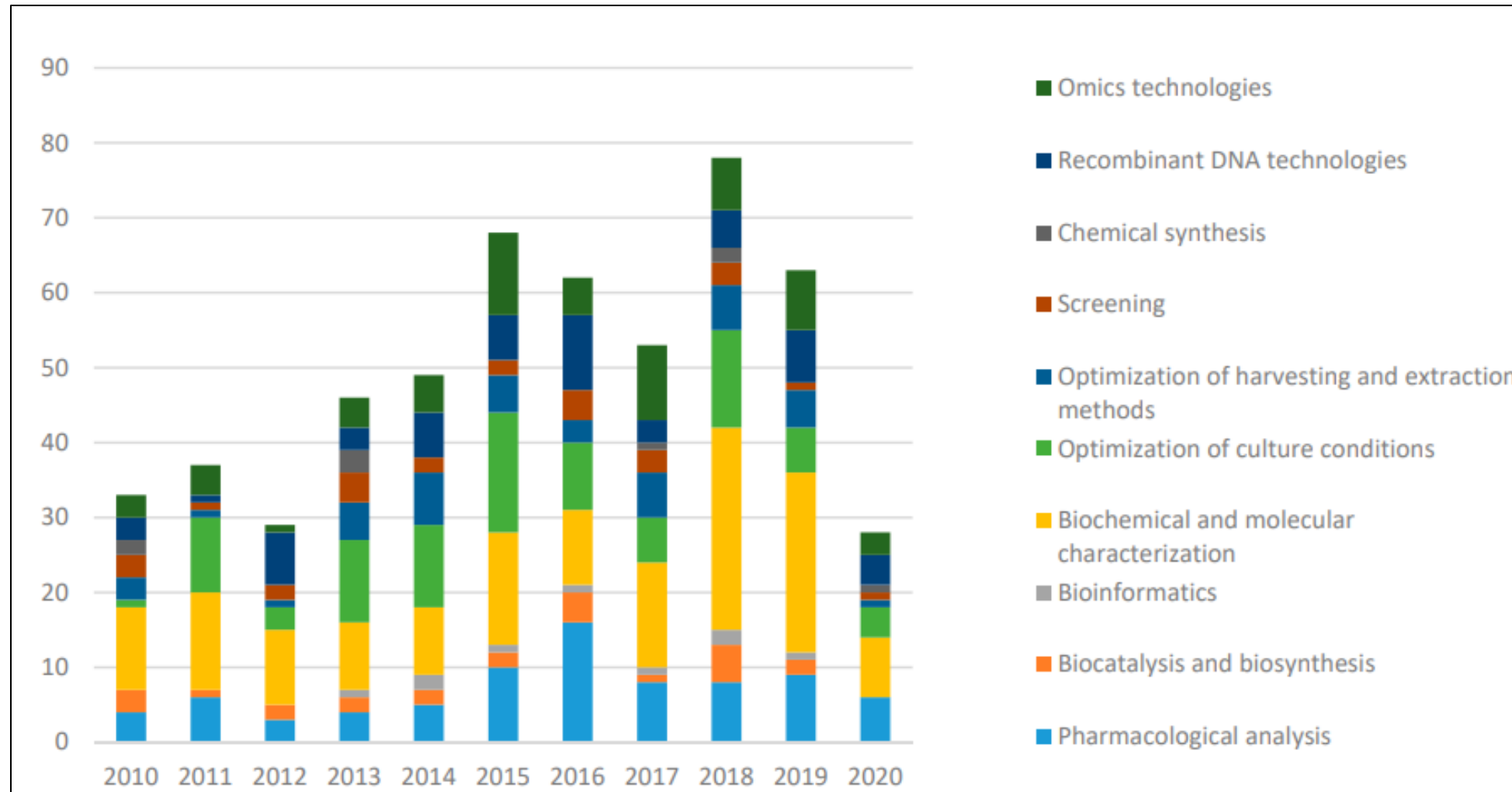
Pengedaran organisma marin yang digunakan dalam aplikasi farmaseutikal dan makanan bioteknologi marin, melalui penerbitan.



(Sumber: 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**]
		<i>Haematococcus pluvialis</i>	6 mg/g DCW (285 ± 19 mg/L) (bioreactor)	[58]
Zeaxanthin (2)	Cyanobacteria; Microalgae; Higher plants	<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]
			479.5 mg/L (bioreactor)	[60]
Fucoxanthin (3)	Diatoms; Seaweeds	<i>Cylindrotheca closterium</i>	25.5 mg/g DCW (bioreactor)	[61]
Squalene (4)	Shark liver oils	<i>S. cerevisiae</i> Y2805	2011 ± 75 mg/L (bioreactor)	[62]
		<i>E. coli</i>	28.5 mg/g DCW (52.1 mg/L) (bioreactor)	[63]
Shinorine (5)	Cyanobacteria; Macroalgae	<i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	2.37 ± 0.21 mg/g DCW (shake-flasks)	[64]

Trend: Teknologi dalam Bioteknologi Marin



(Sumber: Daniotti & Ilaria, 2021)

The analysis of articles from 2010 to 2020 reveals distinct trends in the application of these technologies:

- **"Pencirian biokimia dan molekul"** adalah teknologi yang paling banyak digunakan, digunakan dalam **150 kajian (24% daripada jumlah keseluruhan)**, menunjukkan pertumbuhan tahunan yang konsisten dan memuncak pada 2018. Walau bagaimanapun, sebagai teknologi asas, ia tidak memberikan nilai tambah yang diperlukan untuk menginovasi proses penemuan ubat dan tidak dianggap antara trend yang muncul untuk penyelidikan masa depan.
- Berikut dari segi nombor penerbitan ialah **"pengoptimuman keadaan pertumbuhan" (15%)** dan **"analisis farmakologi" (13%)**.
- **"Teknologi omik" (10%)** juga menunjukkan trend pertumbuhan yang stabil sepanjang dekad ini.
- **Trend Pertumbuhan Membandingkan 2015-2019 dengan 2010-2014:** Apabila membandingkan bilangan penerbitan dalam tempoh lima tahun yang lalu (2015–2019) dengan tempoh sebelumnya (2010–2014), hampir semua kategori menunjukkan peningkatan positif, dengan beberapa pengecualian:
- **"Sintesis kimia"** adalah satu-satunya kategori yang menunjukkan **penurunan sebanyak 40%**.
- Kategori dengan **Kurang daripada 50% peningkatan** Termasuk:
 - "Saringan" (+8.3%).
 - "Pengoptimuman keadaan kultur" (+38.9%).
 - "Biokatalisis" (+40%).
 - "Pengoptimuman kaedah penuaian dan pengestrakan" (+47%).
 - Teknologi yang **lebih daripada dua kali ganda** Nombor penerbitan mereka dalam tempoh lima tahun terakhir (2015–2019) berbanding 2010–2014, menjadikannya trend utama yang muncul, termasuk:
 - **Bioinformatik (+100%)**.
 - **Teknologi analisis farmakologi (+131.8%)**.
 - **Teknologi omik (+141%)**.
 - Peningkatan ketara juga diperhatikan untuk **"teknologi DNA rekombinan" (+55%)**.
- Teknologi baru muncul ini (omik, analisis farmakologi dan bioinformatik) digunakan terutamanya untuk **penemuan organisma baru atau produk asal marin**, sejajar dengan objektif penyelidikan asas yang sering dijalankan oleh universiti dan pusat penyelidikan.

Trend Geografi di China

Bioteknologi marin telah menjadi bidang utama untuk pembangunan ekonomi negara di China, terutamanya sejak Rancangan Lima Tahun ke-12. Negara telah mengiktiraf kepentingan bioteknologi marin untuk menangani penduduknya yang besar dan kenaikan harga bijirin yang berterusan. China telah meningkatkan perkembangan teknologi tinggi dengan ketara dan meningkatkan faedah industri marin. Tahap pelaburan penyelidikan dan pembangunan teknikalnya dianggap maju, setanding dengan negara berkuasa seperti Amerika Syarikat dan Jepun.

Aspek utama penglibatan China dalam bioteknologi marin termasuk:

- **Dasar dan Pelaburan:** Kerajaan China telah menggalakkan sektor marin sebagai tonggak strategik pertumbuhan ekonomi sejak 1996 melalui subsidi dan insentif cukai. Bioteknologi marin dilihat sebagai alat utama untuk "mengeksplorasi laut menggunakan sains dan teknologi," matlamat strategik kerajaan. Berikutan Rancangan Lima Tahun ke-12, Pentadbiran Lautan Negeri, bersama dengan Majlis Negeri, mengeluarkan spesifikasi baharu seperti Perancangan Pembangunan Bioindustri dan Perancangan Pembangunan Hal Ehwal Marin Negara, menekankan kepentingan bioteknologi marin.
- **Bahagian Pasaran dan Produk:** Pada 2015, jumlah nilai keluaran industri bioteknologi marin global mencecah \$78 bilion dolar AS, dengan China menyumbang \$20 bilion dolar AS. Industri makanan dan farmaseutikal berfungsi yang melibatkan hidupan marin semakin maju, dan banyak ubat marin dan produk penjagaan kesihatan telah diluluskan untuk dijual. Contohnya termasuk teknologi "kulit tiruan" untuk pembaikan tisu, yang telah mencapai tahap lanjutan antarabangsa, dan ubat anti-kanser, anti-tumor dan anti-AIDS baharu yang diperoleh daripada bioteknologi marin, yang telah memacu ekonomi negara.
- **Kepimpinan Penyelidikan Saintifik:** China mendahului di peringkat global dalam penerbitan saintifik dalam aplikasi bioteknologi marin untuk farmaseutikal dan makanan, dengan 102 penerbitan. Ia juga mempunyai faktor impak purata tertinggi di Asia (4.174).
- **Pusat Penyelidikan Terkemuka:** Empat daripada sepuluh pusat penyelidikan global teratas dalam bidang ini berada di China. Universiti Lautan China ialah institusi terkemuka di seluruh dunia dengan 18 penerbitan, yang mengkhusus dalam pencirian biokimia dan molekul (39%) dan teknik rekombinan (22.2%). Akademi Sains China juga menonjol dengan teknik rekombinan (33%) dan saringan (27%), dan telah bekerjasama dalam projek Eropah seperti PharmaSea dan MGATech.
- **Fokus Teknologi:** Penyelidikan Cina kebanyakannya menggunakan teknik pencirian biokimia dan molekul, pengoptimuman keadaan kultur (22.5% daripada penerbitan Cina), dan teknik rekombinan (13%).



Trend Geografi di Eropah

Pasaran di Eropah diunjurkan mencecah \$1301.85 juta, dengan farmaseutikal dan makanan menyumbang lebih 60% daripada nilai tambah.

Dasar dan Pembiayaan:

- Strategi Pertumbuhan Biru, yang diterima pakai pada 2012 oleh Suruhanjaya Eropah, merupakan sumbangan utama untuk mengenal pasti strategi pertumbuhan jangka panjang dan mampan, dengan bioteknologi marin sebagai komponen utama.
- Program Horizon 2020 (2014–2020), program penyelidikan dan inovasi terbesar di Eropah dengan peruntukan €80 bilion, menampilkan barisan pelaburan "Pertumbuhan Biru" khusus. Ia menggunakan instrumen seperti Instrumen PKS (kini EIC Accelerator Pilot), yang membiayai projek TRL tinggi untuk pengkomersialan, dan Bio-based Industries Joint Undertaking (BBI-JU), perkongsian awam-swasta untuk biopenapisan.
- Dari 2014 hingga 2020, Suruhanjaya Eropah memperuntukkan lebih €149 juta kepada 29 projek dalam sektor Blue Growth yang memberi tumpuan kepada aplikasi makanan dan farmaseutikal. Pengagihan pembiayaan berbeza-beza mengikut jenis projek: €98.48 juta untuk projek BG, €43.87 juta untuk projek BBI, dan €7.08 juta untuk projek instrumen PKS, dengan projek instrumen PKS biasanya mempunyai nilai TRL (Tahap Kesiediaan Teknologi) yang lebih tinggi (TRL 8 atau lebih).
- **Penyelidikan Saintifik dan Negara Terkemuka:** Eropah menyumbang 33.5% daripada penerbitan saintifik global dalam bioteknologi marin untuk aplikasi farmaseutikal dan makanan.
- Itali ialah negara terkemuka di Eropah untuk penyelidikan saintifik, menduduki tempat keempat di peringkat global dengan 55 penerbitan, mewakili lebih satu perempat daripada jumlah kajian Eropah. Kualiti penyelidikan Itali, diukur dengan faktor impak purata, menduduki tempat ketiga di Eropah di belakang Portugal dan Sepanyol.
- Pusat kecemerlangan Itali termasuk Stesen Zoologi Anton Dohrn, yang pertama di Eropah dan kedua di seluruh dunia dalam penerbitan dan pakar dalam teknologi omik (30%), dan Majlis Penyelidikan Kebangsaan Naples, yang memberi tumpuan kepada biosintesis dan biokatalisis (20%).
- **Fokus Teknologi dan Model Perniagaan:** Projek TRL tinggi di Eropah kebanyakannya menumpukan pada mengoptimumkan keadaan penanaman dan kaedah penuaian/pengekstrakan (digunakan dalam lebih 65% projek kematangan tinggi), selalunya digabungkan dengan teknologi rekombinan, untuk menangani cabaran kemampanan dan produktiviti.



Pengurusan Spesies Bukan Orang Asli (NIS): Dasar Kesatuan Eropah, seperti Arahkan Rangka Kerja Strategi Marin (MSFD), menangani NIS marin. Bilangan keseluruhan pengenalan baharu telah meningkat secara berterusan sejak tahun 2000, mencapai kadar tahunan sebanyak 21 NIS baharu di laut Eropah sepanjang 2012–2017. Suruhanjaya Perlindungan Alam Sekitar Marin Baltik (HELCOM) telah menetapkan ambang berangka sifar pengenalan NIS baharu melalui aktiviti antropogenik di Laut Baltik. Walaupun begitu, rekod NIS baharu berterusan, menunjukkan cabaran berterusan. Peningkatan NIS berkemungkinan disebabkan oleh peningkatan aktiviti manusia dan usaha penyelidikan.

Trend Geografi di Korea Selatan

Korea Selatan secara aktif melabur dalam penyelidikan bioteknologi marin dan pembangunan perindustrian, menyedari kepentingannya.

Aspek utama penglibatan Korea Selatan termasuk:

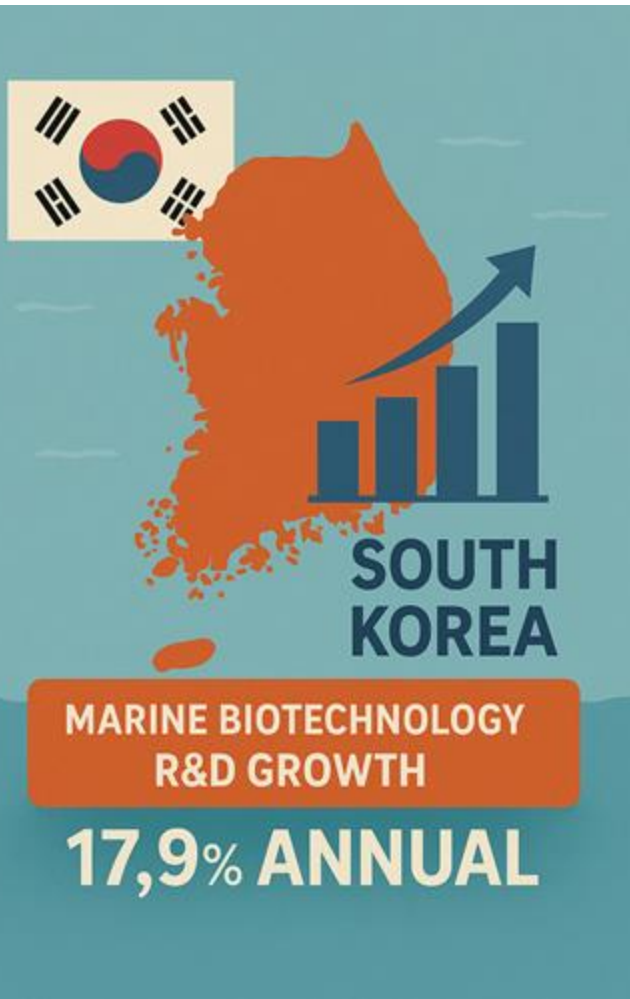
Pertumbuhan dan Pelaburan R&D: Projek R&D yang berkaitan dengan bio-industri marin di Korea telah menunjukkan kadar pertumbuhan purata tahunan yang tinggi sebanyak 17.9% dari 2002 hingga 2022, meningkat daripada 20 projek pada 2002 kepada 542 pada 2022. Kementerian Lautan dan Perikanan melabur KRW 248.6 bilion dalam projek R&D negara dalam biosektor marin dari 2005 hingga 2017. Walaupun pelaburan meningkat dengan ketara (cth, 4.5 kali ganda dari 2005 hingga 2017), ia kekal pada tahap yang lebih rendah berbanding kementerian lain, dan prestasi pengkomersialan adalah "agak lemah".

Topik Penyelidikan Utama:

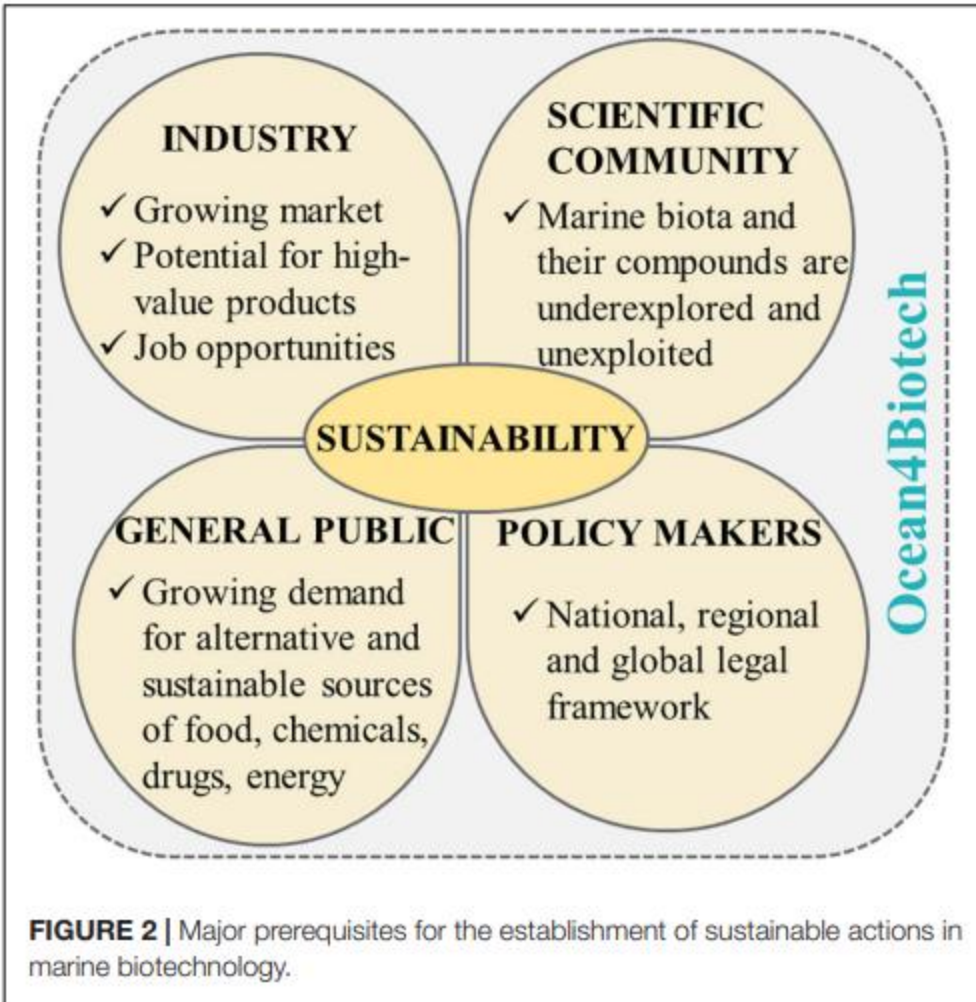
- Pada awal 2000-an, penyelidikan memberi tumpuan kepada bioteknologi, bioindustri, makanan berfungsi, bioindustri marin, biosensor, dan probiotik.
- Sehingga 2022, topik penyelidikan pusat termasuk karbon biru, perubahan iklim, penyimpanan karbon, garis pantai hidup, flat pasang surut dan makanan berfungsi.
- Secara konsisten muncul sebagai kata kunci utama merentas semua bahagian ialah: mikroalga, rumpai laut, tumbuhan marin, haiwan laut, mikrob marin, genom rujukan, gen berfungsi, pemantauan, biomaterial marin dan mikroalga marin.
- Kata kunci seperti "marin", "marinebio" dan "alga" menunjukkan keutamaan eigenvektor dan perantara yang tinggi, menunjukkan peranan utamanya dalam penyelidikan.

Penerbitan Saintifik: Korea Selatan merupakan penyumbang penting kepada penyelidikan saintifik, menduduki tempat ketiga di peringkat global dengan 61 penerbitan yang berkaitan dengan bioteknologi marin dalam aplikasi farmaseutikal dan makanan.

Fokus Teknologi: Penerbitan Korea Selatan menonjolkan analisis farmakologi (21% daripada penerbitan mereka).



Peranan Heliks Empat Kali Ganda



1. Komuniti Saintifik

Peranan: Memacu penyelidikan dan inovasi dengan meneroka biodiversiti marin, membangunkan kaedah saringan pemprosesan tinggi, memupuk organisma marin dan mengoptimumkan pengekstrakan sebatian bioaktif.

Sumbangan kepada Kelestarian: Membangunkan kaedah bioprospek mesra alam, menggalakkan inovasi yang bertanggungjawab, dan menyumbang kepada penggunaan sumber marin yang mampan.

2. Industri

Peranan: Menterjemahkan hasil penyelidikan kepada produk komersial seperti biofuel, farmaseutikal, nutraseutikal dan biobahan.

Sumbangan kepada Kelestarian: Digalakkan untuk menggunakan teknologi hijau, menggunakan penilaian kemampanan kitaran hayat, dan menyokong perkongsian awam-swasta untuk pengeluaran dan pengkomersialan yang mampan.

3. Penggubal Dasar

Peranan: Sediakan rangka kerja kawal selia, memastikan pematuhan undang-undang alam sekitar, dan memudahkan bioprospek beretika dan perkongsian faedah (cth, Protokol Nagoya, arahan EU).

Sumbangan kepada Kelestarian: Menyokong perundangan dan kerjasama antarabangsa untuk mempromosikan bioteknologi marin sambil melindungi biodiversiti marin dan perkhidmatan ekosistem.

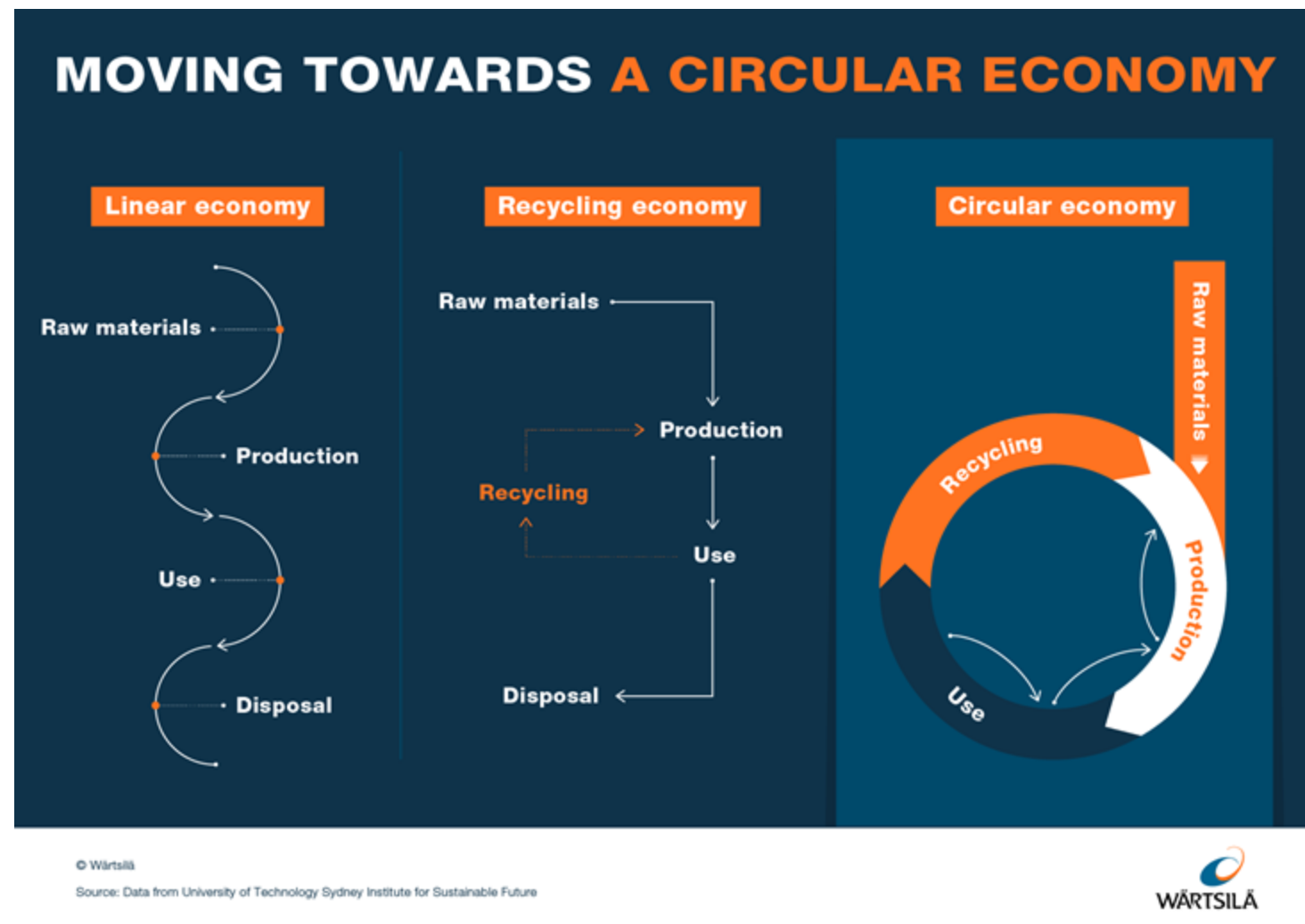
4. Orang Awam

Peranan: Bertindak sebagai pengguna dan benefisiari produk bioteknologi marin dan mesti dimaklumkan dan terlibat.

Sumbangan kepada Kelestarian: Peningkatan kesedaran membawa kepada permintaan yang lebih besar untuk produk mampan dan mesra alam, memacu penggunaan yang bertanggungjawab dan sokongan pasaran untuk inovasi hijau.

Pihak berkepentingan ini mesti bekerjasama dalam **Rangka kerja transdisiplin dan transnasional** untuk mencapai pembangunan yang mampan dan bertanggungjawab dalam bioteknologi marin.

Trend Bioteknologi Marin Semasa adalah untuk Memberi Penekanan kepada Kelestarian dan Ekonomi Pekeliling



Terdapat tumpuan yang semakin meningkat pada **eksploitasi sumber bio marin yang mampan**. Ini melibatkan menghargai **aliran sampingan dan sisa** (cth, daripada industri perikanan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi seperti hidrolisat protein atau kolagen) dan menyasarkan organisma marin yang dikultur secara mampan.

Teknik pengeluaran hijau, Seperti kaedah enzimatik untuk sintesis produk (biokatalisis dan biosintesis) yang mengurangkan penggunaan sebatian toksik, juga diutamakan.

Akuakultur diiktiraf sebagai penyelesaian kritikal kepada masalah perikanan dunia dan dijangka meningkatkan pengeluaran tujuh kali ganda menjelang 2025 untuk memenuhi permintaan. Ia juga mewakili alternatif kepada eksploitasi fauna marin liar yang tidak mampan.



Rangkaian Kolaboratif dan Penyelidikan dan Inovasi Bertanggungjawab (RRI):

Terdapat keperluan yang diiktiraf untuk **rangkaian yang berkesan, transnasional dan transdisiplin** menghubungkan industri, penyelidik, orang ramai dan penggubal dasar untuk memupuk bioteknologi marin dan bioekonomi secara mampan.

- Inisiatif seperti **Ocean4Biotech**, Tindakan COST, bertujuan untuk menghubungkan pihak berkepentingan, berkongsi infrastruktur, memudahkan pertukaran pengetahuan dan menggalakkan kemajuan kerjaya.
- Pembangunan bioteknologi marin semakin berpandukan **Prinsip RRI**, yang merangkumi etika, akses terbuka, kesaksamaan jantina, tadbir urus (mematuhi konvensyen antarabangsa seperti Konvensyen Kepelbagaian Biologi dan Protokol Nagoya), penglibatan awam dan pendidikan sains.



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



Bioteknologi Marin Menyumbang kepada Sumbangan Global kepada Pertumbuhan

- Pada tahun 2015, jumlah nilai keluaran industri bioteknologi marin global mencecah \$78 bilion dolar AS, dengan China menyumbang sejumlah besar \$20 bilion dolar AS. Pasaran bioteknologi marin global dijangka mencecah kira-kira \$6.4 bilion menjelang 2025, dengan industri makanan dan farmaseutikal berfungsi yang melibatkan hidupan marin berkembang dengan mantap.
- Industri ini menjana pelbagai produk, daripada produk volum tinggi, bernilai rendah seperti biofuel dan bahan makanan kepada produk bernilai tinggi dan berisiko tinggi seperti biobahan baharu, kosmetik, nutraseutikal dan farmaseutikal.
- Organisma marin menghasilkan pelbagai metabolit yang berguna untuk manusia, termasuk sitotoksik, antioksidan, antimikrob, antikanser dan sebatian pemakanan. Metabolit ini membantu memenuhi permintaan yang semakin meningkat untuk sumber alternatif nutraseutikal, farmaseutikal, kosmetik, makanan, makanan dan produk berasaskan bio baru.
- Sebagai contoh, industri makanan dan farmaseutikal berfungsi terus maju, dan banyak ubat marin dan produk penjagaan kesihatan telah diluluskan untuk dijual. Produk komersial yang berjaya termasuk analgesik Prialt®, antihipertensi Lovaza®, dan agen antikanser seperti Yondelis® dan Cytosar-U®.
- Pasaran Eropah untuk bioteknologi marin diunjurkan mencecah \$1301.85 juta, dengan sektor farmaseutikal dan makanan menyumbang lebih 60% daripada nilai tambah.
- Usaha Eropah dipandu oleh Strategi Pertumbuhan Biru, yang diterima pakai pada 2012 oleh Suruhanjaya Eropah, yang mengenal pasti bioteknologi marin sebagai komponen utama untuk pertumbuhan mampan jangka panjang.
- Program Horizon 2020 (2014–2020) ialah program penyelidikan dan inovasi terbesar di Eropah, memperuntukkan lebih €149 juta kepada 29 projek dalam sektor Blue Growth yang memberi tumpuan kepada aplikasi makanan dan farmaseutikal. Pembiayaan ini diagihkan melalui instrumen seperti panggilan Blue Growth (BG), Bio-based Industries Joint Undertaking (BBI-JU), dan Instrumen PKS (kini EIC Accelerator Pilot).
- Projek dengan Tahap Kesiapan Teknologi yang tinggi (TRL 6-8), selalunya dibiayai oleh Instrumen PKS, menumpukan pada teknologi untuk mengoptimumkan keadaan penanaman, penuaian, dan kaedah pengekstrakan, yang penting untuk eksploitasi komersial.
- Sektor makanan nutraseutikal dan berfungsi dijangka menerajui trend pasaran Eropah disebabkan oleh undang-undang yang kurang ketat dan keperluan pelaburan yang lebih rendah berbanding farmaseutikal, di samping memenuhi permintaan makanan secara mampan.
- Pasaran bioteknologi marin Eropah sebahagian besarnya terdiri daripada kira-kira 140 PKS mikro dan akademik, yang sering kekurangan kestabilan kewangan untuk penyelidikan canggih jangka panjang yang berterusan, menyerlahkan keperluan untuk perkongsian awam-swasta dan aktiviti rangkaian.



Potensi Marin di Indonesia

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, mempunyai kawasan marin dan pantai yang luas.

Khusus:

- **Kawasan laut marin Indonesia** dilaporkan **5.8 juta km²**.
- Angka yang lebih terperinci menunjukkan bahwa Indonesia terdiri daripada:
 - **0.3 juta km² laut wilayah.**
 - **3.09 juta km² air kepulauan.**
 - **2.97 juta km² zon ekonomi eksklusif.**
 - Gabungan ini menambah sehingga kira-kira 6.36 juta km² kawasan marin mengikut.
- **Garis pantai Indonesia** dilaporkan sebagai **99,093 km** atau **104,000 km**. Garis pantai tropika yang luas ini menyediakan habitat optimum untuk hidupan marin, termasuk rumpai laut.



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



Biodiversiti yang luas dan kurang diterokai di Indonesia

- Perairan Indonesia adalah rumah kepada biodiversiti mega, termasuk tumbuhan, haiwan dan mikroorganisma. Ia mempunyai kira-kira 86,700 kilometer persegi terumbu karang, merangkumi lebih 75% daripada spesies terumbu karang dunia.
- Kajian sistematik mengenal pasti sekurang-kurangnya 325 spesies rumpai laut (103 hijau, 167 merah, 55 alga coklat), kebanyakannya ditemui di hutan bakau dan terumbu karang di banyak pulau.
- Organisma marin, seperti span (850 spesies yang direkodkan di Indonesia), ascidian, gorgonian, dan pelbagai mikroorganisma (bakteria dan kulat), banyak dan berfungsi sebagai sumber yang kaya dengan produk semula jadi yang unik.
- Walaupun kekayaan ini, sebahagian besar spesies marin, terutamanya mikroorganisma seperti kulat dan bakteria marin, masih kurang diterokai.



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

Sumber: <http://ctatlas.coraltriangleinitiative.org/Country/Index/IDN>



Peluang Ekonomi dan Industri di Indonesia

Akuakultur dan Perikanan:

- Sektor marin adalah penting untuk keselamatan makanan Indonesia, membekalkan 70% protein makanan kepada penduduknya, dan menjana pendapatan tahunan yang besar.
- **Indonesia** ialah pengeluar global terkemuka dalam akuakultur, **menduduki tempat kedua di seluruh dunia dalam pengeluaran rumpai laut selepas China, menyumbang 38% daripada pasaran rumpai laut global**. Pada 2021, anggaran pengeluaran rumpai laut mencecah 9.05 juta tan.
- Bioteknologi meningkatkan akuakultur dengan ketara, meningkatkan pengeluaran ikan, kualiti spesies dan rintangan penyakit. Ini termasuk menggunakan hormon sintetik untuk pembiakan, kejuruteraan kromosom, teknik kawalan jantina, transgenesis untuk sifat yang lebih baik, dan pengurusan makanan dan kesihatan yang dipertingkatkan secara bioteknologi (cth., vaksin dan ujian diagnostik molekul).
- Penternakan rumpai laut merupakan sumber pendapatan utama bagi komuniti pantai, memerlukan modal yang agak rendah, dan sering dilihat sebagai sumber pendapatan tambahan yang berharga. Spesies komersial seperti *Eucheuma*, *Kappaphycus*, dan *Gracilaria* ditanam untuk hidrokoloid seperti agar dan karagenan, yang mempunyai permintaan global yang semakin meningkat dalam makanan, farmaseutikal, kosmetik dan biofuel. Kerajaan Indonesia sedang melaksanakan "Dasar Hilustriman Rumpai Laut" untuk meningkatkan industri, termasuk projek perintis dan pembangunan biofuel berasaskan rumpai laut dan plastik terbiodegradasi.



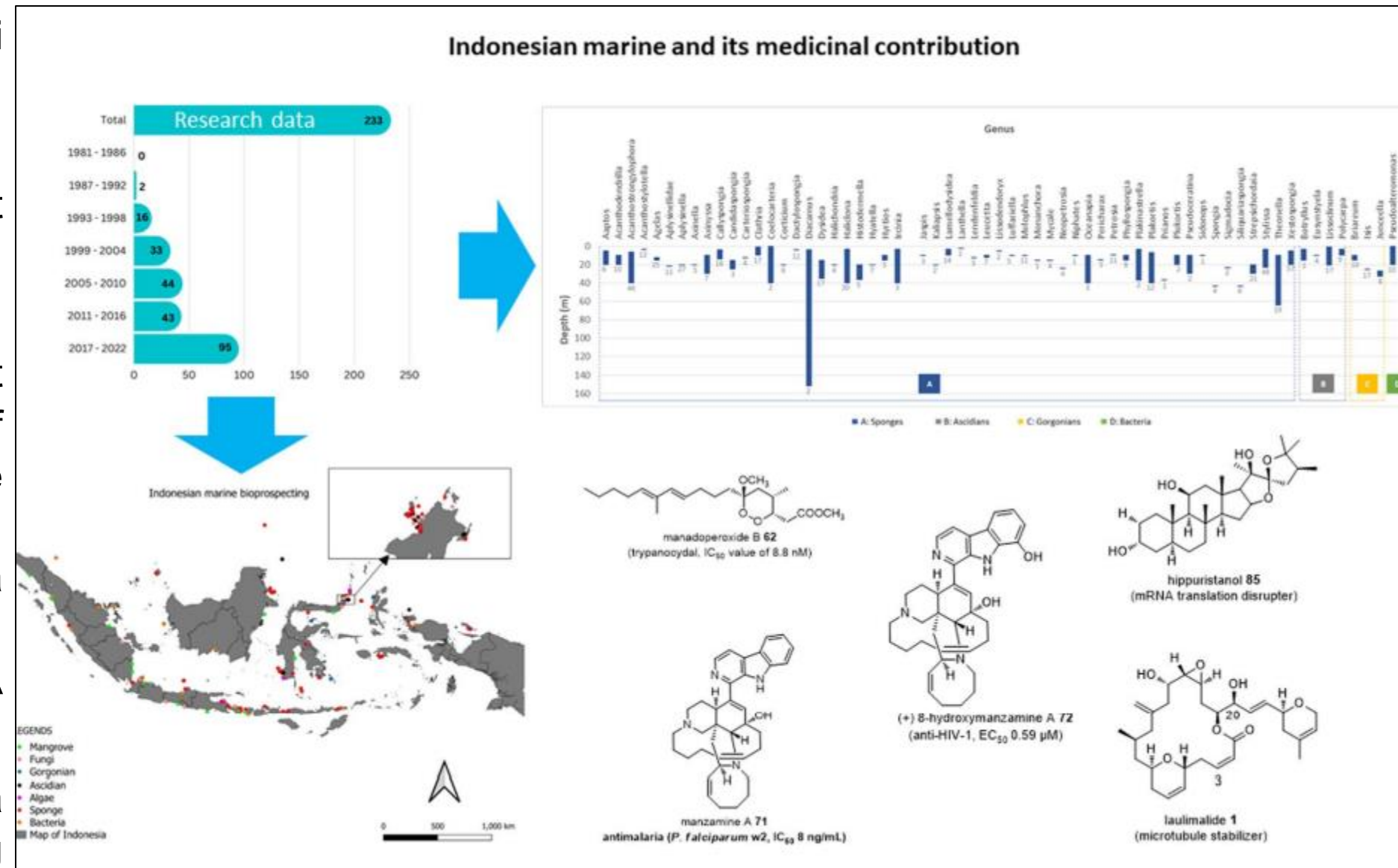
Sumber: <https://thebalisun.com/communities-concerned-bali-farmers-are-returning-to-risky-tourism-sector-for-income/>



Peluang Ekonomi dan Industri di Indonesia

Biofarmaseutikal dan Rawatan Perubatan:

- Organisma marin Indonesia merupakan sumber produk semula jadi bioaktif yang prolifik dengan pelbagai perancah dan aktiviti farmakologi.
- Sebatian yang diasingkan daripada organisma marin Indonesia (span, ascidian, gorgonian, kulat, bakteria) telah menunjukkan aktiviti yang kuat termasuk kesan antikanser, antimikobakteria (anti-TB), antidiabetes, antidislipidemia, antiosteoblastogenik, anti-malaria, dan anti-HIV-1.
- Penemuan ketara termasuk: laulimalide (penstabil mikrotubulus yang kuat daripada *Hyattella* sp.), papuamin (pelengkap doxorubicin prospektif daripada *Neopetrosia cf exigua* and *Haliclona* sp.), manzamine antiplasmodial yang kuat daripada *Acanthostrongylophora ingens*, manadoperoksida B anti-trypanosomal yang sangat kuat daripada *Plakortis cfr. Simplex*, pengganggu terjemahan mRNA hippuristanol daripada *Briareum* sp., dan anti-HIV-1 (+)-8-hydroxymanzamine A daripada *Acanthostrongylophora* sp..
- Walaupun tiada ubat komersial daripada persekitaran marin Indonesia kini berada di pasaran, kepelbagaian molekul dan biodiversiti yang kurang dikaji mendedahkan janji besar.



(Sumber: Nugraha, et. al. 2023)



Kesimpulan

Bioteknologi marin berkembang pesat di peringkat global, diketuai oleh pelaburan R&D yang ketara, terutamanya dari China, India dan Korea Selatan. Trend utama termasuk tumpuan pada kemampunan, produktiviti yang dipertingkatkan dan penggunaan omik dan bioinformatik termaju untuk meneroka biodiversiti marin. Organisma marin menawarkan potensi besar untuk farmaseutikal (cth, laulimalide, papuamine), nutraseutikal, akuakultur mampan, biofuel dan bioplastik. Mikrob marin juga menyediakan enzim industri yang berharga. Merealisasikan potensi ini memerlukan kerjasama global yang kukuh antara kerajaan, akademik, industri dan masyarakat sivil. Inisiatif seperti Ocean4Biotech Eropah menekankan keperluan untuk rangkaian transnasional untuk mengatasi cabaran seperti kos R&D yang tinggi, penyeragaman data dan kesedaran awam yang terhad. Indonesia, dengan biodiversiti marin yang luas dan inisiatif biologi sintetik yang semakin meningkat, berada pada kedudukan yang baik untuk menyumbang kepada bioekonomi marin global, walaupun menghadapi cabaran dalam akses data dan kos pemuliharaan. Usaha kolaboratif adalah penting untuk masa depan bioteknologi marin yang benar-benar mampan.



Bibliografi

- 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**

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