



Tinjauan Upaya R&D yang Ditujukan untuk Meningkatkan Keberlanjutan Perikanan dan Akuakultur

Didanai oleh Uni Eropa (UE). Namun pandangan dan pendapat yang diungkapkan hanya milik penulis dan tidak selalu mencerminkan pendapat Uni Eropa atau Badan Eksekutif Pendidikan dan Kebudayaan Eropa (EACEA). Baik Uni Eropa maupun EACEA tidak dapat dimintai pertanggungjawaban atas mereka.

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



Co-funded by
the European Union



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



MITRA PROYEK

Malaysia



Indonesia



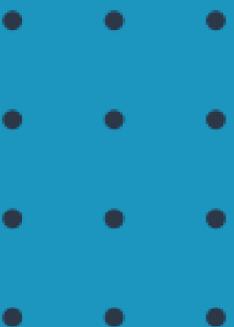
Greece



Cyprus



Didanai oleh Uni Eropa. Namun pandangan dan pendapat yang diungkapkan hanya milik penulis dan tidak selalu mencerminkan pendapat Uni Eropa atau Badan Eksekutif Pendidikan dan Kebudayaan Eropa (EACEA). Baik Uni Eropa maupun EACEA tidak dapat dimintai pertanggungjawaban atas mereka.
Proyek: 101129136 – SustainaBlue – ERASMUS-EDU-2023-CBHE



Outline

01

Pemuliaan Selektif dan Inovasi Genetik

02

Umpan Alternatif dan Efisiensi Sumber Daya

03

Teknologi Produksi Transformatif

04

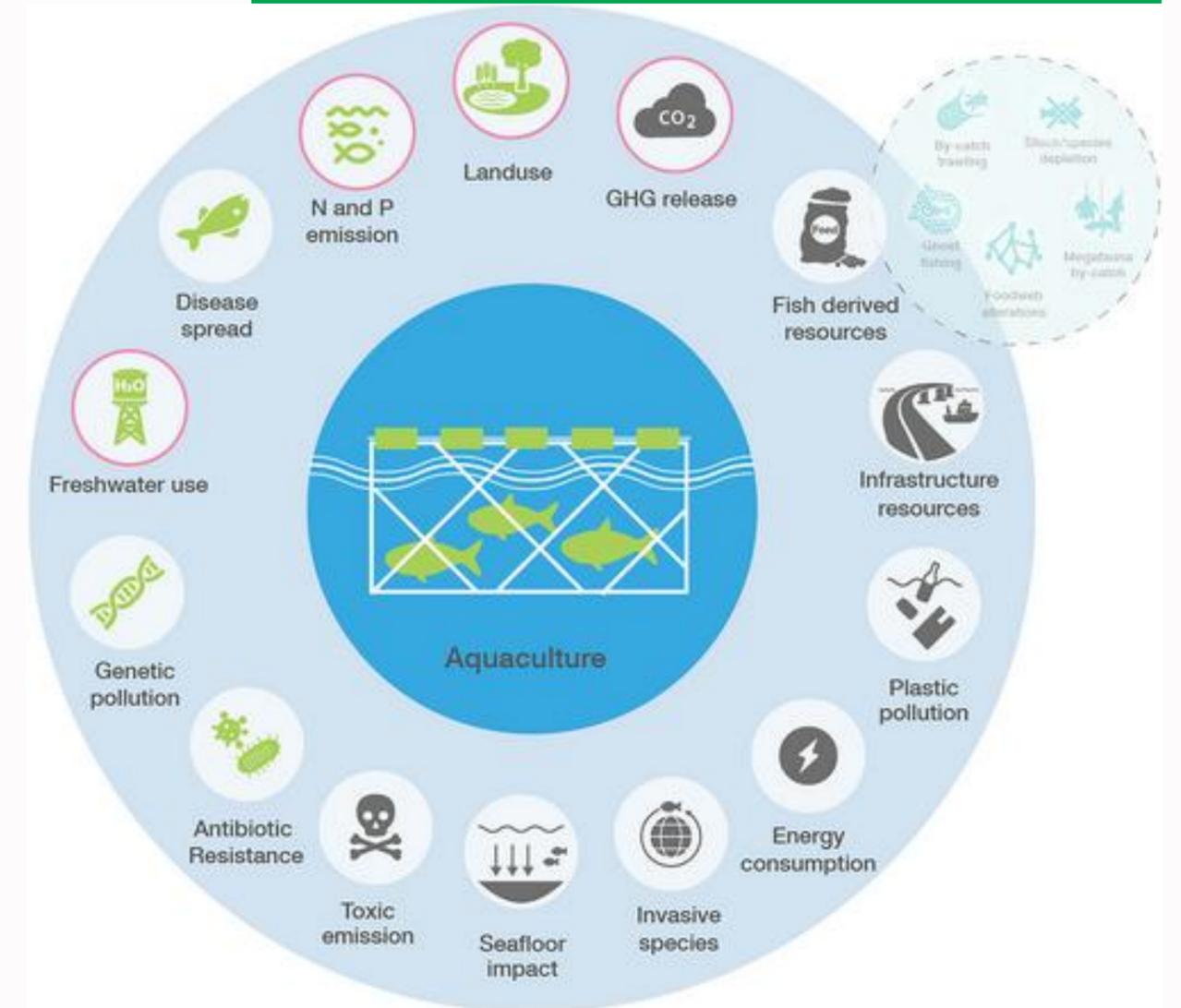
Pemantauan Presisi dan AI

05

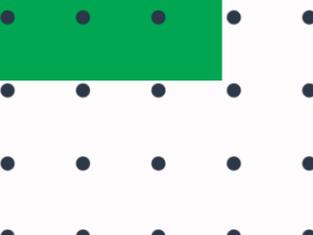
Kebijakan, Kesetaraan, dan Manajemen Ekosistem

06

Arah R&D Masa Depan



Troell et al. (2023)



1. Pemuliaan Selektif dan Inovasi Genetik (1)

• Riset dan Pengembangan (R&D) dalam Pemuliaan Genetik

Riset dan pengembangan telah berdampak pada kemajuan yang signifikan dalam perbaikan genetik melalui rekayasa pemuliaan selektif yang meningkatkan laju pertumbuhan ikan, resistensi terhadap penyakit, dan produktivitas secara keseluruhan. Pendekatan tersebut menghasilkan populasi ikan yang lebih tangguh dan mampu berkembang di berbagai kondisi lingkungan, sehingga mendukung ketahanan pangan global sekaligus meminimalkan tekanan ekologis.

1. Pemuliaan Selektif:

Pada program rekayasa pemuliaan selektif, perubahan genetik terjadi secara acak dengan probabilitas rendah untuk memperoleh sifat yang diinginkan, sehingga proses tersebut memerlukan sumber daya beberapa generasi untuk membangun strain unggul.

2. Ketahanan dan Adaptasi: Pemuliaan selektif dapat meningkatkan ketahanan terhadap penyakit dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan iklim. Sebagai contoh, di Norwegia penggunaan antibiotik pada salmon berkurang hingga 99% melalui pengembangan strain yang divaksinasi dan memiliki laju pertumbuhan tinggi [1].

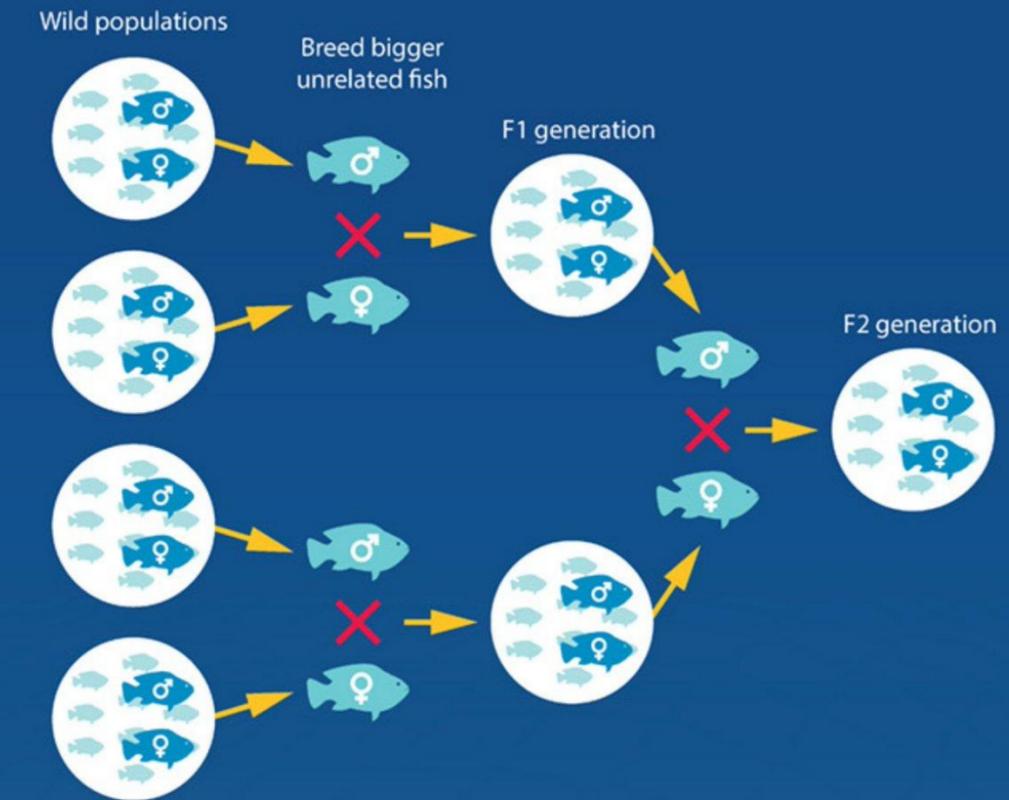
3. Toleransi Salinitas: Pengembangan strain ikan nila yang toleran terhadap salinitas, misalnya *Oreochromis mossambicus* yang memungkinkan budidaya di perairan payau.

4. Keunggulan Strain ICLARM: Pemuliaan ikan nila oleh *International Centre for Living Aquatic Resources Management* (ICLARM) dapat menghasilkan strain yang memiliki pertumbuhan hingga 100% lebih cepat dibandingkan populasi dasar serta mampu berkembang di berbagai lingkungan.

Visit:

- <https://www.youtube.com/watch?v=rf4SEy7eFmw>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ErHINYzZAus>

Bringing the power of selective breeding to fish

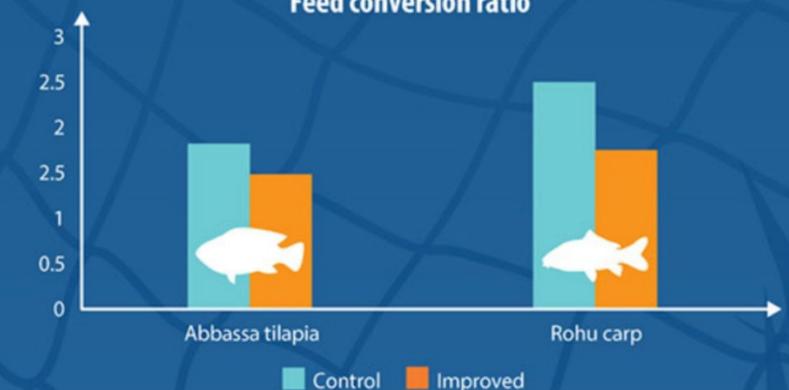


Selective breeding brings rapid, sustainable gains
Faster growth...



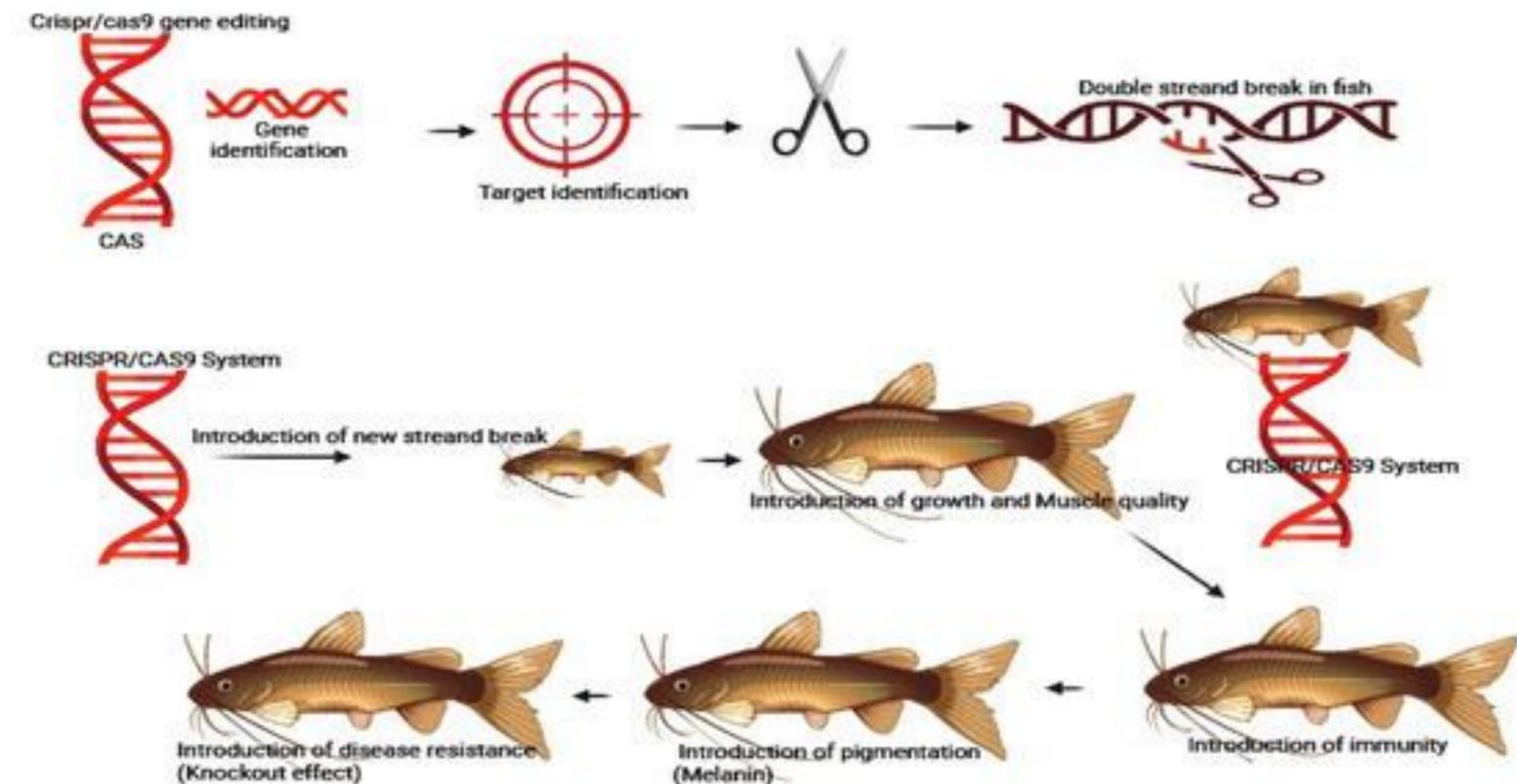
... and even less feed per kilogram of fish*

Feed conversion ratio

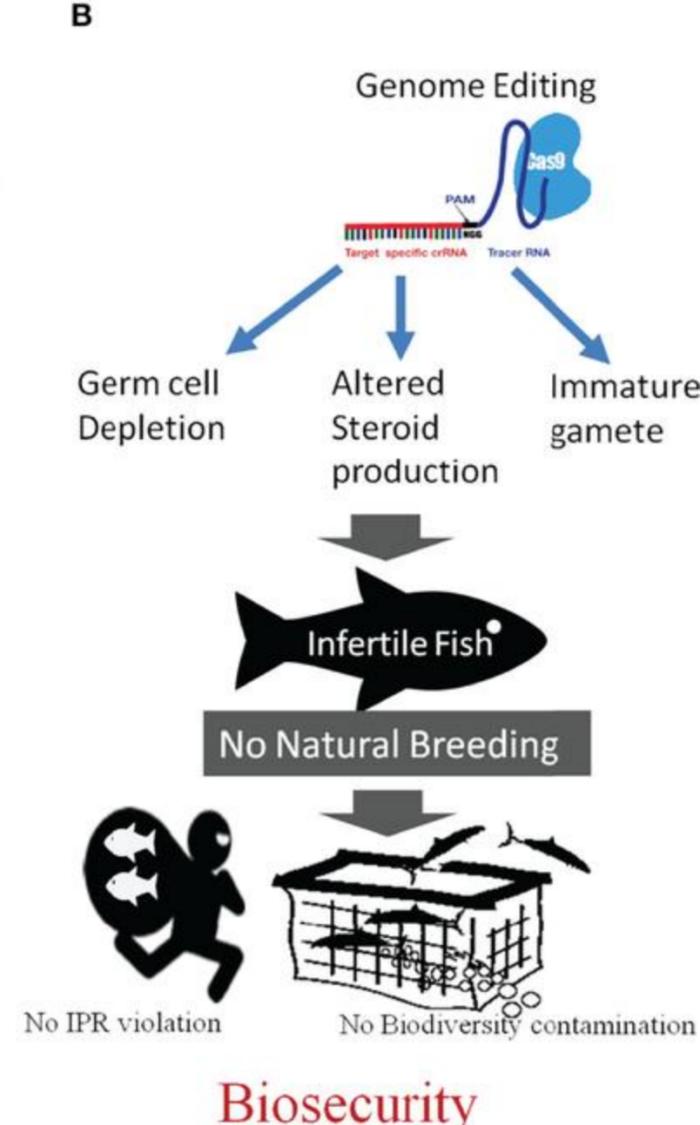
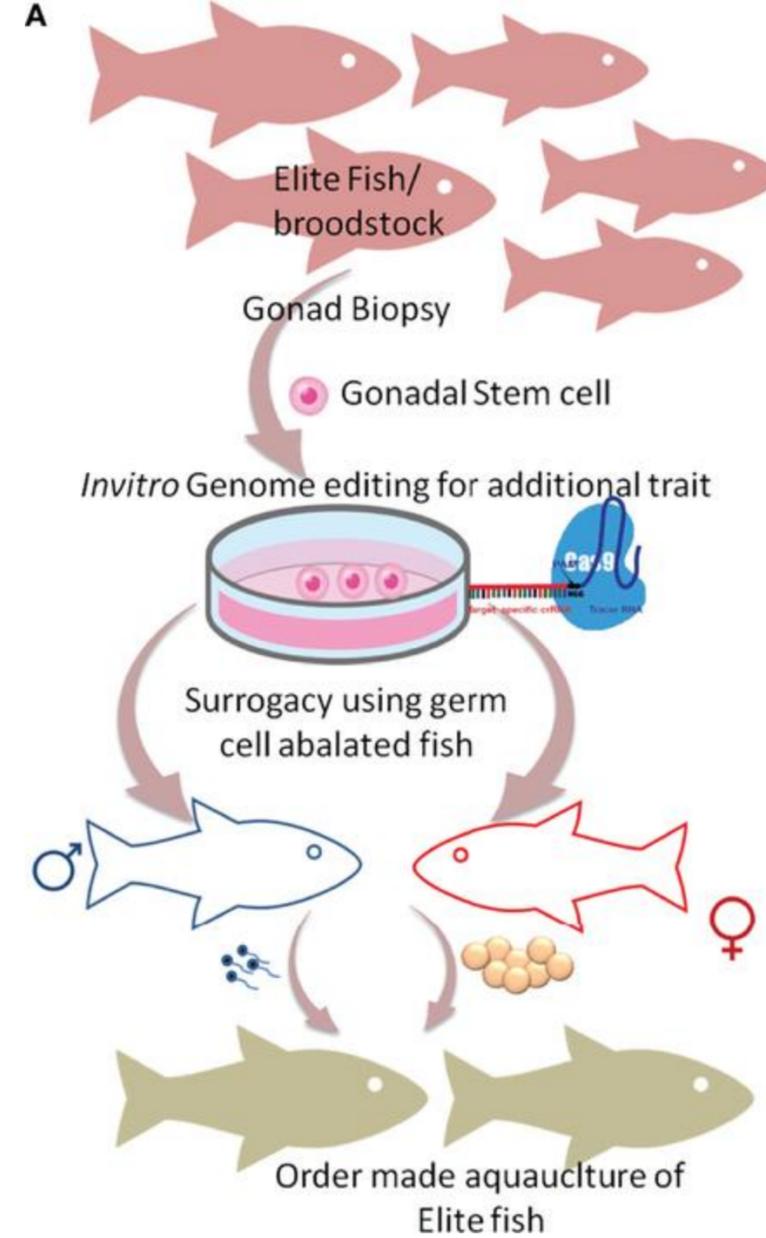
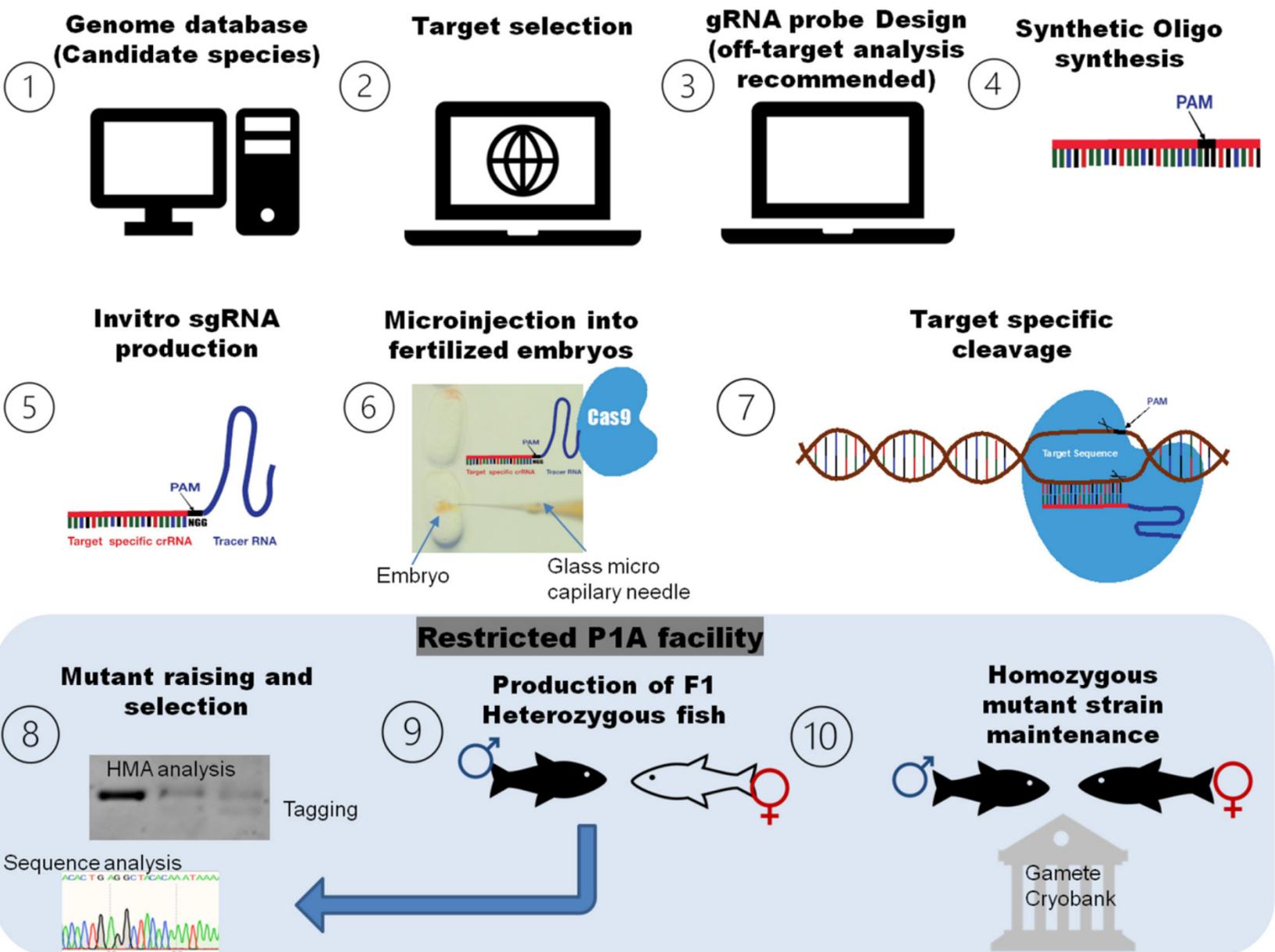


1. Pemuliaan Selektif dan Inovasi Genetik (2)

- **CRISPR dan Rekayasa Genom dalam Akuakultur**
- Rekayasa genomik memungkinkan percepatan proses pemuliaan dengan presisi karena perubahan genetik dapat diarahkan pada gen target tertentu, sehingga dapat meningkatkan probabilitas tercapainya sifat yang diinginkan.
- Teknologi CRISPR/Cas9 baru-baru ini diterapkan pada lebih dari 20 spesies akuakultur, menargetkan karakteristik yang menjadi fokus inisiatif rekayasa pemuliaan genetik tradisional, termasuk pertumbuhan, resistensi penyakit, reproduksi, sterilitas, dan pigmentasi [2].
- Spesies yang telah menjadi objek aplikasi meliputi: salmon Atlantik, nila (*Oreochromis niloticus*), red sea bream, channel and southern catfish, rainbow trout, blunt snout bream, dan farmed carps like Rohu, grass, and common carp. Selain itu, terdapat ikan tiram Pasifik, ikan killi Atlantik, ikan petarung, ikan sol lidah Cina, udang oriental dan udang putih, serta berbagai spesies akuakultur lainnya.



Penerapan CRISPR/Cas9 dalam akuakultur melibatkan beberapa langkah. Pertama, gRNA spesifik dirancang untuk mencocokkan urutan gen target. Kemudian, protein Cas9 mengikat DNA target, menyebabkan putusnya untai ganda. Akhirnya, kerusakan diperbaiki (Roy et al., 2022)



Skema Metodologi Umum Rekayasa Genom CRISPR/Cas dalam Akuakultur dan Perikanan
 Metodologi pengeditan genom menggunakan CRISPR/Cas umumnya mengikuti tahapan sistematis. Pertama, gen target dipilih setelah analisis database genom spesies target. Selanjutnya, *single guide RNA* (sgRNA) dirancang dengan bantuan perangkat lunak perancangan sgRNA, diikuti oleh sintesis *oligonukleotida* sgRNA. Untuk rekayasa spesifik pada gen target, campuran sgRNA dan Cas9 disalurkan ke embrio yang baru dibuahi pada tahap satu sel melalui injeksi mikro atau metode sejenis. Tahap berikutnya meliputi evaluasi hasil pengeditan genom dan aplikasi lanjutan, yang mencakup analisis mutagenesis, pemilihan individu mutan, persilangan dengan populasi liar, produksi garis mutan tertentu, serta penilaian fenotip yang terkait dengan mutasi yang diinduksi CRISPR. Proses ini berujung pada pembentukan varietas baru yang memiliki nilai tambah untuk akuakultur (Roy *et al.*, 2022).

Rekayasa Genom dalam Akuakultur dan Perikanan
 Rekayasa genom diperkirakan akan diplikasikan secara luas dalam akuakultur untuk meningkatkan keberlanjutan produksi. Proses ini menekankan pentingnya mutasi *germline* dalam menghasilkan stok yang telah direkayasa oleh genom. (A) Panel kanan menggambarkan bahwa sel punca gonad (*gonadal stem cells*, GSC), yaitu sel prekursor germinal atau sel penghasil gamet dari berbagai individu ikan berkinerja tinggi (elit) yang dikumpulkan, dibiakkan, dan dimodifikasi melalui rekayasa genom. Sel GSC yang telah diedit di laboratorium dapat membawa mutasi yang diinginkan, kemudian ditransplantasikan ke inang yang disterilkan (tanpa sel germinal atau telah di-ablasi), sehingga menghasilkan gamet jantan atau betina sesuai dengan jenis kelamin inang. Pencampuran gamet akan memungkinkan pembentukan strain unggul tertentu. (B) Ilustrasi menunjukkan penerapan produksi strain pesanan berbasis GSC dalam konteks akuakultur yang menggunakan ikan steril, sistem budidaya terkontrol dan prinsip biosekuriti yang ketat (Roy *et al.*, 2022)

2. Pakan Alternatif & Efisiensi Sumber Daya (1)

Sumber Protein Alternatif:

Nutrisi serangga, seperti larva lalat prajurit hitam, ganggang, dan protein mikroba, dapat digunakan sebagai pengganti nutrisi ikan, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada stok ikan liar. Implementasi sumber protein alternatif telah terbukti dapat meningkatkan produktivitas, seperti tambak udang di Ekuador yang mencatat peningkatan hasil sebesar 25% setelah beralih ke pakan berbasis protein alternatif [3].

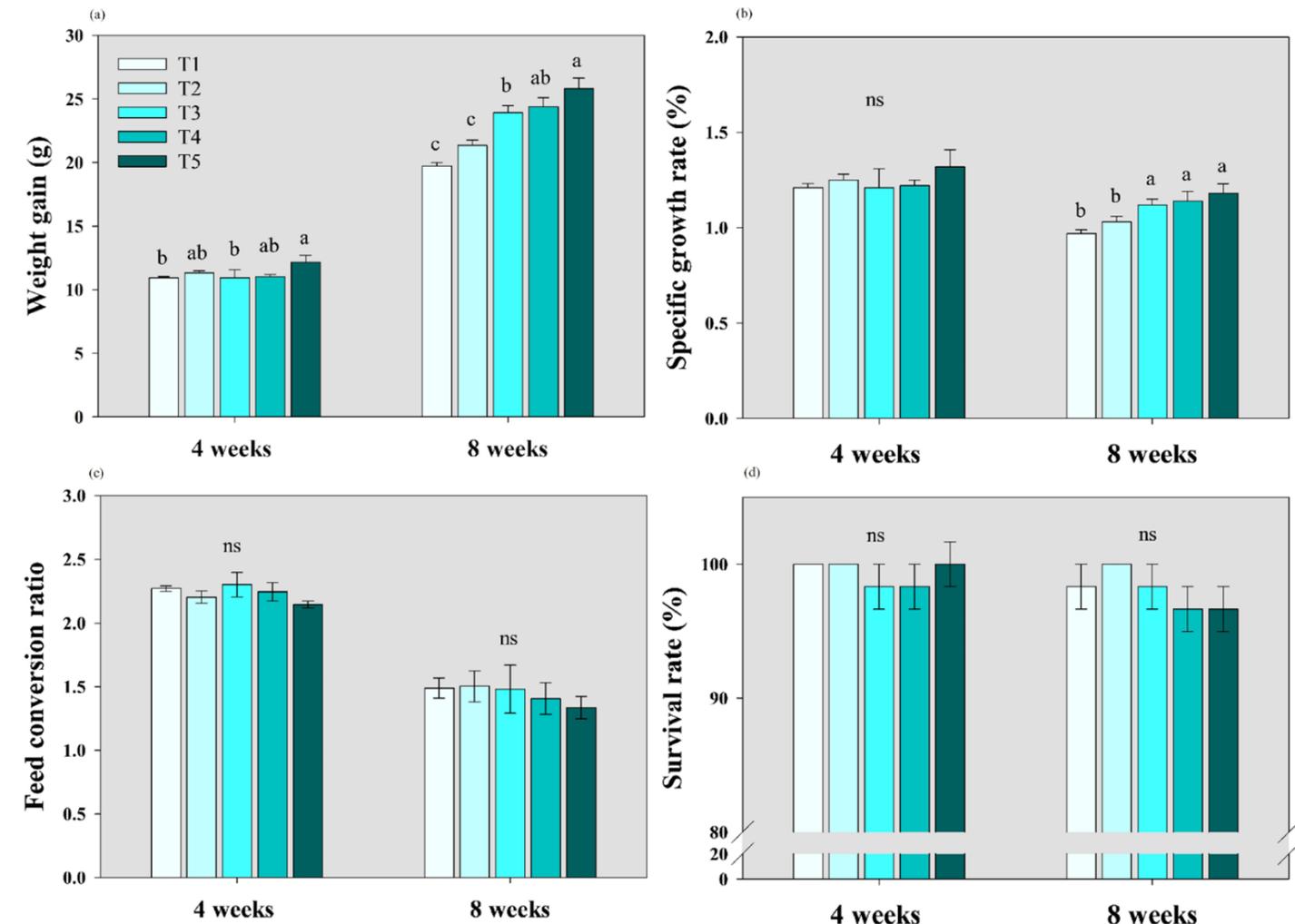
Visit:

- <https://www.youtube.com/watch?v=6WqgmMiYPak>
- <https://www.youtube.com/watch?v=3gAdT5YigGo>

Pengukuran WG atau penambahan berat badan (a), SGR atau laju pertumbuhan spesifik (b), FCR atau rasio konversi pakan (c), dan SR atau tingkat kelangsungan hidup (d) ikan mas Koi yang diberi makanan berikut: 0 g kg⁻¹ kontrol BSFLM (T1), 50 g kg⁻¹ BSFLM (T2), 100 g kg⁻¹ BSFLM (T3), 150 g kg⁻¹ BSFLM (T4), dan 200 g kg⁻¹ BSFLM (T5). Data disajikan sebagai rata-rata ± SEM, dan penggunaan huruf yang berbeda menandakan perbedaan yang signifikan secara statistik antar kelompok ($p < 0,05$). Simbol "ns" digunakan untuk menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$). (Linh *et al.*, 2024)



Mohan *et al.*, 2022



2. Pakan Alternatif & Efisiensi Sumber Daya (2)

- **Pengoptimalan Rasio Konversi Pakan (FCR):**

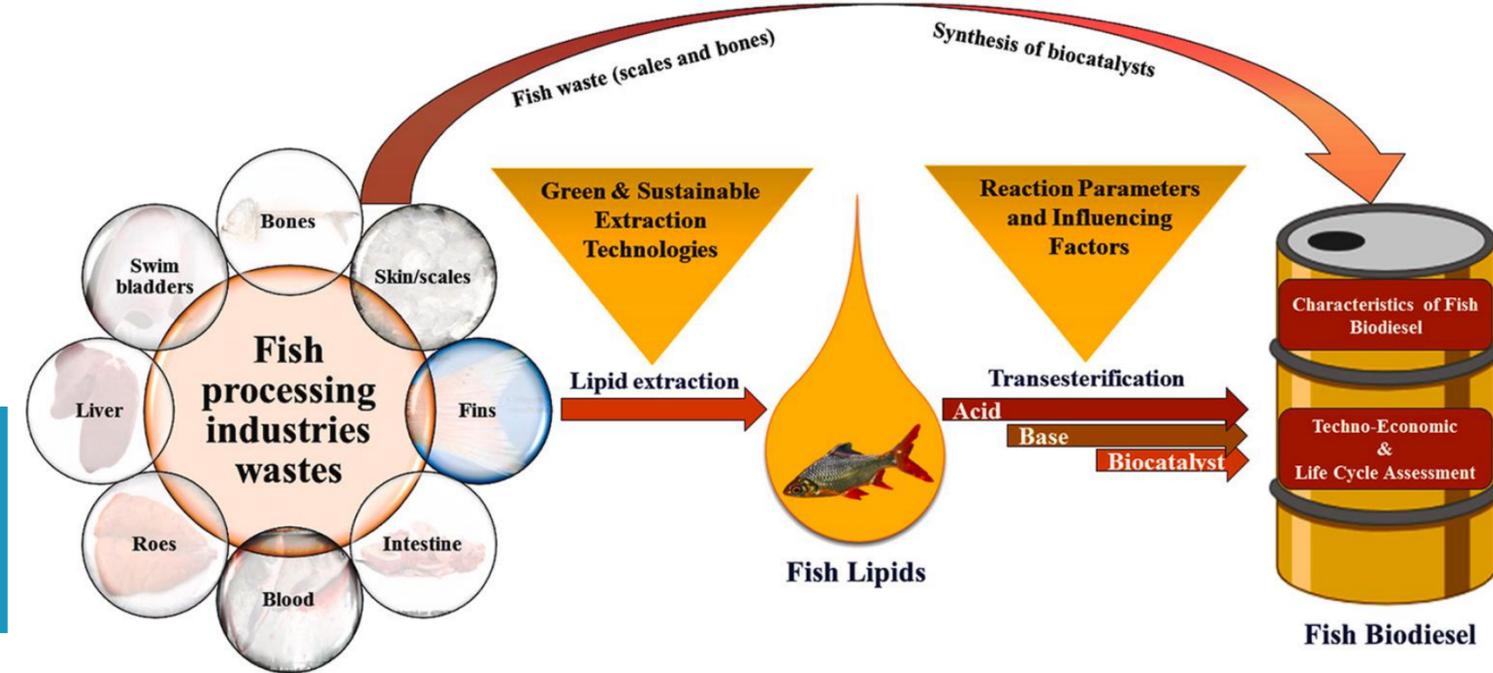
Rekayasa pemuliaan genetik telah dikombinasikan dengan sistem pemberian pakan berbasis kecerdasan buatan (AI) yang mampu menurunkan FCR dari lebih dari 1,5 menjadi 0,9–1,1, sekaligus mengurangi limbah pakan hingga 20% [4].

- **Valorisasi Limbah:**

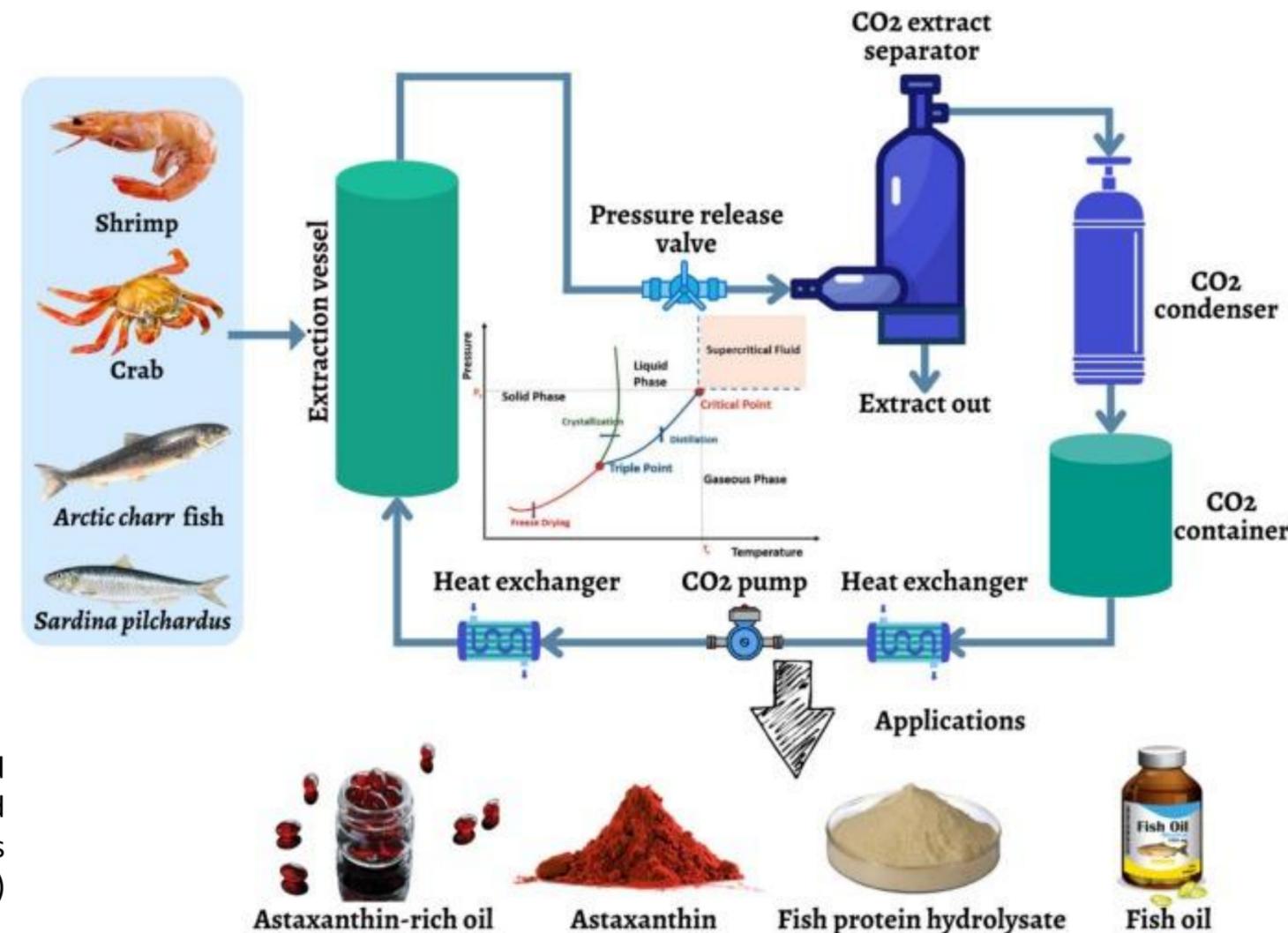
Produk sampingan dari pengolahan ikan dapat diolah menjadi kolagen, kitosa, atau biofuel, seperti pada kulit dan cangkang udang TômTex hingga dapat mendukung penerapan prinsip ekonomi sirkular [5].

Visit:

- <https://www.youtube.com/watch?v=iCTAoOaBKw8>
- <https://www.youtube.com/watch?v=4XFEwVSG rc>



Jaiswal et al., 2024



Schematic of working principle and application of microwave-assisted extraction (MAE) techniques (Xia et al., 2024)

2. Teknologi Produksi Transformatif (1)

- **Sistem Akuakultur Resirkulasi (RAS):**

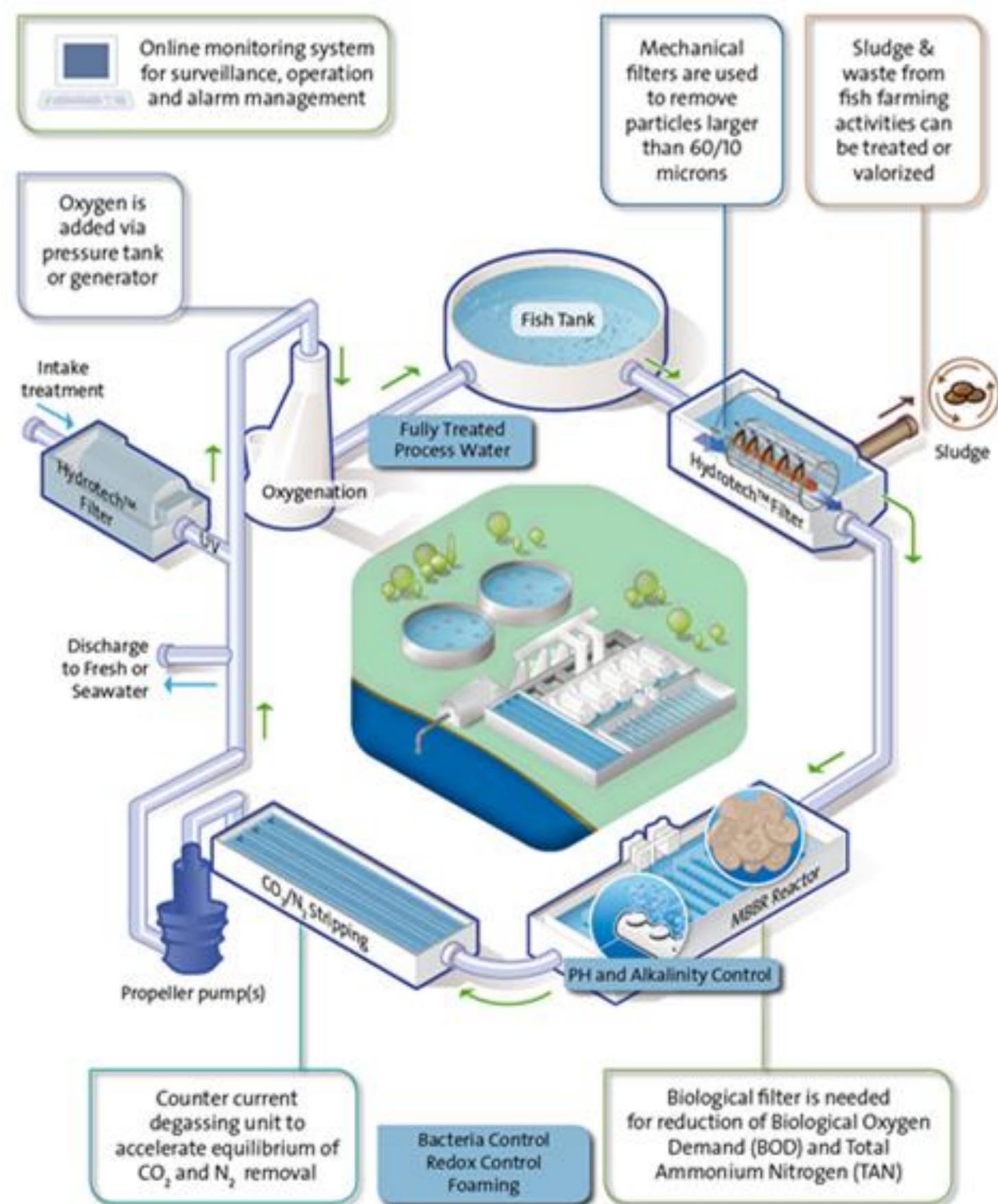
RAS merupakan sistem *loop* tertutup yang mendaur ulang lebih dari 95% air, mengurangi penggunaan lahan, dan mencegah pencemaran lingkungan. Proyek-proyek seperti Atlantic Sapphire (AS) sebagai contoh potensi skalabilitas yang mampu menghasilkan 10.000 ton salmon per tahun dengan dampak lingkungan yang minimal [4].

- **Akuaponik dan Integrasi Reservoir:**

Pendekatan yang memanfaatkan badan air, seperti bendungan untuk budidaya ikan hingga dapat mengoptimalkan efisiensi penggunaan sumber daya tanpa merusak habitat baru [6].

- **Akuakultur Multi-Trofik Terpadu (IMTA):**

IMTA menggabungkan budidaya ikan dengan rumput laut dan/atau moluska untuk mendaur ulang nutrisi secara efektif. Contoh sistem salmon dan kerang di Kanada menunjukkan pengurangan limbah hingga 50% dan peningkatan keuntungan sebesar 15–20% melalui valorisasi produk sampingan [5].



Visit:

- <https://www.youtube.com/watch?v=Oo1V62fIGIM>

Akuakultur Multi-Trofik Terpadu (IMTA):

IMTA merupakan praktik akuakultur berkelanjutan yang melibatkan budidaya simultan beberapa spesies akuatik dari tingkat trofik yang berbeda. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi limbah, dan menyediakan jasa ekosistem termasuk bioremediasi. Prinsip utama IMTA adalah memanfaatkan produk sampingan atau limbah dari satu spesies sebagai sumber nutrisi bagi spesies lainnya, sehingga menciptakan sistem produksi yang sirkular dan ramah lingkungan.

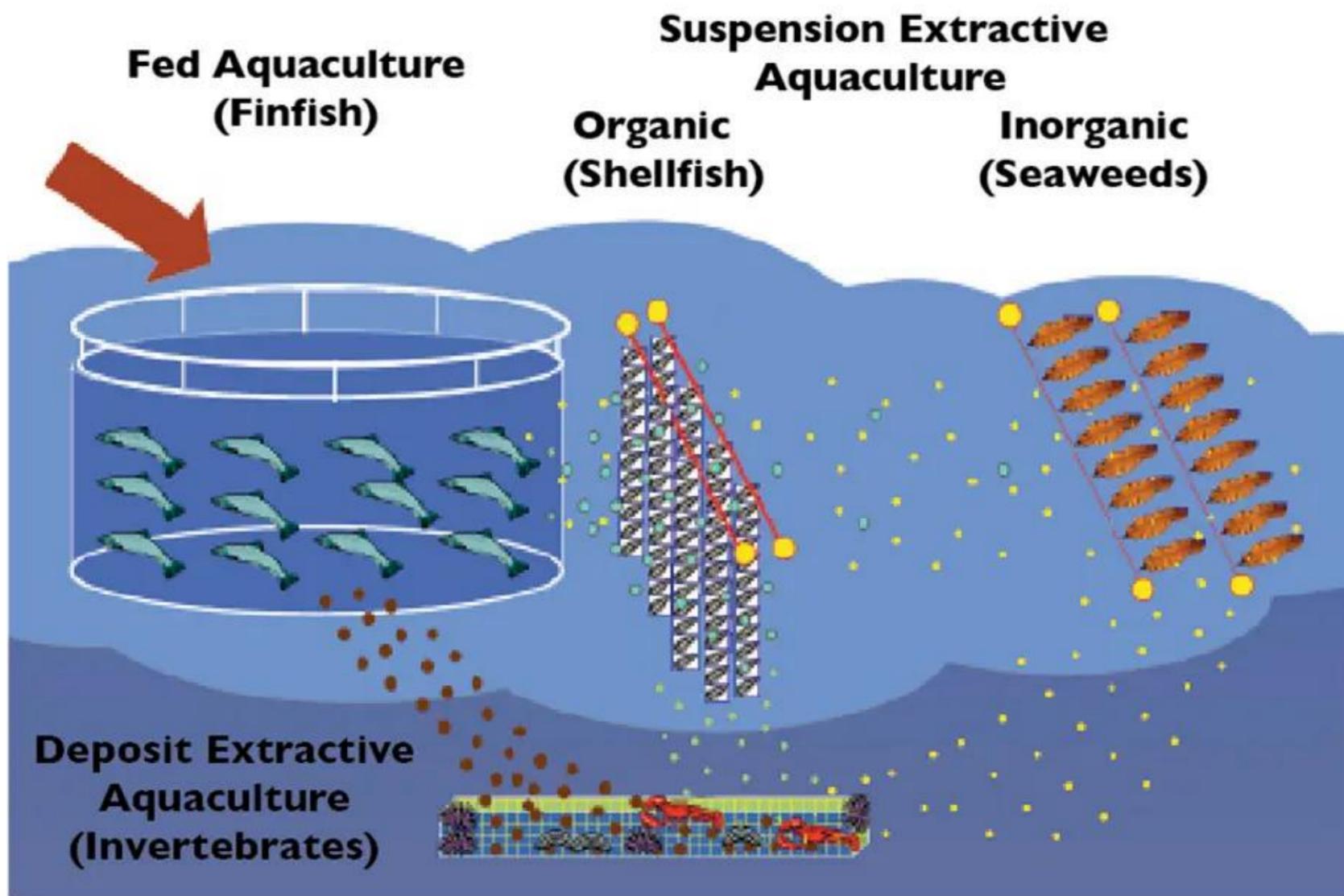
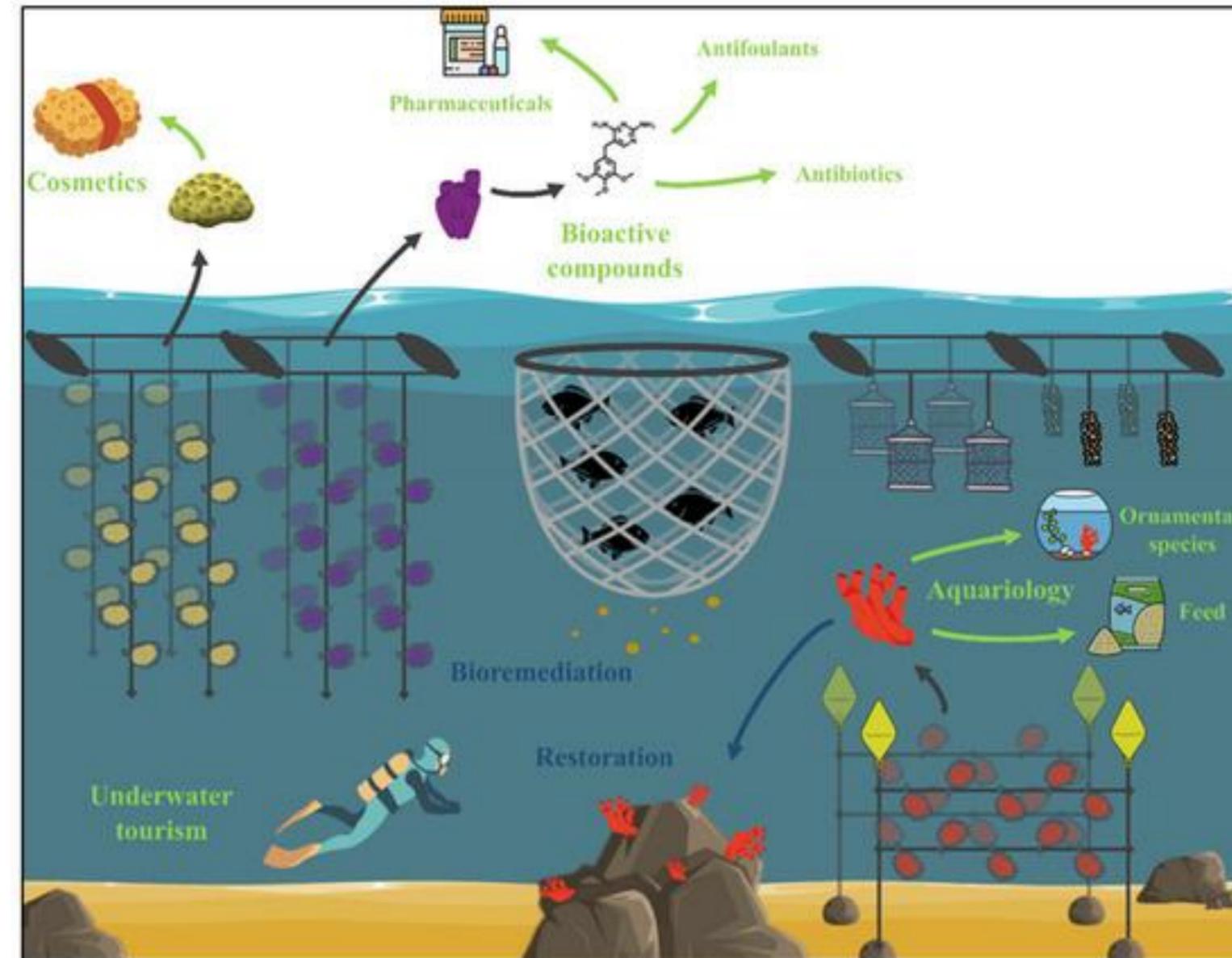


Diagram operasi budidaya multi-trofik terintegrasi menggambarkan kombinasi tingkat trofik yang berbagi lingkungan dan memanfaatkan nutrisi organik dan anorganik yang disediakan oleh berbagai organisme (globalseafood.org)



Spons sebagai produk sampingan dari sistem IMTA. Manfaat lingkungan dan ekonomi masing-masing diwakili dalam warna biru dan hijau. (Aguilo-Arce et al., 2023)

4. Pemantauan Presisi dan AI (1)

- **Sensor IoT dan Analitik Real-Time:**

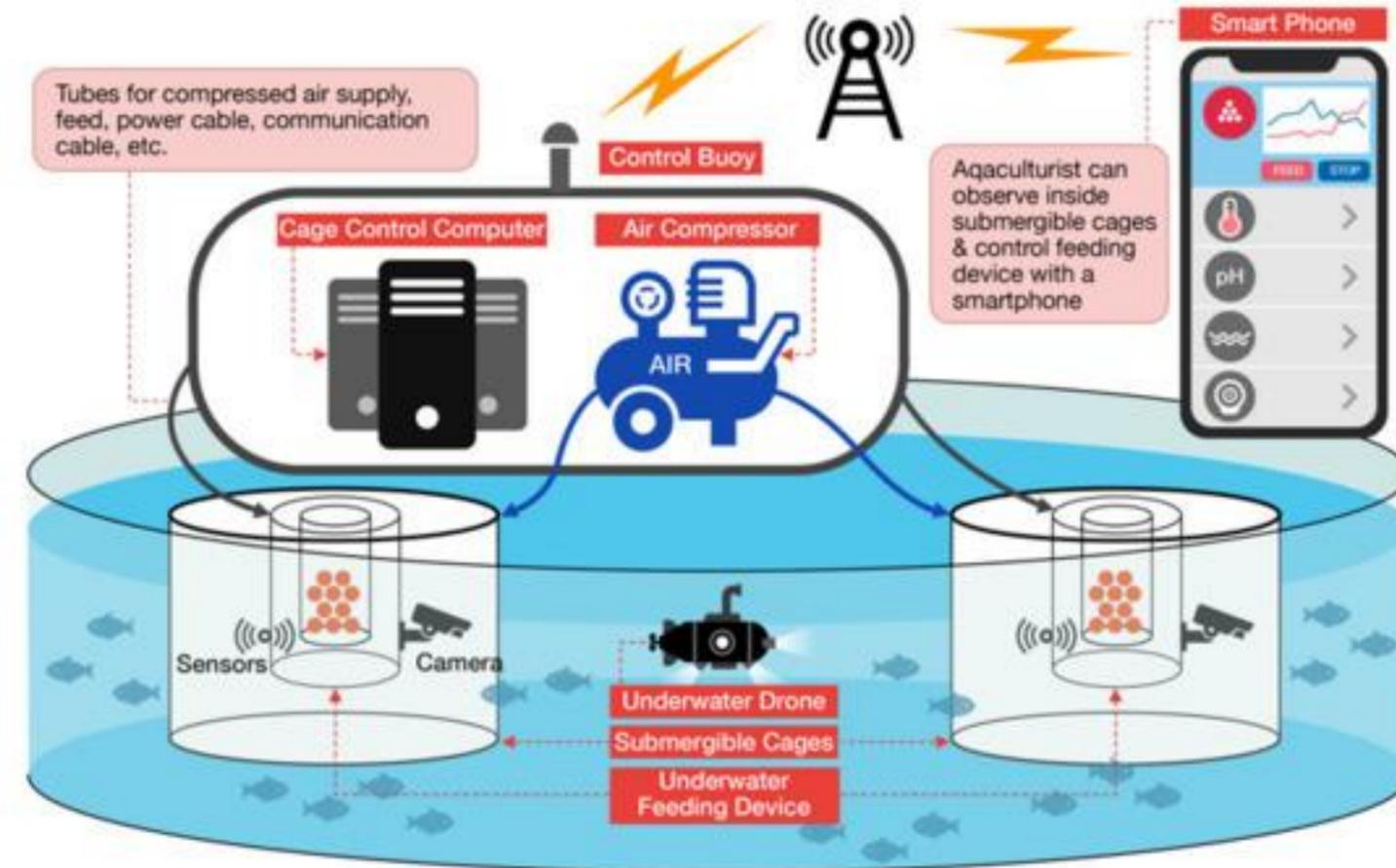
Pemanfaatan sensor *Internet of Things* (IoT) dan analitik *real-time* memungkinkan pemantauan kualitas air, perilaku ikan, serta deteksi dini wabah penyakit. Sistem berbasis AI, seperti *Aqua Byte* mampu mengoptimalkan pemberian pakan dan menurunkan biaya hingga 15–20% [5].

- **Ketertelusuran Berbasis Blockchain:**

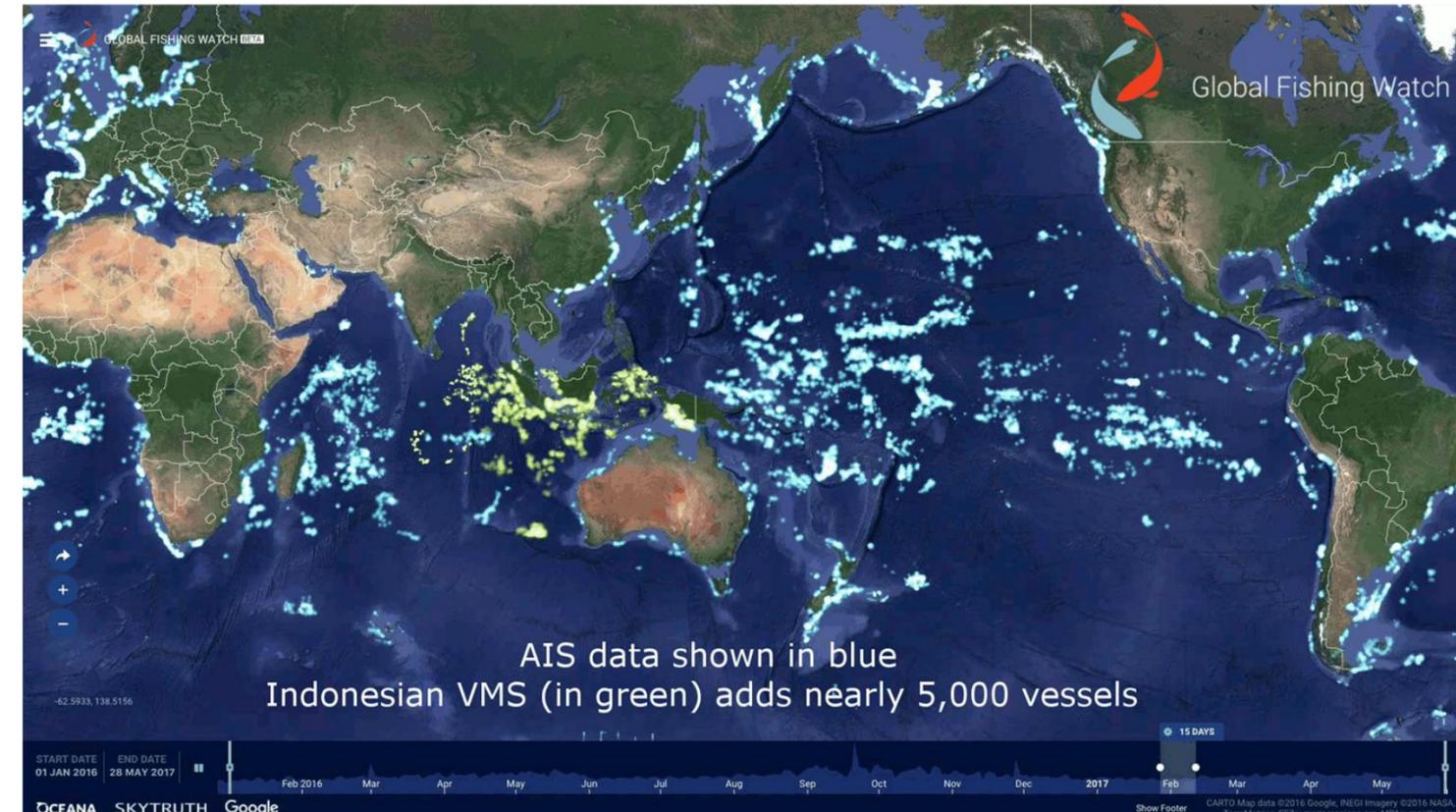
Platform seperti *IBM Food Trust* dapat digunakan untuk menanggulangi penangkapan ikan ilegal dengan melacak pergerakan tuna dari hasil tangkapan sampai ke konsumen, sehingga menjamin sumber ikan yang etis dan berkelanjutan [7].

- **Pengawasan Satelit:**

Global Fishing Watch memanfaatkan data satelit untuk mendeteksi kegiatan penangkapan ikan ilegal, tidak dilaporkan, dan tidak diatur (IUU), seperti Laut Arafura Indonesia yang mendukung upaya penegakan hukum [1].



Concept diagram of smart aquaculture system (Vo et al., 2021)



<https://globalfishingwatch.org/news-views/indonesia-must-continue-marine-transparency-leadership/>



5. Kebijakan, Kesetaraan, dan Pengelolaan Ekosistem (1)

- **Manajemen yang Dipimpin Oleh Suatu Komunitas**

Kawasan Konservasi Laut (KKL) dan zona larangan pengambilan, seperti yang diterapkan di Pulau Apo, Filipina, telah meningkatkan biomassa ikan hingga 200% melalui pengelolaan yang dipimpin oleh komunitas lokal [8].

- **Aspek Kunci Manajemen Bersama di Pulau Apo:**

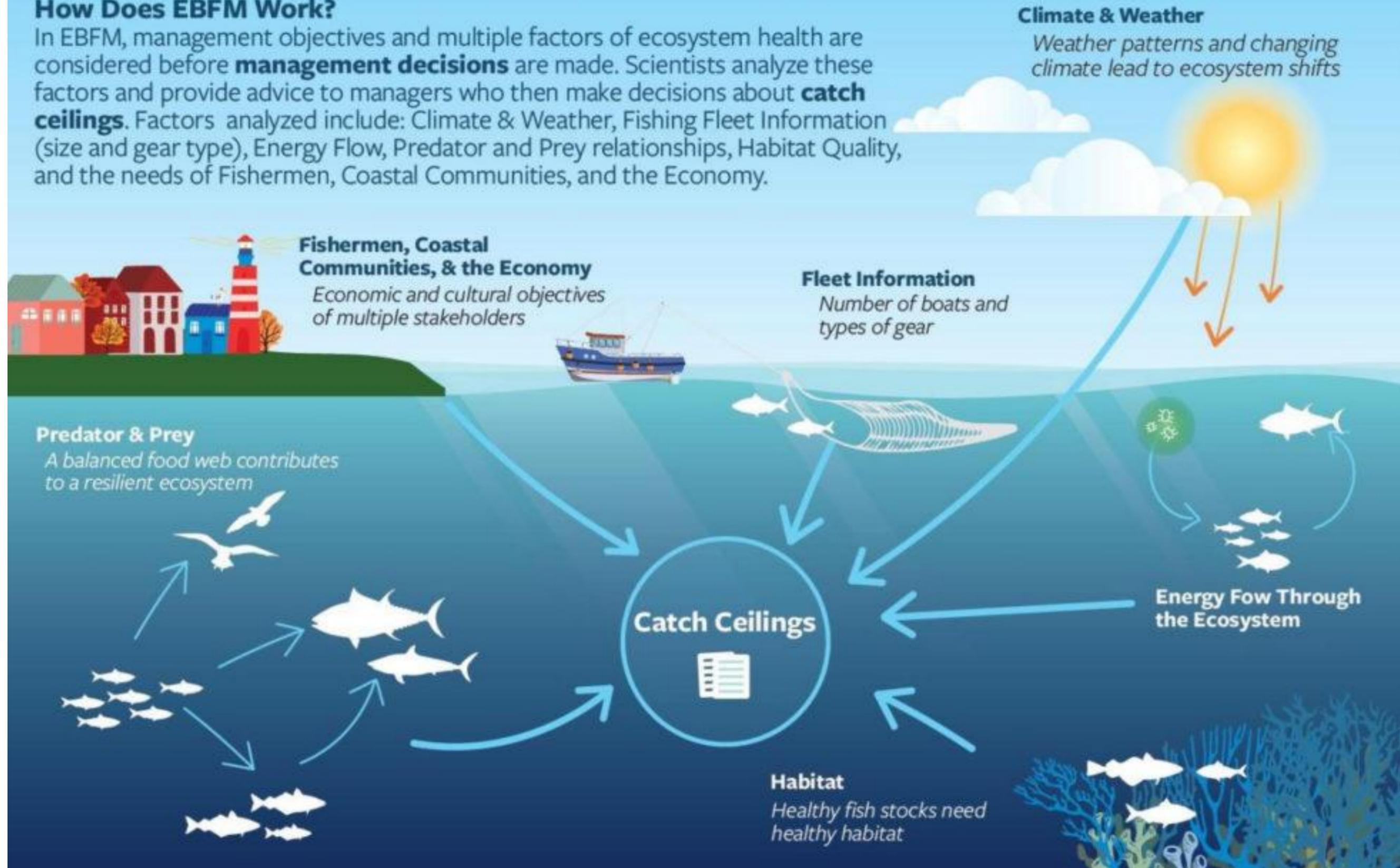
1. **Manajemen Kolaboratif:** Terjalin kerjasama antara masyarakat lokal dan pemerintah dalam perencanaan dan pelaksanaan pengelolaan sumber daya laut.
2. **Partisipasi Komunitas:** Anggota komunitas terlibat secara aktif dalam proses pengambilan keputusan terkait pengelolaan sumber daya.
3. **Pemberdayaan:** Masyarakat lokal diberdayakan untuk berperan sentral dalam pengelolaan ekosistem laut.
4. **Keberhasilan dalam Memulihkan Ekosistem:**
 - **Manfaat Ekonomi:** Pemulihan sumber daya laut berdampak pada peningkatan tangkapan ikan bagi nelayan lokal sekaligus mendorong pertumbuhan sektor pariwisata.
 - **Pergeseran dari Manajemen Terpusat:** Penekanan pada partisipasi komunitas menjadi faktor penting dalam memastikan keberlanjutan sumber daya laut jangka panjang.



Menjual kaos di Pulau Apo. Cagar alam Apo tanpa pengambilan telah menghasilkan pendapatan yang cukup besar dari pariwisata bagi masyarakat setempat. Foto: J. Maypa. Pho-to 2. Sekelompok besar kakap tropis (keluarga Lutjanidae) di cagar laut Filipina yang dilarang diambil. Foto: B. Stockwell. Foto 3. Keranjang tenun dijual di Pulau Selinog. Banyak program konservasi kelautan dan pengelolaan perikanan di tingkat masyarakat dan pemerintah daerah sekarang mencakup generasi mata pencaharian alternatif. Foto: J. Maypa. Foto 4. Pertemuan masyarakat setempat dengan seorang pekerja sosial di Pulau Mantigue (lepas pantai Pulau Camiguin), Filipina selatan. Foto: J. Maypa. (Alcala & Russ, 2006)

How Does EBFM Work?

In EBFM, management objectives and multiple factors of ecosystem health are considered before **management decisions** are made. Scientists analyze these factors and provide advice to managers who then make decisions about **catch ceilings**. Factors analyzed include: Climate & Weather, Fishing Fleet Information (size and gear type), Energy Flow, Predator and Prey relationships, Habitat Quality, and the needs of Fishermen, Coastal Communities, and the Economy.



5. Kebijakan, Kesetaraan, dan Pengelolaan Ekosistem (2)

- **Program Inklusif Gender dalam Budidaya Rumput Laut**
 1. Koperasi rumput laut yang dipimpin perempuan di Sulawesi Utara telah meningkatkan pendapatan anggota hingga 40% sekaligus mendukung pemulihan ekosistem [8].
 2. Indonesia merupakan salah satu pemeran utama dalam industri rumput laut global, baik dalam produksi maupun ekspor produk rumput laut mentah atau olahan. Rumput laut merupakan komoditas makanan laut terbesar di Indonesia berdasarkan volume yang mencapai 11,3 juta ton pada tahun 2019, meskipun nilai ekonomi yang diperoleh relatif rendah.
 3. Budidaya rumput laut memiliki potensi untuk meningkatkan kesejahteraan rumah tangga pedesaan di atas garis kemiskinan, meskipun hal ini tidak selalu terjadi secara otomatis. Selain manfaat finansial, praktik budidaya juga berkontribusi pada pengembangan modal manusia dan modal sosial di tingkat rumah tangga maupun komunitas petani rumput laut.



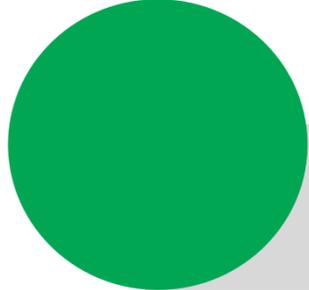
Sekelompok perempuan mengikat bibit rumput laut ke garis nilon di Desa Ujung Baji, Takalar Selatan (unido.org)





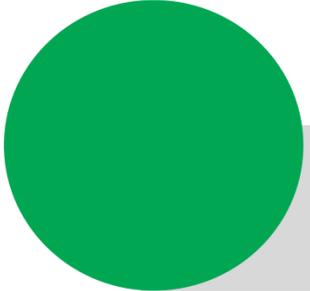
6. Prospek R&D dan Pengembangan di Masa Depan

"R&D bukan hanya tentang keuntungan, tetapi tentang pengelolaan. Target berikutnya, yaitu harus melayani manusia dan planet ini" – FAO Blue Growth Initiative



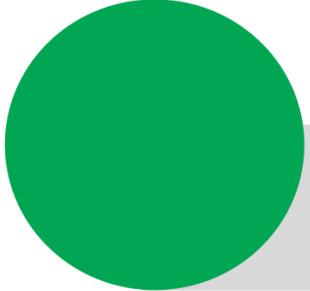
Integrasi Ekonomi Sirkular

Skala akuaponik dan sistem "limbah-ke-protein" untuk akuakultur tanpa debit.



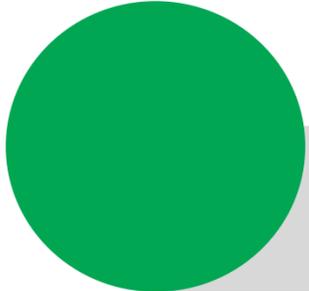
Pemodelan Prediktif Berbasis AI

Analisis prediktif untuk wabah penyakit dan penilaian stok (misalnya, pengembangbiakan spesies tahan iklim Malaysia)



Penyebarluasan Teknologi Secara Inklusif

Terdapat RAS berbiaya rendah dan alat bertenaga surya untuk produsen skala kecil yang didukung oleh inisiatif Pertumbuhan Biru FAO

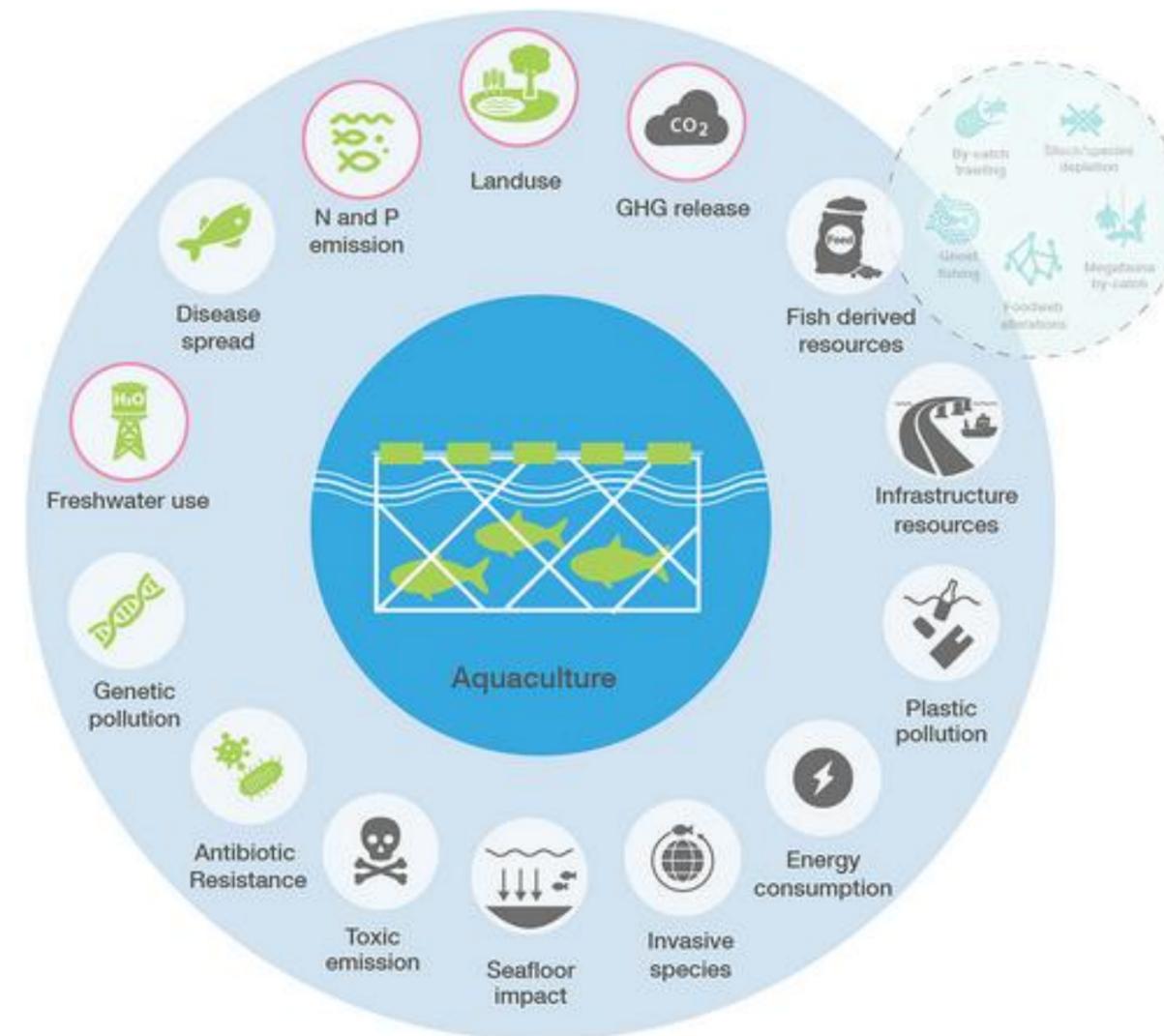


Kerja Sama Lintas Batas

Perjanjian regional (misalnya, KKP Mediterania) untuk menyelaraskan kebijakan terhadap penangkapan ikan IUU

Lanskap riset dan pengembangan (R&D) saat ini sedangkan menekankan inovasi holistik yang mengintegrasikan teknologi, kebijakan, dan prinsip kesetaraan untuk mengatasi kendala ekologis serta sosial & ekonomi dalam akuakultur. Prioritas utama mencakup penyebarluasan akses teknologi yang terjangkau, penguatan pelacakan rantai pasok, dan penerapan prinsip ekonomi sirkular. Dengan mengimplementasikan strategi-strategi tersebut, sektor akuakultur memiliki potensi untuk secara berkelanjutan memenuhi permintaan global akan makanan laut yang diproyeksikan dapat mencapai 140 juta ton pada tahun 2050 serta menjaga keberlanjutan ekosistem laut.

KESIMPULAN



Referensi

01

Fujii H, Sakakura Y, Hagiwara A, Bostock J, Soyano K, Matsushita Y. 2018. Research and development strategy for fishery technology innovation for sustainable fishery resource management in North-East Asia. *Sustainability* 10(1): 59.

02

Roy, S, et al., 2022. CRISPR/Cas Genome Editing—Can It Become a Game Changer in Future Fisheries Sector?. *Frontiers in Marine Science* 9: 924475.

03

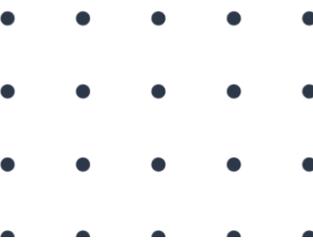
Mohan, K, et al., 2022. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. *Aquaculture* 533: 738095.

04

Dubó FAC. 2024. Innovations in Aquaculture: R&D Trends Driving Sustainable Practices. Available online at:
<https://www.linkedin.com/pulse/innovations-aquaculture-rd-trends-driving-sustainable-cerda-dub%C3%B3-xudye/>

05

Joffre OM, Klerkx L, Dickson M, Verdegem M. 2017. How is innovation in aquaculture conceptualized and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. *Aquaculture* 470: 129-148.



Referensi

06

Henriksson PJG, et al. 2021. Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security. *One Earth* 4(9): 1220-1232.

07

Obi C, Dompok EB, Manyise T, Tan SH, Woo SP, Rossignoli CM. 2025. Overview of the fishery and aquaculture sectors in Malaysia. *Front. Sustain. Food Syst.* 9: 1545263.

08

Alcala, AC, Russ GR. 2006. No-take Marine Reserves and Reef Fisheries Management in the Philippines: A New People Power Revolution. *Ambio* 35(5): 245-254.

09

Soetardjo S, Adhitya I. 2015. Sustainable aquaculture and resources enhancement in Indonesia. International Workshop on Resource Enhancement and Sustainable Aquaculture Practices in Southeast Asia 2014.

10

Vo, TTE, et al., 2021. Overview of Smart Aquaculture System: Focusing on Applications of Machine Learning and Computer Vision. *Electronics* 10(22): 2882.

11

Xia, FLW, et al., 2022. Turning waste into value: Extraction and effective valorization strategies of seafood by-products. *Waste Management Bulletin* 2: 84-100.





SustainaBlue
HEIs stands for Higher Education Institutions

THANK YOU

Farid K Muzaki / ITS



+6281217762277



faridmuzaki@gmail.com

rm_faridkm@bio.its.ac.id



Co-funded by
the European Union

