



TERUMBU BARU DI DASAR BIRU



KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
2025

TERUMBU BARU DI DASAR BIRU



KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
2025

TERUMBU BARU DI DASAR BIRU

TIM PENULIS

Pengarah

A. Koswara

(Direktur Jenderal Pengelolaan Kelautan)

Penanggung Jawab

Enggar Sadtopo

(Direktur Jasa Bahari)

Penyusun

Enggar Sadtopo
Prita Dwi Wahyuni
Deky Rahma Sukarno
Dewi Setianingrum
Indri Kartikasari
Hadi Pramono
R. Bambang Adhitya Nugraha

Arnold Caniago
Muchlis Efendi
Kaisar Parti Hasudungan
L. Mukhsin Iqbal Sani
Fitrian Dwi Cahyo
Alia Arief

Editor

Prita Dwi Wahyuni
Deky Rahma Sukarno

Desain dan Tata Letak

Arnold Caniago

ISBN



Diterbitkan oleh
KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BEKERJA SAMA DENGAN
KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY, DAN
KOREA INDONESIA OFFSHORE RESEARCH COOPERATION CENTER

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang



SAMBUTAN

DIREKTUR JENDERAL PENGELOLAAN KELAUTAN

Luasnya wilayah perairan Nusantara berbanding lurus dengan luasnya ranah pengelolaannya. Tak sekedar mendayagunakan ataupun melindungi sumber daya dan jasa lingkungan yang terkandung di dalamnya, cukup banyak dimensi pengelolaan kelautan lainnya yang seakan masih terasa ‘asing’ bagi khalayak pada umumnya. Salah satu diantaranya adalah dekomisioning Anjungan Lepas Pantai (ALP), yaitu penanganan yang diperlukan pasca berakhirnya siklus hidup ALP yang sudah tidak produktif. Tantangannya adalah menetapkan bentuk tindakan yang akan diterapkan atas struktur raksasa di tengah lautan yang telah berhenti beroperasi. Tentu, bukanlah langkah sederhana dan mudah, melainkan merupakan kombinasi kompleks atas besarnya pengerahan sumber daya, metode, waktu, hingga biaya.

Opsi *Rigs to Reefs* (R2R) adalah salah satu pilihan dalam dekomisioning ALP, yaitu mengalihfungsikannya sebagai media terumbu karang buatan (*artificial reef*). Opsi R2R pun dipilih sebagai praktek perdana dekomisioning ALP di Indonesia, setelah melalui serangkaian pengkajian dan perencanaan secara seksama dan matang. Selain faktor lokasi dan efisiensi, opsi R2R juga dipilih atas sebab potensi pengaruh ekologisnya, khususnya terhadap peningkatan keanekaragaman hayati laut. Akhirnya, dekomisioning ALP Attaka-EB di perairan Bontang, Selat Makassar, yang diusung sebagai proyek percontohan berhasil diparipurnakan pada November 2022. Selanjutnya, uji keberhasilan atas opsi yang dipilih ditempuh melalui pemantauan selama kurun waktu 2023-2025, dan hasilnya adalah transformasi struktur anjungan menjadi ekosistem terumbu karang baru yang merepresentasikan keberhasilan proses suksesi ekologi.

Perjalanan dan rangkaian peristiwa di atas selain sebagai pengalaman berharga, juga memiliki muatan pembelajaran dan contoh keberhasilan yang dapat dijadikan rujukan di masa mendatang. Karena itulah, buku **Terumbu Baru di Dasar Biru** ini hadir, dengan harapan, apa yang terangkum dan tersaji di dalamnya dapat menebar manfaat bagi seluas-luasnya pihak dan memperkaya khasanah diskursus pengelolaan kelautan berkelanjutan.

Jakarta, Desember 2025

Direktur Jenderal Pengelolaan Kelautan

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'A. Koswara', written over the printed name below.

Ir. A. Koswara, M.P



PENGANTAR

DIREKTUR JASA BAHARI

"Setiap orang mendapat pengalaman. Beberapa mendapat pelajaran", kiranya petuah bijak tersebut telah menggelorakan motivasi dan energi hingga kami berhasil menyusun dan mempersembahkan buku **Terumbu Baru di Dasar Biru** ini. Terlebih, apa yang dikemukakan dalam buku ini bukanlah pengalaman biasa dan bukan pula pelajaran yang sederhana. Dekomisioning Anjungan Lepas Pantai (ALP) bisa jadi sebuah topik lama, akan tetapi secara praktek hal ini baru diimplementasikan di Indonesia. Attaka-EB menjadi ALP pertama yang diusung sebagai proyek percontohan (*pilot project*) dekomisioning melalui opsi alih fungsi menjadi terumbu karang buatan (*artificial reefs*). Karenanya, dekomisioning ALP Attaka-EB ini menjadi hal yang istimewa sebab merupakan langkah perdana sekaligus menjadi pembuka jalan bagi pekerjaan rumah dekomisioning terhadap 116 ALP di Indonesia yang tercatat telah berhenti beroperasi hingga saat ini.

Tercatat lebih dari satu dasawarsa, yakni sejak BRSDMKP dan KMOUC menginisiasi pembahasan terkait dekomisioning ALP di Indonesia pada tahun 2014, hingga berakhirnya kegiatan pemantauan pasca dekomisioning ALP Attaka-EB di tahun 2025. Serangkaian kegiatan dan peristiwa disepanjang kurun waktu tersebut seakan menjadi episode demi episode yang menceritakan proses pencurahan pikiran dan gagasan, proses kerja sama dan penyepakatan, hingga proses eksekusi dan pemantauan di lapangan. Bahkan, kerja sama yang terjalin dengan pihak-pihak secara luas yang terwujud tak semata teraktualisasi dalam kolaborasi antarlembaga, namun kolaborasi antarnegara, yakni Indonesia dan Korea. Setiap kegiatan dan peristiwa meninggalkan catatan berharga sebagai bekal dalam keberlanjutan dekomisioning ALP bagi Indonesia.

Dekomisioning ALP sebagai sebuah prosedur penghentian operasi platform secara permanen dan aman terikat pada aturan-aturan internasional dan nasional yang ketat dan penuh kehati-hatian. Potensi bahaya dari sisa struktur anjungan yang ditinggalkan tak hanya bagi lingkungan perairan, akan tetapi juga terhadap kualitas tanah, udara dan iklim. Karena itu, saat *Rigs to Reefs* (R2R) ditetapkan dan diaktualisasikan sebagai opsi dekomisioning ALP Attaka-EB, maka hal itu telah melalui serangkaian pertimbangan dan proses yang saintifik, terencana, dan sesuai prosedur. Lebih dari itu, R2R memiliki tendensi ekologis yang berkesesuaian dengan karakter wilayah perairan nasional dan berkorelasi tinggi dengan pengelolaan kelautan berkelanjutan. R2R memang merupakan adopsi metode berdasarkan praktek keberhasilan di tempat lain, namun bagi Indonesia R2R adalah langkah terobosan dan solusi baru yang dapat direplikasi dan dikembangkan lebih lanjut.

Puncak keberhasilan yang sekaligus menjadi puncak kebahagiaan atas perjuangan segenap pihak yang telah terlibat dalam dekomisioning ALP Attaka-EB adalah setelah hasil pemantauan R2R yang berjalan sepanjang 2023-2025 memperlihatkan hasil sebagaimana yang diskenariokan dan diharapkan. Sukses ekologi benar-benar berjalan, sehingga struktur anjungan telah menjelma sebagai ekosistem terumbu karang buatan, di mana keragaman dan kelimpahan jenis karang dan ikan terus meningkat. Kompleksitas ekosistem dan fungsi ekologis struktur Attaka-EB pun semakin menyerupai terumbu karang alami. Terumbu baru di dasar biru telah menjelma menjadi kenyataan, dan berharap dari titik kecil ini akan menyebar luas dan semakin memperkaya keanekaragaman hayati laut Indonesia.

Akhir kata, terima kasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya kami layangkan kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dan berkontribusi dalam penyusunan buku ini. Buku ini adalah dedikasi dan *legacy* bersama, semoga dapat memberi pengetahuan dan manfaat nyata bagi seluruh khalayak, bagi literasi pengelolaan kelautan berkelanjutan, dan bagi kejayaan bahari Indonesia.

Jakarta, Desember 2025

Direktur Jasa Bahari



Enggar Sadtopo, S.T, M.T

TESTIMONI

“Written in an easily understandable manner, this book provides a digestible explanation of the government project for readers to understand the rigs-to-reefs method, the process of the project implementation, as well as the ecological and socio-economic effects provided at the reefing site.”

Cho IlHyung, B.Sc., M.Sc.

(Co-Director of Korea-Indonesia Offshore Research Cooperation Center (KIORCC))

*“Rigs to Reefs menjadi salah satu pendekatan strategis yang mengintegrasikan kepentingan energi, lingkungan, dan sosial dalam pengelolaan pasca-produksi anjungan migas. Buku Terumbu Baru di Dasar Biru menunjukkan bahwa pemanfaatan anjungan sebagai terumbu buatan menjadi alternatif *decommissioning* yang lebih efisien sekaligus mendukung ekologi laut dan perikanan. Lebih dari solusi teknis, konsep ini mencerminkan prinsip ESG dan ekonomi sirkular serta layak menjadi rujukan kebijakan yang berkelanjutan di Indonesia.”*

Dr. Ir. Djoko Siswanto, M.B.A.

(Kepala Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi/SKK MIGAS)

“Rigs to Reefs merupakan gagasan ekonomi sirkular yang mengubah risiko pascatambang menjadi peluang ekonomi kelautan yang berkelanjutan. Konsep ini menyinergikan konservasi, kelembagaan, dan kesejahteraan melalui pemulihan terumbu dan peningkatan biomassa ikan. Buku ini inspiratif sekaligus mendorong lahirnya ekonomi baru berbasis sumber daya terbarukan. Selamat membaca dan menggali gagasan berikutnya.”

Prof. Dr. Yonvitner, S.Pi., M.Si.

(Kepala Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL) IPB University)

“Buku ini mengulas dekomisioning anjungan migas melalui alih fungsi berkelanjutan menjadi terumbu karang buatan, dengan pembelajaran kebijakan, teknis, dan kelembagaan. Buku ini dapat menjadi rujukan untuk mendukung sinkronisasi kebijakan lintas sektor, mendorong efisiensi pascaoperasi hulu migas, dan peningkatan nilai tambah ekonomi.”

Marcia, S.T., M.T., M.Sc.

(Asisten Deputi Pengembangan Minyak dan Gas Bumi, Kemenko Perekonomian)

“Buku ini merekam pembelajaran penting negara dalam pengelolaan anjungan minyak lepas pantai pasca produksi. Berbasis pengalaman lapangan dan kajian ilmiah, buku ini menjadi rujukan kebijakan publik yang mendorong tata kelola kelautan berkelanjutan serta memperkuat kontribusi sektor kelautan dan perikanan.”

Dr. H. Muh. Rasman Manafi, S.P., M.Si
(Asisten Deputi Pengelolaan Kelautan dan Ruang Laut, Kemenko Pangan)

“Buku ini sangat relevan dalam pengembangan kebijakan pengelolaan anjungan minyak lepas pantai pasca produksi. Dengan kerangka sistem sosial-ekologi sebagai salah satu landasan, buku ini menunjukkan bahwa konversi anjungan mampu menyelaraskan dinamika sosial masyarakat pesisir dengan kesehatan ekosistem laut serta menghasilkan manfaat jasa ekosistem. Buku ini berkontribusi penting bagi pengelolaan kelautan dan perikanan yang berkelanjutan dan sinergis.”

Assoc. Prof. Dr. Yudi Wahyudin, S.Pi., M.Si.
(Wakil Rektor 4 Bidang Pengembangan Bisnis dan Institusi, Universitas Djuanda, Bogor-Indonesia)

“Buku Terumbu Baru di Dasar Biru menghadirkan konsep strategis pemanfaatan anjungan lepas pantai pasca-dekomisioning sebagai terumbu buatan yang bernilai tambah. *Rigs to Reefs* ditunjukkan sebagai pendekatan ilmiah dan kebijakan yang mendukung transisi aset energi menjadi aset kelautan berkelanjutan, dengan manfaat nyata bagi ekologi laut dan produktivitas perikanan. Buku ini layak menjadi referensi penting dalam pengelolaan sumber daya kelautan yang optimal dan berkesinambungan.”

Dr. Moh. Mustakim, S.Pi., M.Si
(Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman)

“Buku ini memuat pembelajaran berharga dan praktik terbaik dalam konservasi ekosistem terumbu karang, sehingga akan sangat bermanfaat sebagai salah satu referensi pencapaian target keanekaragaman hayati global *Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework* dan agenda nasional *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan*”

Muh Firdaus Agung Kunto Kurniawan, S.T., M.Sc., Ph.D.
(Direktur Konservasi Ekosistem, KKP)

DAFTAR ISI

Sambutan	iii		
Pengantar	v		
Testimoni	vii		
Daftar Isi	ix		
Prolog: Elegi Sang Raksasa			
Bagian I			
Struktur Baja Raksasa di Tengah Lautan	1		
Riwayat Singkat Anjungan Lepas Pantai	2		
Figur dan Fitur Anjungan Lepas Pantai	4		
Pancang Pakai Anjungan Lepas Pantai	12		
Anjungan Lepas Pantai di Indonesia	16		
Bagian II			
Purnatugas Sang Raksasa	21		
Dekomisioning Anjungan Lepas Pantai	22		
Beban Bongkar Anjungan Lepas Pantai	26		
Bagian III			
Attaka, <i>Rigs to Reefs</i> Perdana	35		
<i>Rigs to Reefs</i> , Opsi Dekomisioning Berkelanjutan	36		
Mengawali <i>Rigs to Reefs</i> di Indonesia	39		
Bagian IV			
Memantau Mekar Raga Karang Attaka			47
Tiga Tahun Perjalanan Pemantauan			48
Hasil Pemantauan Kualitas Air			52
Hasil Pemantauan Batimetri			58
Hasil Pemantauan Terumbu Karang			61
Hasil Pemantauan Ikan Karang			83
Hasil Tes e-DNA <i>Metabarcoding</i>			90
Bagian V			
Potensi Ekologis dan Tantangan Pengelolaan <i>Rigs to Reefs</i>			99
Transformasi Ekologis Struktur <i>Rigs to Reefs</i>			100
<i>Rigs to Reefs</i> sebagai OECM			103
Integrasi dengan Kawasan Konservasi Perairan di Sekitarnya			107
Ancaman terhadap <i>Rigs to Reefs</i> dan Kebutuhan Kelembagaan			109
Evaluasi Konsep dan Implementasi <i>Rigs to Reefs</i>			112
Epilog: Harapan Hari Esok Sang Raksasa			



Elegi Sang Raksasa

Sang Raksasa itu bernama Attaka. Tubuhnya masih perkasa, meski tampak ada yang hilang dari mahkotanya. Karat pun terus merambah menggerogoti banyak sisi tubuhnya. Lebih sudah satu dasawarsa purnatugas, tak lagi melakukan rutinitasnya seperti biasa.

Tak ada lagi yang hilir mudik dan bersandar di bahunya. Tak ada lagi lidah api di tiang suarnya. Tak ada lagi emas hitam yang bisa direngkuhnya. Tak ada lagi patra yang bisa ia hadiahkan tuk mengisi kilang-kilang di Bontang. Hari-harinya adalah sepi di tengah lautan sunyi.

Sesosok Paus Biru menghampirinya, menawarkan jalan keluar atas kepiluannya, lantas berpetuah padanya “Rebahkan dirimu di dasar biru, jalani sebuah kehidupan baru, warna-warni terumbu kan bersandar padamu, ragam biota kan selalu menari-nari disisimu”.

Attaka pun merebahkan diri sambil menanti kebenaran terjadi. Sedikit demi sedikit kemilau rona karang mulai menyelimuti tubuhnya, terus berkembang dan merekah. Satu per satu ragam fauna menghampiri dan berkerumun disekitarnya. Semarak di dasar perairan kian terasa, dan semakin sirnalah kesepiannya. Kini, hari-harinya adalah ramai di dasar lautan sunyi.



BAGIAN I

STRUKTUR BAJA RAKSASA DI TENGAH LAUTAN

CINTA - A

BAGIAN I

STRUKTUR BAJA RAKSASA DI TENGAH LAUTAN

Riwayat Singkat Anjungan Lepas Pantai

Sebuah konstruksi baja yang berdiri kokoh di tengah kota, menjulang tinggi menembus langit, hingga mengundang decak kagum dan kunjungan banyak orang, bahkan keberadaannya kerap dinisbatkan sebagai *icon* ataupun *landmark* bagi sebuah kota. Sontak kita membayangkan Menara Eiffel di Paris, Menara Blackpool di London, Menara Hangzhou di China, dan menara-menara sejenis lainnya dengan reputasi mentereng di berbagai kota di dunia. Apa jadinya apabila menara-menara tersebut kita relokasi ke tengah lautan hingga kaki-kakinya menghujam ke dasar laut dan hanya menyisakan bagian puncaknya di atas permukaan laut? Seketika, apa yang terbersit dalam benak kita? Ya, **Anjungan Lepas Pantai (ALP)** atau dikenal pula sebagai '**Offshore Platform**'.

Meski memiliki perawakan raksasa, nyatanya ALP jarang terlihat apalagi dikenali, terlebih dikunjungi oleh kalangan umum. Bahkan, tak setiap orang yang pernah ataupun acap melakukan perjalanan laut berkesempatan menjumpainya. Padahal, lebih kurang sebanyak 12.000 ALP tersebar di berbagai penjuru perairan di seluruh dunia per April 2024 (weforum.org, 2024). Sang raksasa seakan-akan memang tak ingin dikenali dan nyaman dalam sepi, tapi seluruh dunia dalam rentang waktu yang lama telah merasakan manfaat atas eksistensi dan fungsinya, sejak ia pertama kali mewujud pada akhir tahun 1890-an. Apapun mesin yang digerakkan oleh bahan bakar minyak atau gas yang pernah kita gunakan atau kendarai adalah bentuk andilnya.

Anjungan pengeboran minyak di wilayah perairan pertama kali dibangun di atas perairan air tawar pada danau besar St Marys di negara bagian Ohio, Amerika Serikat, sekitar tahun 1891. Lalu, sekitar tahun 1896, anjungan pertama yang didirikan di perairan air asin dibangun sebagai bagian dari perpanjangan ladang minyak Summerland yang melintasi bagian bawah kanal Santa Barbara di California, Amerika, dimana sumur dibor dari dermaga yang membentang dari Summerland ke kanal tersebut. Lebih dari satu dekade kemudian, dibangun pula anjungan minyak di zona pasang surut di sepanjang pantai teluk Texas dan Louisiana. Ladang minyak Goose Creek dekat Baytown, Texas adalah salah satunya dari contoh tersebut.

Lambat laun, pembangunan anjungan minyak mampu menjangkau perairan yang lebih jauh hingga ke area lepas pantai seiring dengan perkembangan teknologi dalam penginderaan (deteksi) sumber daya migas yang sejalan dengan kemajuan dalam dunia konstruksi.

Di Indonesia, ALP mulai diimplementasikan dan dibangun setelah ±100 tahun jejak perjalanan pengeboran minyak bumi diprakarsai Jan Reerink pada Desember 1871, melalui percobaan eksplorasi minyak bumi di Cibodas, Majalengka dan Kadipaten di kaki gunung Ciremai. Meski demikian, minyak bumi telah dikenal di Indonesia jauh sebelum Reerink mulai menoreh jejaknya, dimana orang-orang dahulu telah mengenal minyak melalui rembesan-rembesan di permukaan bumi. Mereka memakainya untuk pelbagai keperluan, baik sebagai alat perang, obat maupun penerangan. Pada 15 Juni 1885, Aeilko Jans Zijlker berhasil mengebor sumur pertama di Telaga Tunggal No. 1 dan menghasilkan minyak secara komersial pada kedalaman 22 meter, dimana sumber utama di kedalaman 120-160 meter (Toha, 1985).

ALP pertama di Indonesia adalah Platform Cinta A, yang merupakan bagian dari Platform Cinta Komplek di Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu. Eksplorasi dilakukan pada tahun 1968, kemudian mulai beroperasi sekitar tahun 1970-1971. Platform Cinta A dibangun untuk mengelola Blok *Offshore Southeast Sumatra* (OSES) dan menjadi fasilitas

percontohan dalam pengelolaan migas lepas pantai di Indonesia. Platform ini merupakan pionir dalam industri lepas pantai Indonesia dan menjadi pusat kegiatan migas yang penting di era 1970-an. Dalam perjalanannya, Platform Cinta pernah dikelola oleh berbagai perusahaan migas asing dan saat ini dikelola oleh Pertamina Hulu Energi (PHE OSES).



Tjibodas Tangat-1 di Kabupaten Majalengka yang merupakan jejak sumur eksplorasi minyak pertama di Indonesia.

Foto: Crumala, TIMES Indonesia

Setelah hampir 65 tahun terpancangnya Platform Cinta A, sebanyak 639 ALP telah berdiri dan tersebar di berbagai wilayah perairan Indonesia per 2023 (SKK Migas, 2023). ALP menjadi elemen vital dalam industri hulu migas Indonesia, dalam menopang pasokan energi maupun menggerakkan perekonomian nasional. ALP telah memainkan peran sebagai tulang punggung sekaligus ujung tombak bagi ketahanan energi nasional dan pertumbuhan ekonomi nasional.

Platform Cinta A di sekitar Pulau Pabelokan (Kep. Seribu), ALP yang pertama berdiri di Indonesia, mulai beroperasi sekitar tahun 1970-1971
Foto: portonews.com



Figur dan Fitur Anjungan Lepas Pantai

Anjungan Lepas Pantai (ALP) merupakan salah satu jenis bangunan lepas pantai. Bangunan lepas pantai diartikan sebagai struktur atau fasilitas yang dibangun di laut untuk mendukung aktivitas tertentu, seperti eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi, serta pembangkit listrik (tenaga angin, gelombang, maupun thermal). Sehingga, tidak seluruh ALP berkonotasi dengan aktivitas hulu migas, terlebih dengan perkembangan terapan dan teknologi pada ranah teknik kelautan (*marine engineering*) yang memungkinkan pengembangan ragam fungsi yang dapat diimplementasikan pada struktur anjungan lepas pantai.

Demikian halnya ALP bila ditinjau menurut sudut pandang regulasi, dalam hal ini Peraturan Pemerintah Nomor 27

Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Kelautan dan Perikanan. Dalam PP tersebut, bangunan dan instalasi di laut diartikan sebagai setiap konstruksi, baik yang berada di atas dan/atau di bawah permukaan laut baik yang menempel pada daratan maupun yang tidak menempel pada daratan serta didirikan di wilayah perairan dan wilayah yurisdiksi. PP tersebut menjustifikasi bangunan dan instalasi laut menurut 4 kriteria yang terdiri dari:

1. Wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi;
2. Berada di atas dan/atau di bawah permukaan laut secara menetap;
3. Menempel atau tidak menempel pada daratan; dan
4. Memiliki fungsi tertentu.

Berkenaan dengan kriteria-kriteria tersebut, maka ALP dapat dikategorikan sebagai struktur keras menurut kriteria wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi. ALP merupakan tipe bangunan yang mencakup seluruh ketetapan jenis atas kriteria berada di atas dan/atau di bawah permukaan laut secara menetap, yakni mengapung di permukaan laut, berada di kolom air, dan berada di dasar laut. Menurut kriteria menempel atau tidak menempel pada daratan, maka ALP cenderung pada bangunan yang tidak menempel pada pantai tetapi menempel pada dasar laut, atau dasar laut dan tanah di bawahnya. Sedangkan menurut kriteria memiliki fungsi tertentu, maka ALP termasuk dalam kategori kegiatan usaha minyak dan gas bumi.

Gambar 1

Anjungan Lepas Pantai dalam Tinjauan Teoritis tentang Klasifikasi Bangunan Lepas Pantai



Menurut Cara Operasi

1. Bangunan yang digunakan untuk pengambilan minyak bumi atau gas alam.
2. Bangunan yang digunakan untuk penambangan bijih-bijih tambang atau mineral di dasar laut.
3. Struktur yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga gelombang.
4. Struktur yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga thermal seperti OTEC.

Menurut Bentuk Konfigurasi

1. Struktur *Vessel* (Kendaraan), biasanya berupa kapal laut yang dimodifikasi sehingga mempunyai sistem propulsi (*propulsion*) dan dapat berpindah tempat dengan cepat, dipakai untuk pengoperasian di laut dalam.
2. Struktur *Barge* (Tongkang), jenis ini tidak memiliki sistem propulsi, sehingga untuk memindahkannya menggunakan kapal penarik.
3. Struktur *Platform* (Anjungan), yaitu bangunan atau sistem struktur di lepas pantai untuk eksplorasi dan produksi (migas) di perairan dangkal, menengah, dan dalam.

Menurut Fungsi

1. Bangunan Eksplorasi, yang digunakan untuk pengeboran minyak atau gas alam
2. Bangunan Produksi, yang digunakan untuk pengambilan minyak bumi atau gas alam dari sumur yang ditemukan.
3. Bangunan Hibrid, digunakan untuk pengeboran dan pengambilan minyak bumi atau gas alam.

Menurut Material Bangunan

1. Platform Baja, seluruhnya terbuat dari baja.
2. Platform Beton, bagian dasar terbuat dari beton (*concrete*).
3. Platform Hibrid (*Gravity Platform*), bagian dasar terbuat dari beton dan rangka baja, untuk menyokong *deck* yang terbuat dari baja.

Menurut Mobilitas

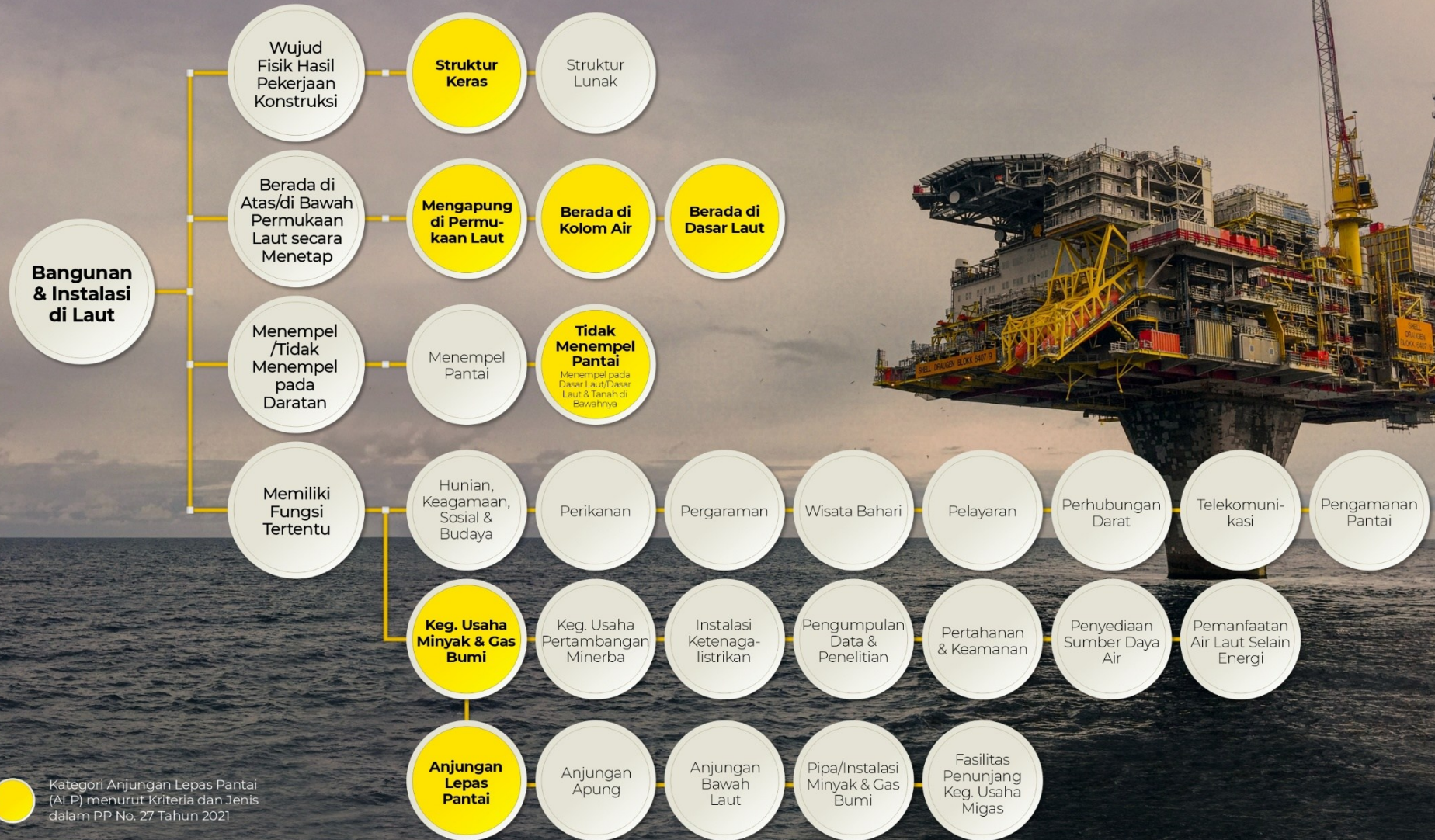
1. Bangunan Tetap (*Fixed Structures*), digunakan pada laut dangkal dan menengah, dan dipancang di dasar perairan.
2. Bangunan Terapung (*Floating Structures*), digunakan pada semua jenis kedalaman laut dan terutama untuk laut dalam.
3. Bangunan Struktur Lentur (*Compliant Structures*), dirancang fleksibel dan berayun sebagai respon terhadap gaya lingkungan, sehingga memungkinkan untuk dioperasikan di perairan yang lebih dalam.


Kategori Anjungan Lepas Pantai menurut Klasifikasi Bangunan Lepas Pantai

Sumber : Diolah dari <https://digilib.itb.ac.id/assets/files/disk1/660/jbptitbtp-gdl-fentarlegu-32984-3-2008ta-2.pdf>

Gambar 2

Kategori Anjungan Lepas Pantai (ALP) menurut PP No. 27 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Kelautan dan Perikanan



 Kategori Anjungan Lepas Pantai (ALP) menurut Kriteria dan Jenis dalam PP No. 27 Tahun 2021

Sumber : Diolah dari PP No. 27 Tahun 2021
Foto : Pexels

ALP adalah sebuah struktur raksasa atau bangunan yang dibangun di lepas pantai untuk mendukung kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam, terutama minyak dan gas bumi, mulai dari proses pengeboran hingga penyimpanan dan pengolahan produknya. Lepas pantai yang dimaksud adalah bagian lautan yang permukaan dasarnya di bawah pasang surut terendah atau bagian lautan yang berada di luar daerah gelombang pecah ke arah laut. Konstruksi ALP merupakan struktur masif, dapat bersifat permanen (*fixed platform*) ataupun terapung (*floating platform*) sesuai karakteristik lokasi penempatannya, yang dirancang dan dibangun untuk mampu bertahan dalam kondisi laut ekstrem, serta memiliki durasi pemanfaatan jangka panjang.

ALP menjadi bagian penting dari industri energi, berfungsi untuk mendukung eksplorasi, ekstraksi, pemrosesan, dan penyimpanan sumber daya alam seperti minyak dan gas bumi di laut. Dapat pula dikatakan bahwa ALP merupakan pusat operasi untuk eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi yang berada di bawah dasar laut. Setelah minyak dan gas ditemukan, ALP juga memainkan peran sebagai pusat untuk mengekstraksi dan memproses hidrokarbon yang dihasilkan, termasuk pemisahan minyak dan gas. Selain itu, karena jaraknya yang jauh dari pantai, maka ALP juga berfungsi sebagai fasilitas tempat tinggal, dapur, dan ruang kontrol untuk para pekerja, yang kadang-kadang beroperasi dalam *shift* selama beberapa minggu.

Figur fisik ALP bervariasi, bergantung pada desain dan kedalaman lokasi operasinya. Konstruksi ALP umumnya memiliki bobot ribuan hingga ratusan ribu ton, seperti platform Hibernia (Kanada) yang mencapai 496.040 ton dan platform Berkut (Rusia) 220.462 ton. Postur ALP memiliki ketinggian (dari dasar hingga puncak konstruksi) hanya beberapa puluh meter hingga ratusan meter, dimana platform Petronius di Teluk Meksiko menjadi yang tertinggi saat ini, yakni 600 meter, dan platform Baldpate (Amerika) dengan total tinggi 581,5 meter. ALP dari sisi kedalaman lokasi operasinya, mulai dari beberapa meter hingga ribuan meter di bawah permukaan laut, dimana platform Perdido (Teluk Meksiko) memiliki lokasi operasi paling dalam, yakni 2.450 meter.

Kapasitas produksi ALP pun bervariasi, dimana secara bisnis menyesuaikan dengan tujuan produksi minyak dan gas, sedangkan secara teknis ditentukan oleh kapasitas desain dek anjungan, peralatan yang terpasang di dek, kedalaman laut di lokasi penempatan, serta kondisi lingkungan seperti gelombang, arus, angin, dan kondisi tanah di dasar laut. Mengutip dari getglobalgroup.com (2025) platform Berkut di lepas pantai Rusia merupakan ALP dengan kapasitas produksi terbesar di dunia, dapat memompa minyak hingga 4,5 juta ton per tahun (sekitar 32 juta barel).

Gambar 3

Perbandingan Ukuran Antar Anjungan Lepas Pantai (ALP) dan dengan Beberapa Objek Populer



Sumber : Dihimpun dan diolah dari berbagai sumber, 2025

Perbedaan utama ALP dengan Anjungan Darat (*Onshore Platform*) terletak pada lokasi operasionalnya, yang secara signifikan memengaruhi teknologi, infrastruktur, risiko operasional, dan dampak lingkungan yang harus dihadapi. Karena berada di wilayah daratan, maka anjungan darat lebih mudah diakses serta memiliki biaya operasional lebih rendah, sedangkan ALP yang berdiri di wilayah perairan membutuhkan infrastruktur dan teknologi khusus, serta menghadapi risiko lebih tinggi karena kondisi laut yang ekstrem.

Karenanya, instalasi ALP merupakan proses yang sangat kompleks dan berbiaya tinggi, terlebih bila lokasinya kian menjauh dari garis pantai dan kian menjangkau perairan dalam. Namun demikian, dengan permintaan (maupun ketergantungan) dunia atas bahan bakar fosil yang masih tinggi, justru semakin menumbuhkan gairah industri minyak dan gas untuk berinovasi dalam mengembangkan teknologi produksi baru bagi ALP. Bahkan ambisi untuk mengakomodasi perairan dalam seakan menguat, sebab sumber daya di wilayah perairan dangkal semakin menipis. Ekspansi industri ini telah membawa evolusi dari eksplorasi perairan dangkal menjadi eksplorasi perairan dalam. Berbagai jenis fasilitas produksi telah dipasang di perairan dalam dan dangkal di seluruh dunia (Sadeghi, 2007).

Sejak dirintisnya konstruksi anjungan tetap (*fixed platform*) dan mulai diperkenalkan pada tahun 1930-an, inovasi pun

terus melaju seiring situasi, tantangan maupun obsesi kepraktisan dan efisiensi. Tipe-tipe baru konstruksi ALP hadir seiring dengan level perkembangan teknologi dan kemajuan dalam rekayasa kelautan, yang melebarkan klasifikasi dan spesifikasi desain struktur lepas pantai, seperti konsep anjungan terapung (*floating platform*) dan anjungan struktur lentur (*compliant platform*).

Hingga kini, perancangan dan konstruksi ALP masih diperdebatkan, dan merupakan salah satu rangkaian tugas paling menantang yang dihadapi oleh profesi teknik minyak dan gas (Amaechi, et al., 2022). Secara umum, hal-hal terkait sistem konstruksi ALP yang menjadi sorotan dan pertimbangan para *engineer* mencakup faktor kedalaman laut, faktor lingkungan, faktor banyaknya jumlah cadangan yang tersimpan, hingga ekspektasi *owner*.

Seiring dengan perkembangan tipe (spesifikasi) ALP yang kian beragam, maka elemen-elemen yang membentuk struktur bangunan ALP pun terus berevolusi. Secara umum, elemen struktural utama pada ALP terdiri dari:

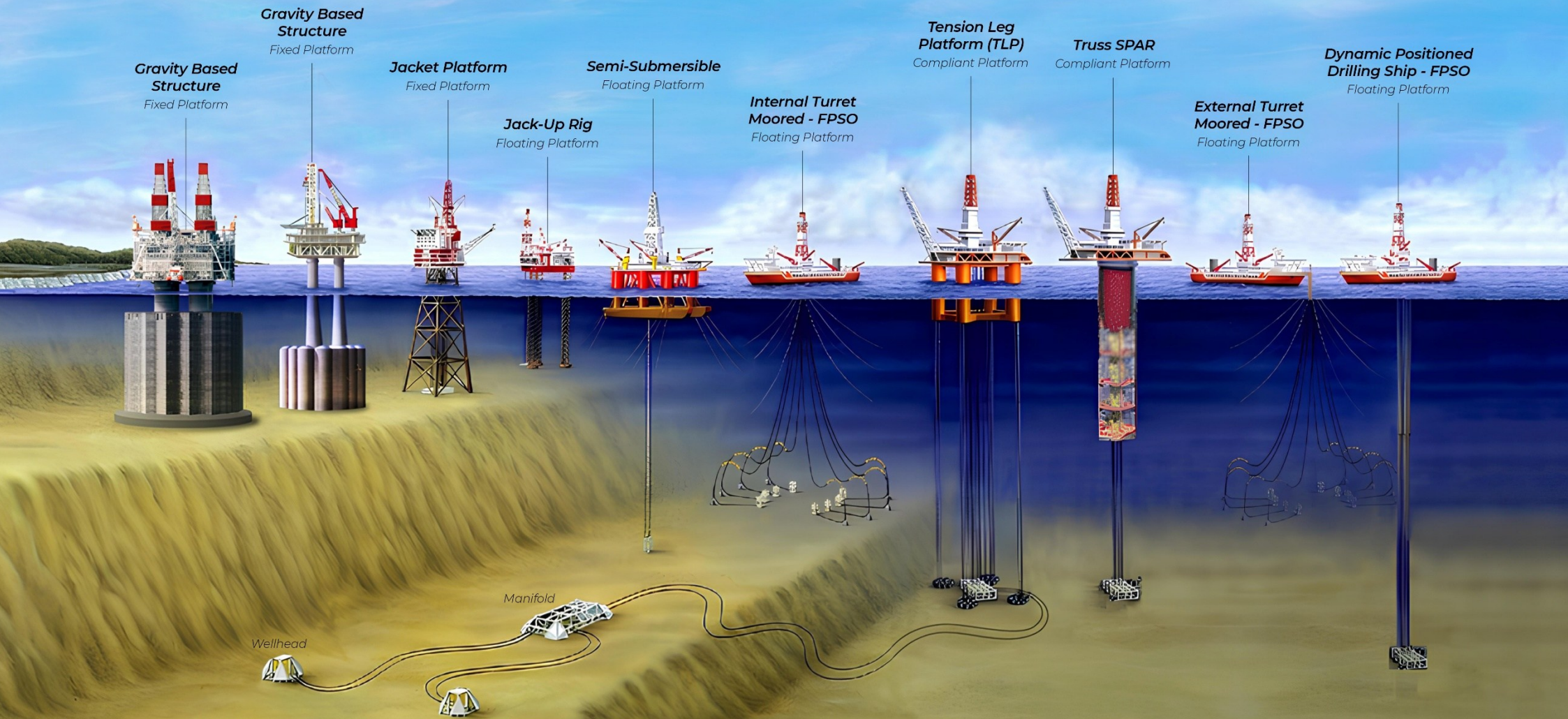
1. **Substruktur (*Substructure*)**

Komponen bawah air yang mengikat anjungan ke dasar laut, dengan sub elemen utama:

- a. Selubung (*Jacket*): kisi-kisi tabung baja yang membentuk struktur segitiga atau kotak yang menopang dek.

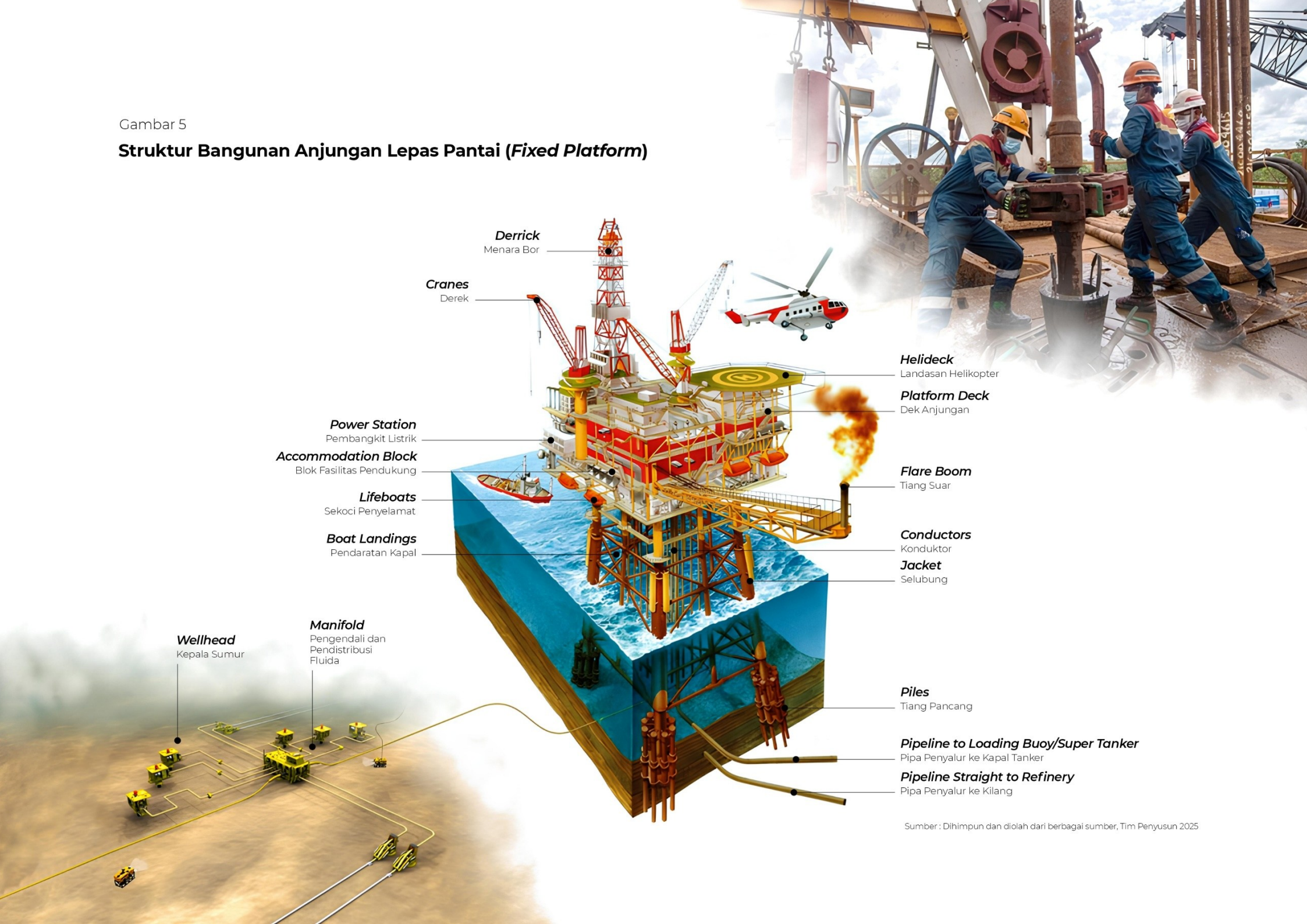
Gambar 4

Perkembangan Tipe Konstruksi Anjungan Lepas Pantai (ALP)



Gambar 5

Struktur Bangunan Anjungan Lepas Pantai (*Fixed Platform*)



Derrick
Menara Bor

Cranes
Derek



Helideck
Landasan Helikopter

Platform Deck
Dek Anjungan

Power Station
Pembangkit Listrik

Accommodation Block
Blok Fasilitas Pendukung

Lifeboats
Sekoci Penyelamat

Boat Landings
Pendaratan Kapal

Flare Boom
Tiang Suar

Conductors
Konduktor

Jacket
Selubung

Wellhead
Kepala Sumur

Manifold
Pengendali dan
Pendistribusi
Fluida

Piles
Tiang Pancang

Pipeline to Loading Buoy/Super Tanker
Pipa Penyalur ke Kapal Tanker

Pipeline Straight to Refinery
Pipa Penyalur ke Kilang

Sumber : Dihimpun dan diolah dari berbagai sumber, Tim Penyusun 2025

- b. Tiang pancang (*Piles*): pipa baja yang ditancapkan ke dasar laut untuk mengamankan selubung atau substruktur beton.

2. **Bagian Atas (Top Side)**

Struktur dek yang menopang semua fasilitas operasional dan yang berkaitan dengan personel, dengan sub elemen utama:

- a. Dek Anjungan (*Platform Deck*): Berisi mesin dan peralatan untuk pengeboran, produksi, dan pemisahan minyak dan gas.
- b. Fasilitas Pendukung (*Offshore Support Facilities*): meliputi tempat tinggal, ruang kendali, dan pembangkit listrik.
- c. Dek Helikopter (*Helideck*): sarana pendaratan helikopter untuk transportasi awak dan evakuasi.
- d. Kepala Sumur (*Wellheads*) dan Manifold Bawah Laut (*Subsea Manifolds*): peralatan yang terletak di atas atau di bawah dasar laut yang mengontrol aliran minyak dan gas dari sumur.

3. **Sistem Akses (Access System)**

Alur atau simpul sirkulasi yang penting untuk naik dan bergerak dengan aman di lingkungan laut, dengan sub elemen utama:

- a. Jalan Setapak (*Walkways*) dan Tangga (*Ladders*): akses ke anjungan dari tempat pendaratan kapal.

- b. Tempat Pendaratan Kapal (*Boat Landings*): area bagi kapal untuk berlabuh dan memfasilitasi naik dan bongkar muat.
- c. *Gangway*: jembatan untuk memindahkan personel antara kapal dan anjungan.

Dengan kemegahan struktur bangunan raksasa tersebut tentunya berbanding lurus pula dengan biaya raksasa yang harus dikerahkan untuk investasi pembangunannya. Biaya investasi ALP pada dasarnya bervariasi, sangat bergantung pada ukuran anjungan, kedalaman laut, jenis operasi, kondisi iklim, termasuk hal-hal khusus yang diinginkan investor. Sebagai gambaran, dalam ruangenergi.com (02-09-2020) diberitakan tentang kontruksi 3 anjungan untuk Lapangan Sisi Nubi dan South Mahakam (Proyek JSN) memiliki nilai investasi US\$ 105 juta (sekitar Rp. 1,7 triliun dengan asumsi kurs Rp. 16.000 per dolar).

Pancang Pakai Anjungan Lepas Pantai

Pembangunan dan fungsionalisasi ALP merupakan bagian dari mata rantai industri minyak atau gas bumi. Mata rantai tersebut berawal dari proses ekstraksi hidrokarbon di ALP hingga berakhir dengan terisinya bahan bakar ke dalam tangki kendaraan yang kita gunakan. Dalam perspektif yang lebih sempit, keberadaan dan peran ALP merupakan sub sistem dari produksi minyak atau gas bumi, dan secara

spesifik terkategori sektor hulu migas. ALP diinisiasi dan dibangun tidak secara sertamerta, melainkan setelah adanya prosedur dan hasil pekerjaan yang telah dilakukan dan terpenuhi sebelumnya, sehingga ALP menjadi pilihan dan rekomendasi untuk dihadirkan.

Kebutuhan figur dan fitur ALP baru akan mengemuka setelah proses eksplorasi hingga *exploratory drilling* tuntas secara paripurna, dimana langkah tersebut bahkan dapat memakan waktu 10-15 tahun. Untuk memahaminya, maka berikut diuraikan 5 (lima) kelompok pekerjaan dalam produksi minyak atau gas bumi di lepas pantai:

1. **Eksplorasi**

Perjalanan ekstraksi minyak bumi lepas pantai dimulai dengan eksplorasi dengan tujuan mengidentifikasi potensi cadangan minyak bumi di bawah dasar laut. Eksplorasi adalah mencari lokasi lapisan tanah yang terindikasi mengandung minyak bumi di bawahnya, biasanya mengandalkan ahli geologi dan geofisika. Perkiraan terhadap indikasi kandungan minyak bumi dilakukan dengan metoda pengumpulan data jarak jauh dan peralatan untuk mengukur medan gravitasi. Di daerah eksplorasi yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian dilakukan survei seismik dari kapal dengan peralatan khusus untuk mendapatkan gambaran struktur lapisan batuan/tanah di bawah dasar laut. Pengeboran dengan menggunakan kapal

khusus dilakukan apabila terduga potensi kandungan minyak bumi.

2. ***Exploratory Drilling***

Setelah daerah yang berpotensi mengandung minyak bumi ditemukan, maka pengeboran dilakukan untuk memastikan dan menilai kelayakan komersialnya. Langkah penting ini dilakukan menggunakan fasilitas pengeboran khusus, dikenal sebagai *Mobile Offshore Drilling Units (MODUs)* yang dirancang beroperasi di berbagai kedalaman dan kondisi, dengan ragam tipe:

- *Drilling Barges*: platform terapung besar yang digunakan di perairan tenang dan dangkal. Ditambatkan dengan aman untuk pengeboran pada kedalaman sekitar 5 hingga 50 meter.
- *Submersible Rigs*: mirip dengan *drilling barges*, rig ini dapat menenggelamkan sebagian strukturnya untuk stabilitas, pengeboran hingga kedalaman 50 meter.
- *Jack-Up Rigs*: platform serbaguna dengan kaki yang dapat diturunkan ke dasar laut, beroperasi pada kedalaman 25 hingga 150 meter.
- *Semi-Submersible Rigs*: sebagian terendam untuk pengeboran di perairan dalam, ditambatkan dengan sistem komputer canggih, beroperasi pada kedalaman 500 hingga 3.000 meter.

- *Drill Ships*: kapal *self-propelled* yang dilengkapi untuk pengeboran di perairan dalam, mampu bernavigasi secara mandiri, serta beroperasi pada kedalaman lebih dari 3.500 meter.

Mobile Offshore Drilling Units (MODUs), fasilitas pengeboran yang digunakan pada saat exploratory drilling
Foto: Reuters



Jika hidrokarbon berhasil ditemukan dari aktivitas pengeboran, sumur akan menjalani pengujian untuk menilai sifat-sifat reservoir seperti tekanan, laju aliran, dan komposisi fluida. Setelah pengujian berhasil, sumur dapat dihentikan sementara (sebelum berlanjut pada tahap berikutnya) atau sumur ditutup permanen dan ditinggalkan apabila dianggap tidak layak untuk produksi komersial.

3. **Development Drilling**

Setelah sumur minyak bumi dinyatakan layak secara komersial, maka bertransisi ke fase pembangunan

platform produksi atau anjungan lepas pantai. Pemilihan platform produksi bergantung pada faktor-faktor seperti kedalaman air, kedalaman sumur, karakteristik reservoir, dan pertimbangan lingkungan. Platform produksi dilengkapi dengan fasilitas untuk pengeboran, pemrosesan, dan penyimpanan hidrokarbon. Platform ini menampung peralatan penting seperti rig pengeboran, riser produksi, kepala sumur, separator, pompa, dan tangki penyimpanan. Selain itu, platform ini mengakomodasi personel yang bekerja secara bergilir, tinggal dan bekerja di atas kapal selama berminggu-minggu atau berbulan-bulan.

4. **Produksi**

Setelah platform produksi selesai dibangun, maka aktivitas produksi mulai berjalan, dimana hidrokarbon diekstraksi, diproses dan diangkut ke darat.

5. **Transportasi**

Produksi minyak bumi lepas pantai bergantung pada jaringan pipa (*pipelines*) yang luas untuk mengangkut hidrokarbon yang telah diekstraksi ke fasilitas di darat untuk diproses dan didistribusikan. Penggunaan jaringan pipa umumnya diimplementasikan pada platform di laut dangkal. Pipa *infield*, juga dikenal sebagai *flowline* atau *feeder line*, menghubungkan sumur bawah laut ke platform produksi. Pipa ekspor mengangkut minyak atau gas olahan dari platform ke

darat. Sedangkan proses transportasi di laut dalam, kapal tanker antar-jemput dapat digunakan untuk mengangkut minyak mentah dari FPSO ke kilang di darat. Kapal-kapal khusus ini mengangkut minyak melalui terminal pemuatan, memastikan aliran hidrokarbon yang berkelanjutan ke pasar.

Dari rangkaian pekerjaan dalam produksi minyak atau gas bumi di lepas pantai tersebut, maka diperoleh gambaran atas kedudukan dan urgensi pembangunan ALP sebagai jembatan antara eksplorasi potensi cadangan hidrokarbon dengan produksi dan transportasi migas. Pembangunan ALP layaknya pengerahan upaya untuk menghasilkan sebuah karya monumental, memiliki rute perjalanan yang panjang dan sekaligus menuntut presisi dan akurasi dari awal, akhir, bahkan saat operasionalnya. Bahwasannya pula, pembangunan ALP merupakan tugas besar yang melibatkan perencanaan cermat, teknologi mutakhir, dan pekerja terampil. Mengutip dari laman jouav.com (03-12-2024), maka proses konstruksi ALP meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Tahap Desain

Perjalanan dimulai dengan perencanaan dan desain yang cermat. Bertahun-tahun upaya dicurahkan untuk menciptakan cetak biru ALP, dengan mempertimbangkan realitas lingkungan yang keras. Beberapa hal esensial dalam tahapan ini adalah:

- a. *Tantangan Rekayasa*: setiap aspek, mulai dari ukuran dan bentuk ALP hingga material yang digunakan, dipertimbangkan dengan cermat. Desain harus memastikan platform dapat menahan cuaca ekstrem, gelombang dahsyat, dan arus yang kuat.
- b. *Pertimbangan Lingkungan*: para insinyur menganalisis lokasi yang dituju dengan cermat, dengan mempertimbangkan kedalaman air, arus, dan tinggi gelombang. Platform perlu dirancang agar fleksibel terhadap gelombang sekaligus mampu bertahan di laut yang paling ganas.
- c. *Sumber Daya Target*: jenis cadangan minyak dan gas yang akan ditargetkan ALP memainkan peran penting. Hal ini menentukan pemilihan peralatan pengeboran dan memengaruhi desain secara keseluruhan.
- d. *Pemodelan 3D*: setelah desain awal selesai, para insinyur membuat model 3D yang detail menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD) yang canggih. Model-model ini memungkinkan pengujian virtual atas beberapa skenario dan penyempurnaan desain sesuai kebutuhan.

2. Tahap Fabrikasi

Setelah desain final di tangan, fase konstruksi dimulai. Tahap ini melibatkan pembangunan (dan pembuatan)

berbagai jenis komponen yang pada akhirnya akan membentuk formasi ALP secara lengkap: Beberapa hal esensial dalam tahapan ini adalah:

- a. *Lokasi Spesialisasi*: berbagai fasilitas fabrikasi, dilengkapi dengan teknologi dan material mutakhir, konstruksi platform pengeboran, sistem bawah laut (peralatan untuk operasi bawah air), dan tempat tinggal bagi kru.
- b. *Pengangkutan*: komponen-komponen diangkut ke lokasi pemancangan untuk dirakit menggunakan armada kapal dan tongkang khusus yang mampu bermanuver dengan elemen-elemen masif ini melewati perairan yang menantang.

3. Tahap Instalasi

Berbagai komponen, yang diangkut dengan cermat dari lokasi fabrikasi, diposisikan dan dihubungkan dengan cermat menggunakan derek, peralatan las, dan peralatan khusus lainnya. Proses rumit ini dapat memakan waktu beberapa bulan untuk diselesaikan dan sangat penting untuk memastikan keselamatan dan fungsionalitas ALP. Semakin besar dan kompleks konstruksi ALP maka semakin besar upaya yang harus dikerahkan dan semakin lama proses pengerjaannya.

4. Tahap Komisioning

Sebelum ALP dapat memulai operasi pengeborannya, serangkaian pengujian ketat dilakukan, meliputi:

- a. *Uji Tekanan*: pengujian ini memastikan komponen ALP dapat menahan tekanan luar biasa yang dihadapi pada kedalaman tersebut.
- b. *Uji Aliran*: pengujian ini memverifikasi fungsi sistem yang bertanggung jawab (berdayaguna) untuk mengangkut minyak dan gas.
- c. *Uji Kelistrikan*: pengujian ini memastikan integritas dan keandalan sistem kelistrikan ALP.



Gambaran proses instalasi ALP, pekerjaan rumit yang menuntut kecermatan dan memakan waktu

Foto: Ulstein Design & Solutions B.V

Anjungan Lepas Pantai di Indonesia

Setelah hampir 55 tahun terpancangnya Platform Cinta A sebagai ALP pertama di tahun 1971, sebanyak 639 ALP telah berdiri dan tersebar di berbagai wilayah perairan Indonesia per 2024 (SKK Migas, 2025). Jumlah ALP diperkirakan terus akan berkembang di masa depan seiring kekayaan perut

bumi Indonesia yang masih besar, dimana dari 128 potensi cekungan hidrokarbon di wilayah nusantara, sebanyak 68 cekungan (53%) diantaranya belum di eksplorasi hingga saat ini (Kemen-ESDM, 2024). Dalam pantauan terakhir, teridentifikasi pada Agustus 2025, sedang berlangsung proses instalasi Platform OOA oleh Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* (PHE ONWNJ) di perairan utara Jawa Barat, rencananya mulai berproduksi pada kuartal pertama 2026 (antaranews.com, 25-08-2025).

Tahap pemasangan jacket dan topside Platform OOA oleh PHE ONWJ di perairan utara Jawa Barat pada Agustus 2025

Foto: antaranews.com



Lokasi ALP ditinjau dari pola persebarannya, menunjukkan tipologi aglomerasi dari sejumlah unit ALP, yang terlokalisasi dan berumpun pada segmen perairan tertentu, yang sebagian besar umumnya termasuk laut pedalaman dan laut kepulauan, seperti di Laut Jawa dan Selat Makassar. Adapun sebagian lainnya berada di wilayah perairan terluar atau berdekatan dengan perbatasan negara di wilayah

yurisdiksi, seperti yang terlihat di Laut Natuna Utara dan Selat Malaka.

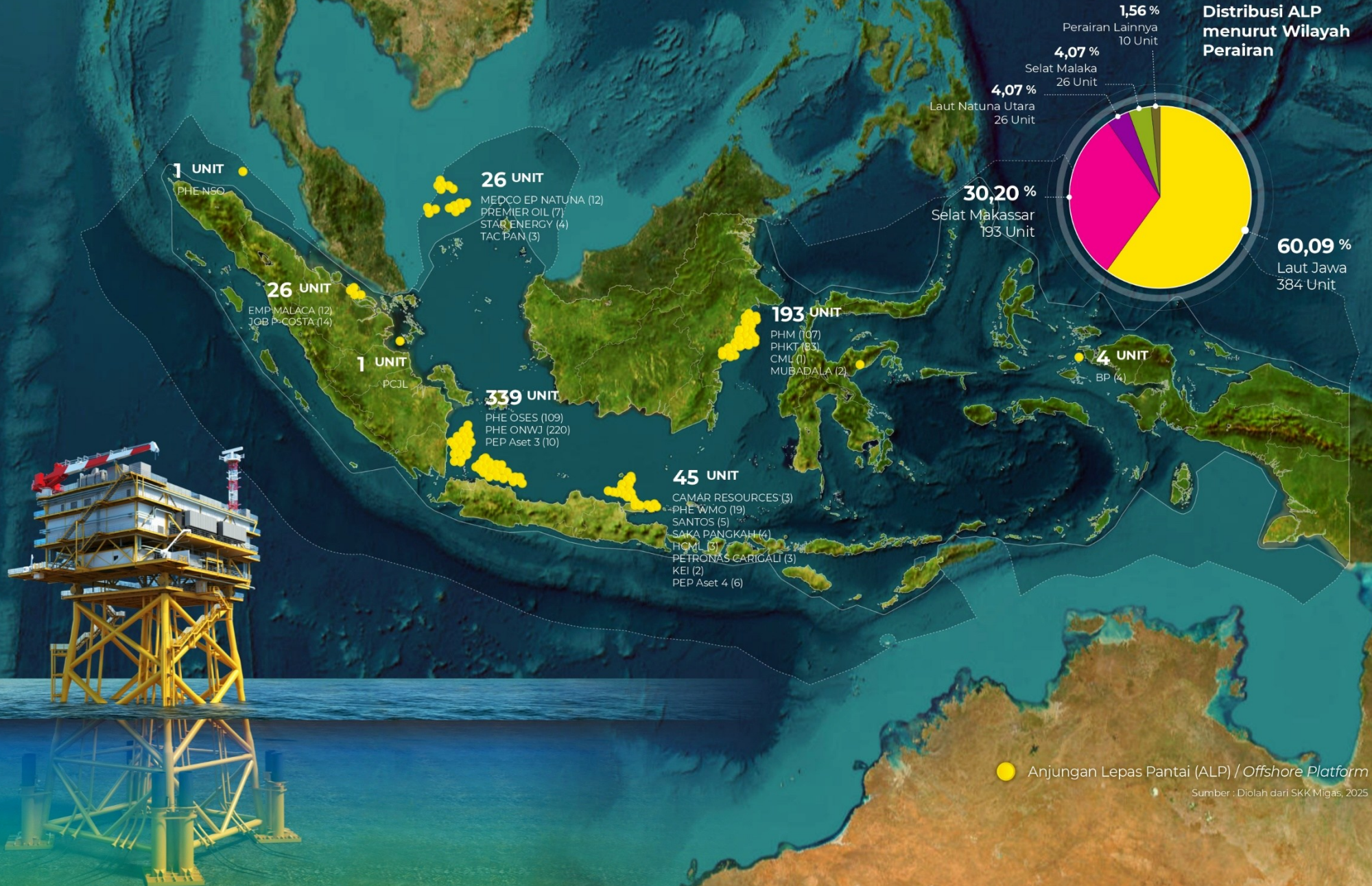
Dari keseluruhan jumlah ALP tersebut, sebanyak 60,09% (384 unit) keberadaannya terkonsentrasi di Laut Jawa dan 30,20% (193 unit) berada di Selat Makassar. Dari kedua wilayah perairan itu saja sudah merpresentasikan 90,30% dari eksistensi ALP di wilayah nasional dan menunjukkan tendensi persebaran di wilayah barat Indonesia. Sementara itu 9,70% unit lainnya antara lain tersebar di Selat Malaka, Laut Natuna Utara, Laut Utara Papua (Sorong), Laut Andaman, dan Teluk Tolo.

Menurut status penggunaannya, hanya 516 unit (80,75%) dari 639 unit ALP yang masih beroperasi. Sebanyak 116 unit ALP (18,15%) berstatus tidak beroperasi. Selebihnya, 7 unit (1,10%) ALP berstatus '*abandoned*', yaitu ditutup secara permanen dan platform dibongkar dan/atau dikembalikan ke kondisi yang aman untuk lingkungan dan aktivitas perairan, dan dalam istilah lainnya dikenal juga sebagai dekomisioning (*decommissioning*).

Berdasarkan usia operasional ALP, dapat dikatakan lebih dari 80% ALP telah berusia di atas 20 tahun. ALP dengan usia operasional 31-41 tahun memiliki proporsi terbesar, yaitu 30%. Sedangkan ALP lainnya menurut rentang usia operasional terdiri dari > 41 tahun sebesar 26%, 20-31 tahun sebesar 25%, dan < 20 tahun sebesar 19%.

Gambar 6

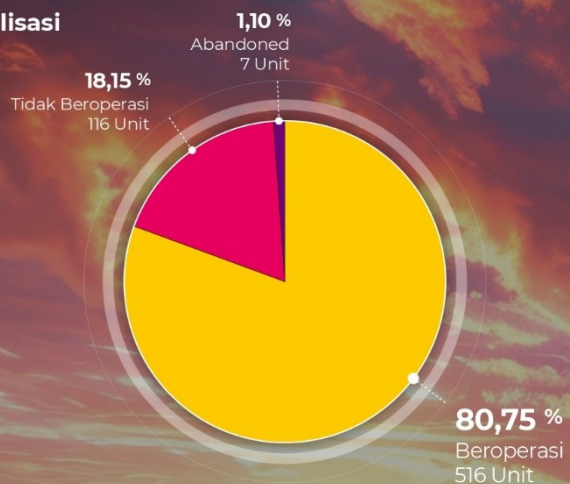
Sebaran Anjungan Lepas Pantai (ALP) di Indonesia



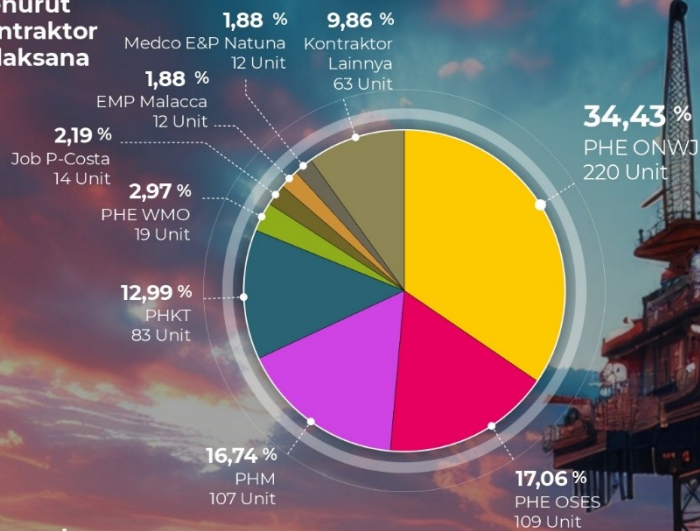
Gambar 7

Tipologi Kondisi Anjungan Lepas Pantai (ALP) di Indonesia

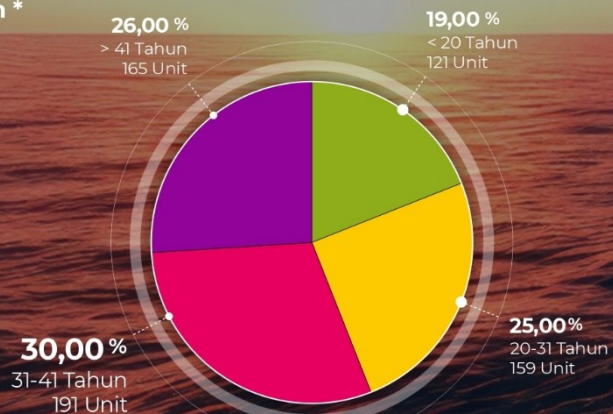
Menurut Fungsionalisasi Platform



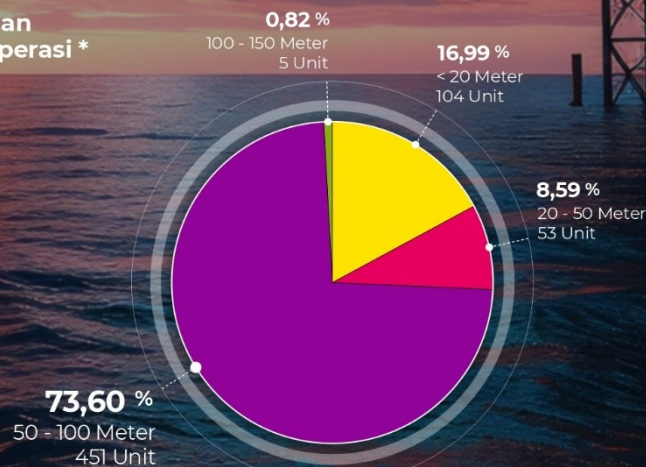
Menurut Kontraktor Pelaksana



Menurut Usia Operasional Platform *



Menurut Kedalaman Lokasi Operasi *



- Kontraktor Pelaksana
- PHE ONWJ : PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java
 - PHE OSES : PT Pertamina Hulu Energi Offshore Southeast Sumatra
 - PHM : PT Pertamina Hulu Mahakam
 - PHKT : PT Pertamina Hulu Kalimantan Timur
 - PHE WMO : PT Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore
 - JOB P-Costa : JOB Pertamina-Costa International Group Ltd
 - EMP Malacca : PT Energi Mega Persada Tbk Malacca Straits
 - Medco EP : PT Medco Energi Internasional Tbk Natuna

Sumber : SKK Migas, 2025
* Data 2023

ALP menurut kontraktor pelaksana atau KKKS (Kontraktor Kontrak Kerja Sama) didominasi kepemilikannya oleh anak perusahaan Pertamina Hulu Energi (PHE) yang merupakan bagian dari Pertamina (Persero). Sebanyak 220 unit atau 34,43% dari total unit ALP dimiliki oleh PT Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* (PHE ONWJ). Kontraktor lainnya yang juga dominan adalah PT Pertamina Hulu Energi *Offshore Southeast Sumatra* (PHE OSES) sebanyak 109 unit (17,06%) dan PT Pertamina Hulu Mahakam (PHM) sebanyak 107 unit (16,74%).

Secara keseluruhan pula, ALP yang ada di Indonesia berada pada wilayah perairan dangkal, tidak lebih dari 150 meter, dan karenanya konstruksi *fixed jacket platform* menjadi pilihan yang paling banyak diterapkan. Pada tahun 2019 bahkan 16,99% unit ALP beroperasi pada kedalaman kurang dari 20 meter, dan 8,59% pada kedalaman 20 – 50 meter. Secara dominatif, 73,60% dari unit ALP beroperasi pada kedalaman 50 - 100 meter. Adapun yang beroperasi pada kedalaman 100 - 150 meter hanya 0,82%.

Pengoperasian ALP terpancang di lokasi perairan terdalam menurut data adalah yang terpasang di Laut Natuna, yakni dengan kedalaman 87,66 meter dan panjang *substructure* 89,92 meter, dimana anjungan tersebut berumur 37 tahun. Untuk ALP terberat dan terlebar adalah anjungan yang terletak di perairan sebelah tenggara Sumatera, dengan

berat 2.592 ton dan lebarnya adalah 42,67 meter, saat ini berumur 32 tahun (Arianti dan Ghofur, 2019).

BAGIAN II

PURNATUGAS SANG RAKSASA



BAGIAN II

PURNATUGAS SANG RAKSASA

Dekomisioning Anjungan Lepas Pantai

ALP umumnya memiliki masa pakai 30 sampai 40 tahun, dan setelah produksi yang dihasilkan dinilai tidak ekonomis lagi, maka anjungan akan diproyeksikan untuk direstorasi. Jika ALP sudah tidak beroperasi, setiap Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) wajib untuk melakukan pemulihan bekas penambangannya, dikenal sebagai *Abandonment and Site Restoration (ASR)*, juga dikenal dengan *Plug and Abandonment (P&A)*. ASR juga dapat dipahami sebagai kegiatan pasca operasi, yaitu kegiatan penutupan sumur secara permanen, penghentian pengoperasian dan menghilangkan kemampuan fasilitas produksi dan fasilitas penunjang untuk dapat dioperasikan kembali, termasuk pembongkarannya secara permanen serta melakukan pemulihan lingkungan di wilayah kerja (WK) pada kegiatan usaha hulu minyak dan gas bumi.

Dalam perspektif lain yang juga populer, kerap digunakan pula istilah “*decommissioning*” atau dekomisioning sebagai proses yang kompleks, mencakup serangkaian kegiatan untuk menghentikan operasi sebuah platform secara permanen dan aman. Proses ini melibatkan pembersihan, pembuangan hidrokarbon, pemutusan sambungan, pembongkaran, dan pemulihan lingkungan di sekitar platform agar kembali ke kondisi semula, sesuai dengan peraturan yang berlaku.



Dekomisioning sebagai proses yang kompleks, mencakup serangkaian kegiatan menghentikan operasi sebuah platform secara permanen dan aman.

Foto: Offshore-mag.com

Urgensi dekomisioning disebabkan karena potensi bahaya dari sisa struktur anjungan yang ditinggalkan, tak hanya bagi lingkungan perairan, akan tetapi juga bagi kualitas tanah, udara dan iklim. Potensi bahaya juga dapat menyerpa kegiatan lain di lokasi terkait, seperti kegiatan transportasi, navigasi kelautan, eksplorasi dan penelitian sumber daya alam. Karena itu, keberadaan sumur yang

tidak direstorasi tanpa proses dekomisioning merupakan ancaman bagi keselamatan manusia dan kelestarian lingkungan. Sisa-sisa operasi seperti tumpahan minyak, kebocoran kecil dari pipa, dan limbah yang terakumulasi di dasar laut bisa terus mencemari ekosistem selama bertahun-tahun.

Meskipun operasi pengeboran telah berhenti, beberapa sisa gas rumah kaca seperti metana dan karbondioksida dapat tetap ada di atmosfer, berkontribusi terhadap perubahan iklim. Studi EPA memperkirakan, setiap sumur minyak dan gas yang terbengkalai rata-rata mengeluarkan 0,13 ton metana per/tahun. Dalam kasus ekstrim, gas yang bersumber dari sumur dapat menyebabkan ledakan. Sumur minyak di Marina del Rey California Amerika misalnya, yang menyemburkan minyak, gas metan, air, pasir dan lumpur serta ledakan pada tanggal 11 Januari 2019 (Rahman, 2022).

Dekomisioning telah menjadi aturan internasional, dimana pedoman yang diadopsi oleh banyak negara di dunia dalam penetapan persyaratan dekomisioning utamanya adalah Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Hukum Laut (UNCLOS III) 1982 bersama dengan Pedoman dan Standar Organisasi Maritim Internasional (IMO) untuk Penghapusan Instalasi dan Struktur Lepas Pantai di Landas Kontinen dan di Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), yang diadopsi pada tahun 1989. Namun, seiring berkembangnya

konvensi, beberapa konvensi/komisi diselaraskan kembali dengan komisi atau badan khusus baru, seperti IMO atau Komisi OSPAR.

Pedoman IMO menyatakan bahwa instalasi atau struktur lepas pantai yang ditinggalkan atau tidak digunakan di landas kontinen mana pun atau di ZEE mana pun harus dibongkar, kecuali dalam beberapa kasus tertentu, terutama yang didasarkan pada faktor kedalaman air dan ukuran struktur (Basile, et al., 2021). Sementara, Keputusan OSPAR 98/3 menyatakan bahwa semua fasilitas dengan berat kurang dari 10.000 ton harus dihapus seluruhnya untuk digunakan kembali atau dibuang di darat. Namun, untuk instalasi dengan berat lebih dari 10.000 ton, pondasi dapat dipertimbangkan untuk tetap dipertahankan. Pertimbangan ini diperbolehkan apabila pembongkaran pondasi tersebut menimbulkan masalah keselamatan, dampak lingkungan, dan masalah teknis yang serius.

Di Indonesia, melalui Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi (UU Migas) telah mewajibkan kepada perusahaan, untuk menjamin upaya pengelolaan lingkungan hidup, melalui pencegahan dan penanggulangan pencemaran, serta pemulihan atas terjadinya kerusakan lingkungan hidup, termasuk adanya kewajiban pascaoperasi pertambangan. Pada Pasal 40, menyatakan: *“(1) Badan Usaha atau Bentuk Usaha Tetap menjamin standar dan mutu yang berlaku sesuai dengan*

ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku serta menerapkan kaidah keteknikan yang baik. (2) Badan Usaha atau Bentuk Usaha Tetap menjamin keselamatan dan kesehatan kerja serta pengelolaan lingkungan hidup dan menaati ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku dalam kegiatan usaha Minyak dan Gas Bumi. (3) Pengelolaan lingkungan hidup sebagaimana dimaksud dalam ayat (2) berupa kewajiban untuk melakukan pencegahan dan penanggulangan pencemaran serta pemulihan atas terjadinya kerusakan lingkungan hidup, termasuk kewajiban pascaoperasi pertambangan.”

Selanjutnya, Pasal 11 juga menyatakan, bahwa salah satu muatan wajib dalam Kontrak Kerja Sama adalah ketentuan kewajiban pascaoperasi pertambangan. Secara eksplisit UU Migas sesungguhnya telah mengatur secara jelas, adanya kewajiban pasca operasi tambang atau kewajiban untuk pencegahan dan penanggulangan pencemaran serta pemulihan atas terjadinya kerusakan lingkungan hidup dalam pelaksanaan kontrak kerja sama di bidang usaha migas. Sehingga, dekomisioning pada dasarnya telah diakomodasi dalam peraturan induk (UU Migas).

Aturan yang menegaskan atas kewajiban pembongkaran instalasi migas lepas pantai (*offshore*) bahkan telah diatur sejak tahun 1974, melalui Peraturan Pemerintah No 17 Tahun 1974 tentang Pengawasan Pelaksanaan Eksplorasi

dan Eksploitasi Minyak dan Gas Bumi di Daerah Lepas Pantai. Melalui PP tersebut, pada Pasal 21 Ayat (1), telah dinyatakan “Suatu instalasi pertambangan yang tidak dipakai lagi harus dibongkar seluruhnya dalam jangka waktu yang ditetapkan Direktur Jenderal, dengan melakukan tindakan-tindakan yang layak untuk menjamin keamanan pekerjaan dan alur pelayaran”.



Aturan yang menegaskan kewajiban atas pembongkaran instalasi migas lepas pantai (*offshore*) bahkan telah diatur sejak tahun 1974

Foto: Heerema

Lebih lanjut, dalam Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2004 tentang Kegiatan Usaha Hulu Migas, pada Pasal 36 juga dinyatakan bahwa Kontraktor wajib mengalokasikan dana untuk kegiatan pasca operasi kegiatan usaha hulu, sejak dimulainya masa eksplorasi dan dilaksanakan melalui rencana kerja dan anggaran. Penempatan alokasi dana, disepakati Kontraktor dan Badan Pelaksana dan berfungsi sebagai dana cadangan khusus kegiatan pasca operasi kegiatan usaha hulu di wilayah kerja yang bersangkutan.

Aturan-aturan tersebut kemudian ditindaklanjuti dalam aturan yang lebih teknis, yakni Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 15 Tahun 2018 tentang Kegiatan Pasca Operasi pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. Melalui Permen ESDM tersebut, kegiatan pasca operasi meliputi tahap perencanaan dan pelaksanaan yang dilakukan oleh Kontraktor, dimana masing-masing tahapan tersebut berhubungan langsung dengan Kepala SKK Migas dan mendapatkan persetujuan Direktur Jenderal.

Pada Pasal 9 dinyatakan bahwa *“Sebelum melaksanakan Kegiatan Pasca Operasi, Kontraktor wajib: a. melakukan sosialisasi rencana Kegiatan Pasca Operasi kepada masyarakat dan instansi terkait; b. memasang rambu keselamatan di sekeliling lokasi pembongkaran; c. memastikan semua infrastruktur yang terhubung dengan instalasi telah terputus; d. memastikan semua sistem perpipaan dan peralatan lain bebas dari bahan berbahaya dan beracun; dan e. memastikan instalasi bebas dari limbah bahan berbahaya dan beracun.”*

Berkenaan dengan dana kegiatan pasca operasi, maka pada sub bab pencadangan, Pasal 11 menyebutkan *“Kontraktor wajib mencadangkan Dana Kegiatan Pasca Operasi sesuai dengan perkiraan Biaya Kegiatan Pasca Operasi yang merupakan bagian dari rencana Kegiatan Pasca Operasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3”*.

Selanjutnya, pada sub bab penggunaan, Pasal 14 berbunyi *“Kegiatan Pasca Operasi dilaksanakan dengan menggunakan Dana Kegiatan Pasca Operasi yang sudah dicadangkan oleh Kontraktor sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11.”* Alhasil, dari rangkaian peraturan tersebut secara hierarkis sesungguhnya telah mengamanatkan kepada operator migas dalam menjalankan kewajiban dekomisioning pascaoperasi ALP.

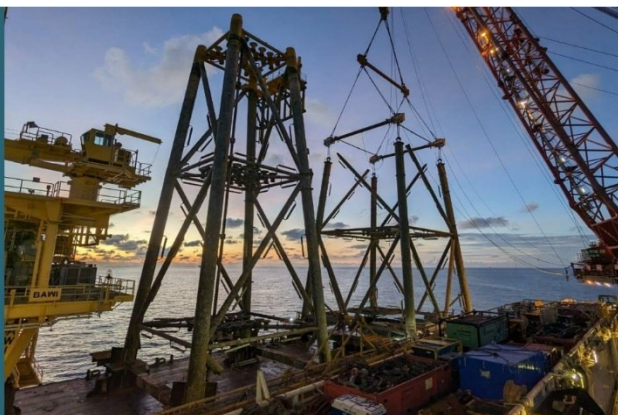
Kiranya, faktor pendanaan atau kemampuan finansial yang pada akhirnya menjadi faktor kunci. Proses dekomisioning ALP adalah rangkaian pekerjaan yang kompleks, rumit, memakan waktu, dan pastinya berbiaya mahal. Bahkan, biaya operasi dekomisioning pada beberapa sumur produksi lepas pantai mungkin tak jauh berbeda dengan biaya pada saat pengeboran minyak di awal tahap operasional. Karena itu, tanpa adanya jaminan pendanaan, maka proses *dekomisioning* yang membutuhkan biaya besar, berpotensi tidak dapat terlaksana dan menimbulkan ancaman bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya.

Sebuah studi terbaru tahun 2021 yang menganalisis data 19.500 sumur menemukan perkiraan rata-rata biaya dekomisioning mencapai \$20.000 untuk *plugging* saja dan \$76.000 untuk *plugging* dan reklamasi permukaan. Jadi, apabila ada beban 1.000 sumur dekomisioning di Blok Rokan misalnya, maka akan dibutuhkan biaya minimal (\$20.000 per/sumur) sebesar 20 juta dollar. Dengan nilai

tukar rupiah sebesar Rp. 15.000, maka akan dibutuhkan dana minimal Rp. 300 miliar untuk proses dekomisioning 1.000 sumur di Blok Rokan (Rahman, 2022).

Perkiraan rata-rata biaya dekomisioning mencapai \$20.000 untuk plugging saja dan \$76.000 untuk plugging dan reklamasi permukaan

Foto: Marine Technology News



Beban Bongkar Anjungan Lepas Pantai

Sebagaimana telah diutarakan sebelumnya, bahwa saat ini terdapat 116 ALP yang berhenti operasi di Indonesia, yang klaster kepemilikannya terdiri dari 9 operator migas. Dari seluruh ALP yang berhenti operasi tersebut, 107 unit diantaranya telah dilakukan evaluasi, namun hanya 9 unit yang berstatus siap bongkar. Sementara itu, hanya 3 dari 9 operator migas yang mengalokasikan dana ASR, sehingga 6 operator lainnya tidak mencadangkan. Baik menurut jumlah maupun pembiayaannya, tentu ini adalah sebuah beban yang tidak ringan.

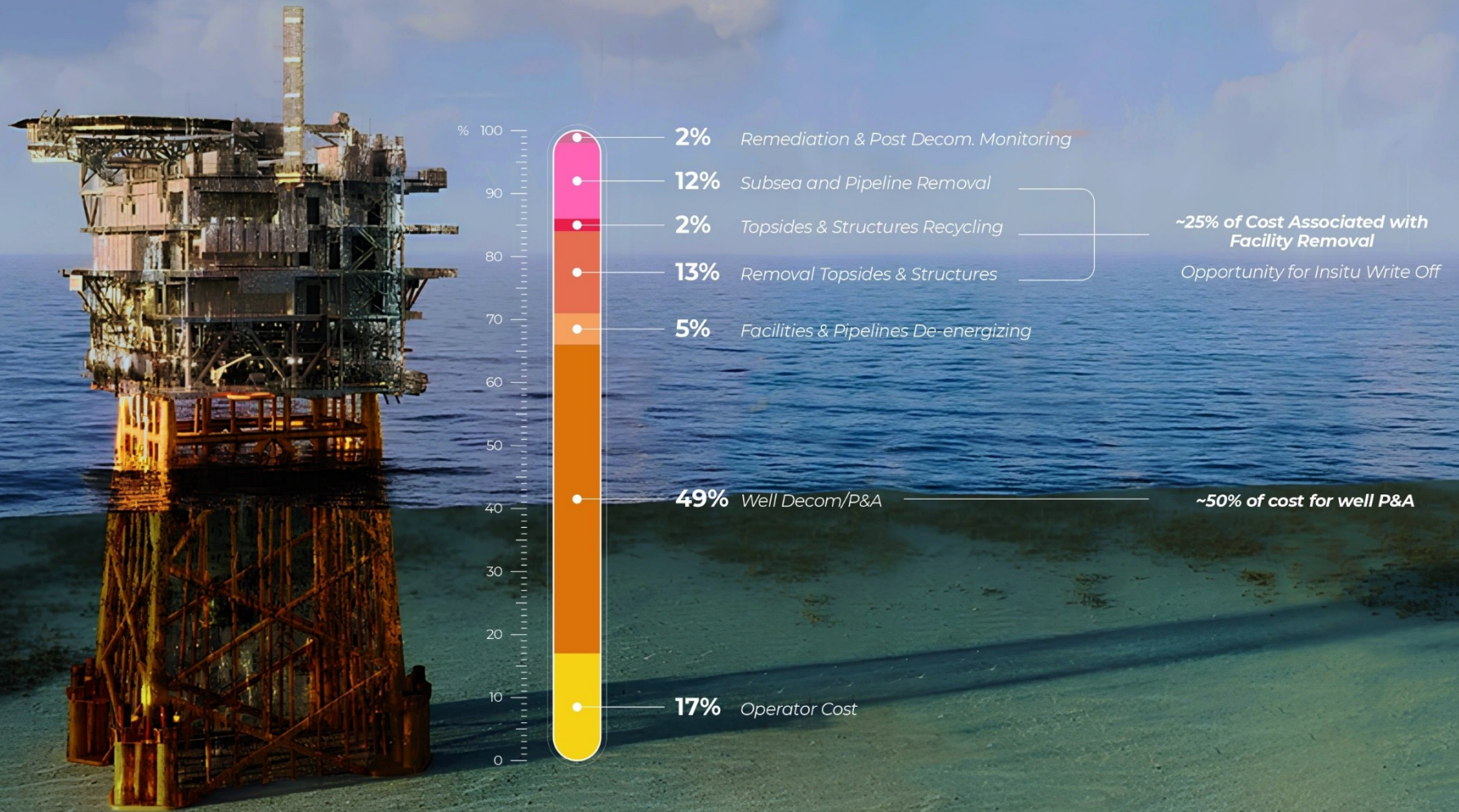
Sebagai gambaran untuk pembiayaan dekomisioning ALP tersebut, di tahun 2021, Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi mendata bahwa negara harus mengeluarkan biaya hingga kisaran Rp. 13 triliun untuk membongkar sekitar 100 ALP yang sudah tidak beroperasi (migashulujabaronwj.co.id, 2021). Secara kasuistik, dalam finance.detik.com (23-03-2021) diberitakan tentang biaya dekomisioning 3 anjungan di wilayah kerja (WK) East Kalimantan-Attaka, yakni sekitar US\$ 20-21 juta, atau sekitar Rp 288-302 miliar (kurs Rp 14.447), sehingga biaya per anjungan sekitar US\$ 6-7 juta (Rp. 96-101 miliar).

Dari segi prosesnya, beban besar pekerjaan dekomisioning ALP tergambar dari panjangnya rangkaian langkah yang harus ditempuh. Mengutip dari Primastuti (2020), proses dekomisioning ALP secara umum terdiri dari:

1. Langkah pertama, perencanaan proses dekomisioning yang khususnya dimulai 2-3 tahun sebelum proses produksi dihentikan. Proses perencanaan sendiri membutuhkan data dari semua catatan yang ada termasuk kontrak sewa peralatan, persetujuan penjualan produksi, data proses *drilling* yang telah dilakukan, serta data perawatan dan inspeksi.
2. Langkah kedua, persiapan perizinan dan pengajuan perencanaan proses dekomisioning yang ditunjukkan dalam semacam kumpulan data yang telah dikerjakan pada langkah sebelumnya.

Cambar 8

Struktur Pembiayaan Dekomisioning Anjungan Lepas Pantai



Sumber : Diolah dari SKK Migas, 21 Mei 2025

Gambar 9

Status Anjungan Lepas Pantai yang Tidak Beroperasi



Sumber : Diolah dari SKK Migas, 2025

- Langkah ketiga, *well plugging dan abandonment*, yaitu sumur-sumur yang ada akan ditutup dengan cara disumbat menggunakan semen ataupun material lainnya, dan kepala sumur akan diputus dan dipindahkan.

Ilustrasi aktivitas *well plugging dan abandonment*, pengangkatan kepala sumur setelah ditutup dan disumbat.

Foto: 2hoffshore.com



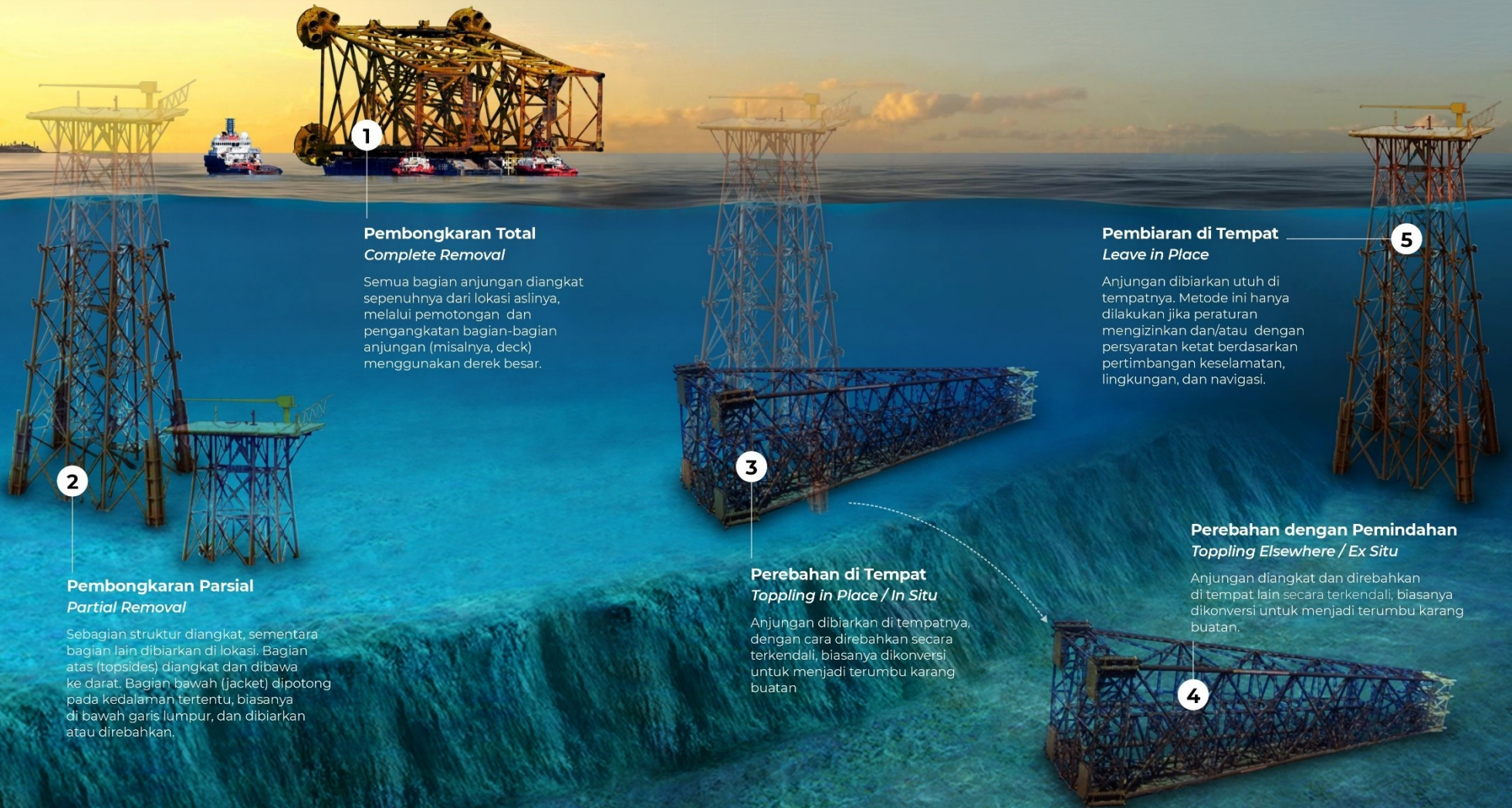
- Langkah keempat, pemindahan konduktor, di mana secara khusus, metode *abrasive cutting* akan digunakan untuk memisahkan konduktor, lalu konduktor yang sudah dipisahkan akan dibagi lagi menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana agar memudahkan untuk dibawa ke daratan. Setelah konduktor dipisahkan, konduktor akan diangkat dari *mudline* menggunakan *casing jack*.
- Langkah kelima, persiapan platform, di mana proses ini membutuhkan bagian atas platform (*topside*) untuk didekontaminasi, proses penghentian *piping electrical*

dan *instrumentation connections* diantara modul modul produksi. Dibawah *waterline*, inpeksi akan dilaksanakan menggunakan ROV untuk membatasi setiap bagian platform untuk dipindahkan.

- Langkah keenam, dekomisioning *pipeline*, yang meliputi *flushing dan cleaning pipelines*. *Pipeline* akan dipisahkan diatas *riser bend*, dan *pipelines* yang tersisa akan ditutup menggunakan *plug*. *Pipelines* boleh ditinggalkan di lokasi awal ataupun dihilangkan tergantung permintaan. Seperti konduktor, *pipelines* akan dipotong menjadi bagian-bagian yang lebih kecil untuk mempermudah pengangkutan ke daratan.
- Langkah ke tujuh, *topside removal*, pada langkah kelima, proses pemotongan dan pengangkatan telah dijelaskan, dan oleh karena itu bagian-bagian yang sama akan dipindahkan dengan memotong bagian bagian yang telah dibatasi.
- Langkah ke delapan, pemindahan bagian *substructure*, yaitu bagian-bagian *jacket platform* bisa didekomisioning secara *in situ* ataupun dimuat diatas kargo dan diangkut ke tempat yang telah ditentukan untuk dialih-fungsikan dan sebagainya.
- Dan langkah terakhir, pembersihan dan remediasi, yang terdiri dari *pre and post survey-decommisioning, close out* laporan untuk mendokumentasikan segala aktivitas dari awal sampai akhir serta memastikan semua syarat/kebutuhan telah terpenuhi.

Gambar 10

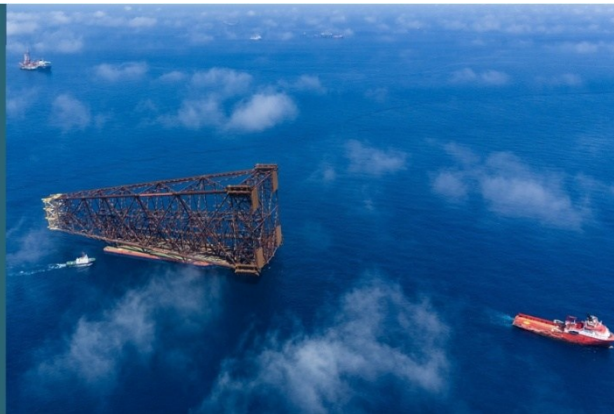
Opsi Metode Dekomisioning Anjungan Lepas Pantai



Meski demikian, secara teknis, praktik dekomisioning ALP dapat berbeda antara kasus per kasus, sebab terdapat sejumlah alternatif dari sisi metodenya. Dari berbagai uraian dan penjelasan yang berkenaan dengan metode, maka dapat dihimpun opsi metode dalam dekomisioning ALP terdiri dari: 1) pembongkaran total (*complete removal*); 2) pembongkaran parsial (*partial removal*); 3) perebahan di tempat (*toppling in place/in situ*); 4) perebahan dengan pemindahan (*toppling ex situ*); serta 5) pembiaran di tempat (*leave in place*). Pemilihan metode dekomisioning biasanya beragam, seperti jenis struktur, biaya, peraturan, dan kondisi lingkungan.

Ilustrasi aktivitas pembongkaran total (*complete removal*) Anjungan Lepas Pantai

Foto: www.globaltimes.cn



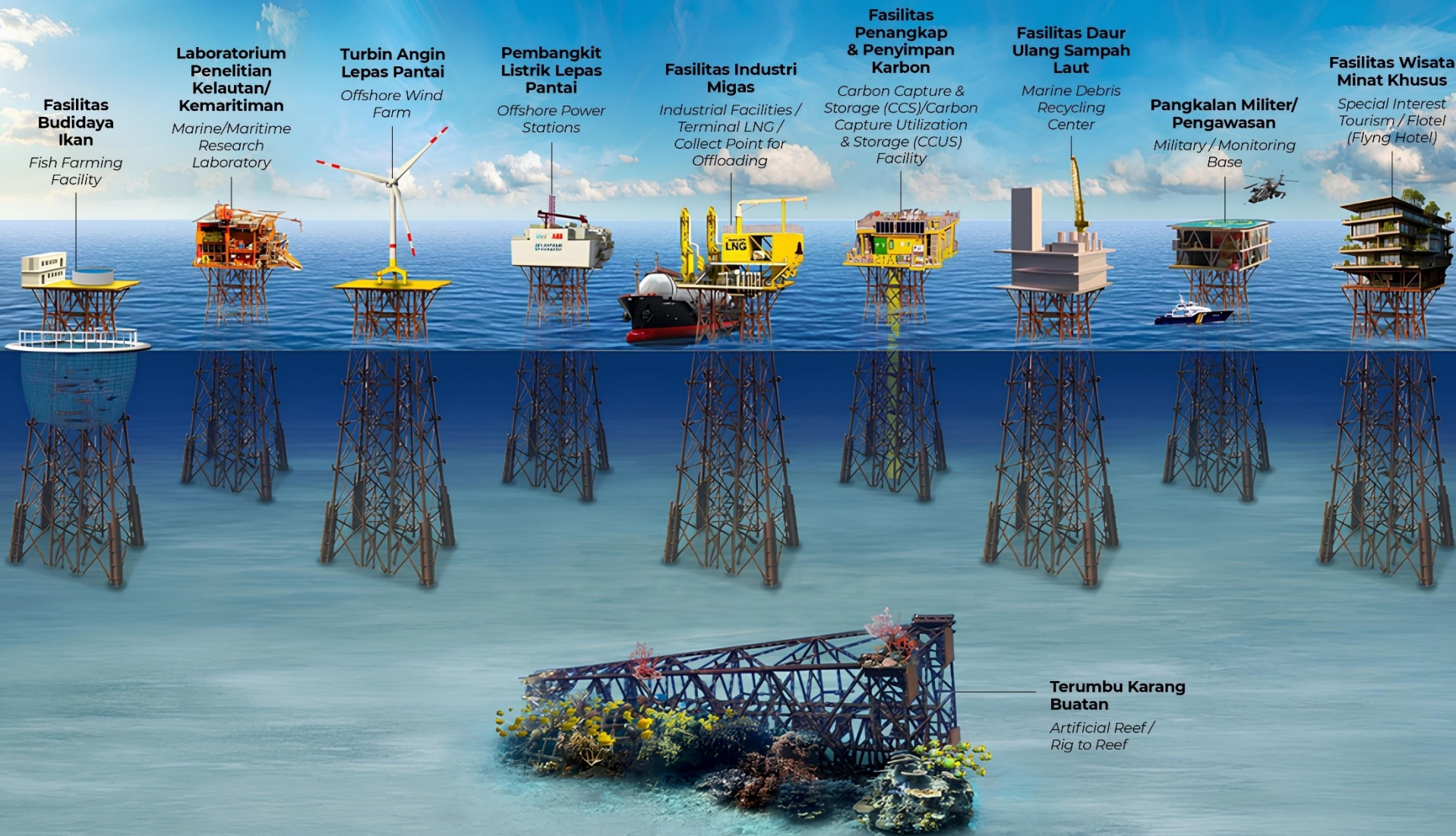
Selain pertimbangan teknis yang menentukan pemilihan metode, sebetulnya juga penting untuk menentukan tujuan dan kemanfaatan terbaik yang ingin dicapai dari dekomisioning ALP, bahkan sedapat mungkin menangkap

peluang penggunaannya kembali (*re-use* atau *repurpose*). Sejauh ini, terdapat sejumlah alternatif penggunaan kembali ALP yang dapat digunakan untuk memandu strategi dekomisioning, yang terhimpun dan terangkum dari berbagai pandangan, meliputi:

1. **Terumbu Karang Buatan (*Artificial Reefs/Rig to Reef*)**
Merupakan bentuk penggunaan kembali yang paling umum, yaitu pembuatan terumbu karang buatan yang menyediakan habitat bagi kehidupan laut. *Rig to reef* dapat dilakukan dilokasi ALP berada atau dibawa ke lokasi lain yang lebih memungkinkan terumbu karang bisa berkembang lebih baik namun sebaiknya tidak terlalu jauh dengan lokasi asal anjungan;
2. **Budidaya Ikan Lepas Pantai (*Offshore Fish Farming*)**
ALP dimodifikasi dan dialih-fungsikan sebagai fasilitas pembudidayaan ikan lepas pantai atau pusat kegiatan marikultur.
3. **Pusat Penelitian Kelautan/Kemaritiman (*Marine/ Maritime Research Laboratory*)**
ALP digunakan kembali dan dikembangkan sebagai pusat penelitian kelautan atau kemaritiman, baik yang mengarah pada hidro-oseanografi, ekosistem, maupun biota laut.
4. **Turbin Angin Lepas Pantai (*Offshore Wind Farm*)**
Struktur ALP dapat digunakan kembali untuk fasilitas turbin angin (untuk mengubah energi angin menjadi listrik), yang membantu transisi ke energi terbarukan.

Gambar 11

Opsi Penggunaan Kembali (Re-Use) Anjungan Lepas Pantai Pasca Dekomisioning



5. **Pembangkit Listrik Lepas Pantai (*Offshore Power Stations*)**

ALP dialih-fungsikan menjadi fasilitas pembangkit listrik untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi terbarukan lainnya, seperti angin, gelombang, pasang surut, dan perbedaan suhu air laut;

*Ilustrasi alih-fungsi
ALP menjadi fasilitas
pembangkit listrik
tenaga angin*

Foto: www.offshore-energy.biz



6. **Fasilitas Industri Minyak dan Gas Bumi (*Oil and Gas Industrial Facility*)**

ALP dapat diubah untuk berbagai penggunaan lain yang mendukung operasional industri migas, seperti dalam bentuk *collect point for offloading* atau terminal LNG.

7. **Fasilitas Penangkap dan Penyimpan Karbon (*CCS/CCUS Facility*)**

ALP digunakan kembali sebagai fasilitas CCS (*Carbon Capture and Storage*) dan CCUS (*Carbon Capture*

Utilization and Storage), yaitu aktivitas penangkapan dan sekuestrasi CO₂ dari sumber titik yang besar dan mentransfernya ke formasi geologi bawah tanah. Tujuannya untuk mengurangi pelepasan CO₂ dalam jumlah besar ke atmosfer, dan memitigasi kontribusi emisi bahan bakar fosil terhadap pemanasan global dan pengasaman laut. Terdapat peluang substansial untuk menyimpan CO₂ di lepas pantai, baik di ladang minyak dan gas yang telah habis maupun di akuifer salin dalam.

8. **Pusat Daur Ulang Sampah Laut (*Marine Debris Recycling Center*)**

ALP digunakan kembali sebagai fasilitas penangkap, pengumpul dan pendaur-ulang sampah laut. Gagasan ini antara lain pernah dikemukakan oleh National Taiwan University of Science and Technology pada tahun 2021.



Contoh desain alih-fungsi ALP menjadi fasilitas daur ulang sampah laut (marine debris) oleh Universitas Sains dan Teknologi Nasional Taiwan

Foto: architectureprize.com

9. **Pangkalan Militer/Pengawasan (*Military/Monitoring Base*)**

ALP dialihfungsikan sebagai fasilitas yang mendukung fungsi operasional pertahanan dan keamanan dan/ atau pengawasan sumber daya kelautan. Konsep ALP menjadi sistem pertahanan bergerak telah dipelajari dan diusulkan oleh beberapa negara, seperti Amerika dan Jepang.

10. **Fasilitas Wisata Minat Khusus (*Special Interest Tourism Facility*)**

Model penggunaan kembali ALP ini antara lain telah dikembangkan di Malaysia sebagai hotel terapung (flotel) yang dikhususkan bagi kalangan penyelam (*divers*). Konsep serupa juga pernah dikembangkan di Inggris dan Amerika.

Contoh alih-fungsi
ALP menjadi hotel
terapung untuk
para penyelam
(Seaventures Dive
Resort) di Malaysia

Foto: seaventuresdive.com



BAGIAN III

ATTAKA,
RIGS TO REEFS
PERDANA



BAGIAN III**ATTAKA,
RIGS TO REEFS
PERDANA*****Rigs to Reefs, Opsi Dekomisioning Berkelanjutan***

Ketika sumur-sumur mulai mengering, operasionalisasi anjungan lepas pantai pun tak lagi bernilai ekonomis, dan saat itu perusahaan dihadapkan pada tantangan untuk membuat keputusan besar. Sementara itu, memindahkan struktur raksasa dari laut membutuhkan biaya mahal, rumit, dan juga berpotensi mengganggu kehidupan laut. Situasi tersebut memicu pemikiran jalan keluar, dimana penggunaan kembali (*re-use*) ALP menjadi terumbu karang buatan (*artificial reefs*) akhirnya muncul sebagai salah satu solusi.

Bagi industri (hulu) migas, pendekatan ini memberikan keuntungan ekonomis karena dapat mengurangi biaya

dekomisioning penuh, serta memungkinkan pemanfaatan kembali struktur yang sebelumnya hanya berpotensi menjadi limbah logam (Jagerroos & Krause, 2016). Dengan pendekatan ini, alih-alih memindahkan seluruh anjungan, sebagian besar tubuh anjungan justeru ditinggalkan, dan kerangka bawah lautnya menjadi rumah ideal bagi kehidupan laut.

Sebelum pendekatan tersebut hadir, rangkaian penelitian di Teluk Meksiko telah mengungkap fenomena hubungan antara ALP dengan terumbu karang. Teluk Meksiko sedikit memiliki terumbu karang alami. Tak lama setelah anjungan pertama kali ditemukan di teluk, di sekitar ALP para nelayan mendapat lebih banyak ikan. Penelitian selanjutnya menemukan bahwa jika anjungan tersebut diubah menjadi terumbu buatan, maka dapat menarik dan meningkatkan populasi ikan.

Ketika ALP telah mencapai akhir masa produksinya, para nelayan dan ahli biologi kelautan telah khawatir dengan hilangnya habitat ikan yang mereka buat. Bahwa, selama penggunaan ALP setelah belasan sampai puluhan tahun, struktur tersebut pasti ditumbuhi dan ditempati oleh biota-biota laut. Struktur tersebut menjadi habitat dasar dan menyediakan substrat yang dibutuhkan oleh biota laut seperti kerang-kerangan, kepiting, udang, bintang laut, mentimun laut, anemon dan masih banyak lagi (Maulana, 2019).

Ekosistem yang diciptakan oleh ALP, layaknya terumbu karang alami, memberikan manfaat ekonomi. Di wilayah-wilayah yang mengizinkan penangkapan ikan rekreasi, anjungan-anjungan ini telah menjadi lokasi yang sangat populer selama beberapa dekade (Dugas dkk., 1979). "Memancing dengan alat tangkap" merupakan bagian utama dari aktivitas penangkapan ikan rekreasi di Teluk Meksiko, khususnya Louisiana, di mana spesies yang ditangkap di anjungan-anjungan tersebut antara lain hiu, ikan marlin, dan barakuda (Driessen, 1986).

Hasil riset dari sisi sebaliknya mengungkap pula, bahwa proses dekomisioning ALP yang dilakukan dengan cara dibongkar untuk dipindahkan akan berdampak juga pada ekologi laut. Hal tersebut terjadi dikarenakan ketika anjungan tersebut dibongkar, maka organisme yang terdapat pada struktur tersebut akan mati, dan ikan serta spesies lainnya hanya akan dapat bertahan jika dapat pindah ke tempat lainnya dengan selamat, selain itu aktivitas lepas jangkar kapal tongkang selama proses dekomisioning dilakukan akan menyebabkan dampak yang buruk bagi habitat spesies dan substrat akibat goresan jangkar di dasar laut. Selain itu, proses kegiatan dekomisioning yang dilakukan dengan cara meledakkan struktur mengakibatkan kematian bagi ikan-ikan dan rusaknya ekosistem laut. Maka, pemikiran antisipatif dan sekaligus terobosan memediasi dua perspektif tantangan dekomisioning ALP menjadi mendesak.

Pada akhirnya, dekomisioning ALP menjadi terumbu karang buatan menjelma sebagai kebijakan dan dikenal sebagai **"Rigs to Reefs"**. Praktik *rigs to reefs* pertama kali dilakukan di perairan Louisiana dan Texas, Amerika Serikat, pada tahun 1985, sebagai respons terhadap dua tantangan utama, yakni tingginya biaya pembongkaran struktur lepas pantai dan kebutuhan mendesak akan habitat baru bagi biota laut (Macreadie et al., 2011; Bull et al., 2019). Sejak program *rigs to reefs* di Louisiana dimulai, 75 perusahaan minyak dan gas bumi telah berpartisipasi. Lebih dari 60 lokasi terumbu karang buatan telah dibangun di lepas pantai Louisiana.



Implementasi *rigs to reefs* pertama kali dilakukan di perairan Louisiana dan Texas, Amerika Serikat, pada tahun 1985

Foto: 1012industryreport.com

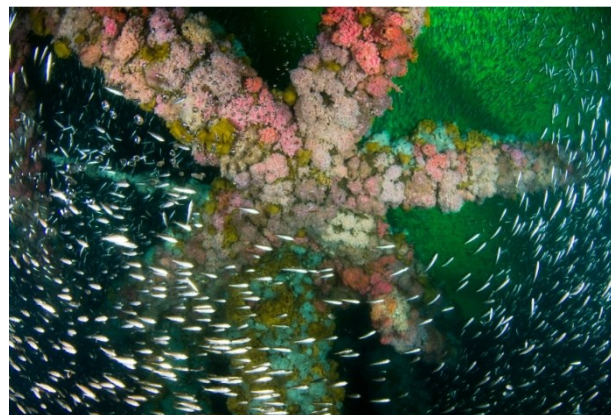
Tujuan utama *rigs to reefs* adalah mengonversi ALP yang tidak lagi digunakan menjadi habitat buatan bagi biota laut, sehingga tidak hanya memberikan manfaat ekologis melalui peningkatan produktivitas, keanekaragaman

hayati laut, dan kesehatan lingkungan laut, tetapi juga menciptakan nilai ekonomi baru bagi masyarakat pesisir. Program ini menunjukkan bahwa dengan perencanaan yang cermat, keseimbangan antara industri dan alam dapat ditemukan, dan bahkan mengubah dampak masa lalu menjadi peluang di masa depan.

Rigs to reefs bermanfaat dari berbagai perspektif, di mana dalam waktu enam bulan hingga satu tahun setelah pertama kali ditempatkan di dasar laut, anjungan tersebut akan menjadi ekosistem terumbu karang yang berkembang pesat dan sepenuhnya diselimuti kehidupan laut. Kehidupan laut yang sudah terbentuk di anjungan tersebut dilestarikan, karena anjungan tersebut dipotong dan ditarik dengan hati-hati ke lokasi baru.

Karena dibangun dari baja tahan korosi yang tahan pecah, anjungan memiliki struktur yang besar dan terbuka yang memungkinkan sirkulasi yang mudah bagi ikan dan menyediakan tempat berlindung bagi teritip, karang, spons, kerang, bryozoa, dan hidroid. Rangka logamnya merupakan rumah bagi berbagai macam kehidupan laut. Ikan, karang, dan invertebrata yang tak terhitung jumlahnya mengkolonisasi struktur ini. Anjungan-anjungan ini menawarkan tempat berlindung, tempat berkembang biak, dan area makan, yang meningkatkan keanekaragaman hayati di komunitas laut ini, sehingga akhirnya menjadi terumbu karang buatan yang ideal.

Implementasi *rigs to reefs* juga telah membuktikannya sebagai praktik keberhasilan. Ketika anjungan dipasang, pembentukan komunitas fauna terjadi dengan cepat, dengan ikan muncul dalam hitungan jam (Bohnsack, 1989), dan suksesi ekologis menghasilkan habitat tipe terumbu yang kompleks dalam 5–6 tahun (Driessen, 1986). Anjungan lepas pantai tidak hanya terbukti memiliki biomassa ikan yang lebih tinggi daripada area dasar berpasir, tetapi bahkan terumbu alami (Claisse dkk., 2014).



Contoh sukses struktur terumbu buatan hasil alih-fungsi platform Gilda di California pada kedalaman 30 meter

Foto: www.montecito-journal.net

Hasil penelitian lain menyatakan, hal ini (*rigs to reefs*) menghasilkan anjungan lepas pantai yang memiliki "zona penangkapan ikan yang ditingkatkan" seluas 200–300 m untuk spesies pelagis dan 1–100 m untuk spesies demersal (Bohnsack dan Sutherland, 1985). Bukti keberhasilan dan kesesuaian anjungan minyak lepas pantai sebagai habitat terumbu buatan menunjukkan bahwa struktur ini dapat

memberikan nilai ekologis yang jauh lebih besar bila dibandingkan kasus "pembongkaran" lainnya (Ajemian dkk., 2015).

Hingga April 2018, sekitar 532 anjungan lepas pantai telah dialihfungsikan menjadi terumbu karang buatan di Teluk Meksiko, sebagian besar di wilayah perairan Louisiana dan Texas (Biro Keselamatan dan Penegakan Lingkungan AS, 2018). Jumlah tersebut mewakili lebih dari 11% dari total jumlah anjungan yang telah dialihfungsikan di Teluk Meksiko (Bull dan Love, 2019). Tak hanya di Amerika Serikat, implementasi *rigs to reefs* turut mengemuka dan dijadikan opsi rujukan di berbagai negara, seperti di Australia hingga negara-negara Asia.

Kondisi struktur terumbu buatan alihfungsi ALP Baram-8 di Malaysia
Foto: Petronas.com



Kiranya, praktik *rigs to reefs* di negara-negara tetangga telah pula mendahului. Bahkan, Brunei telah menerapkan

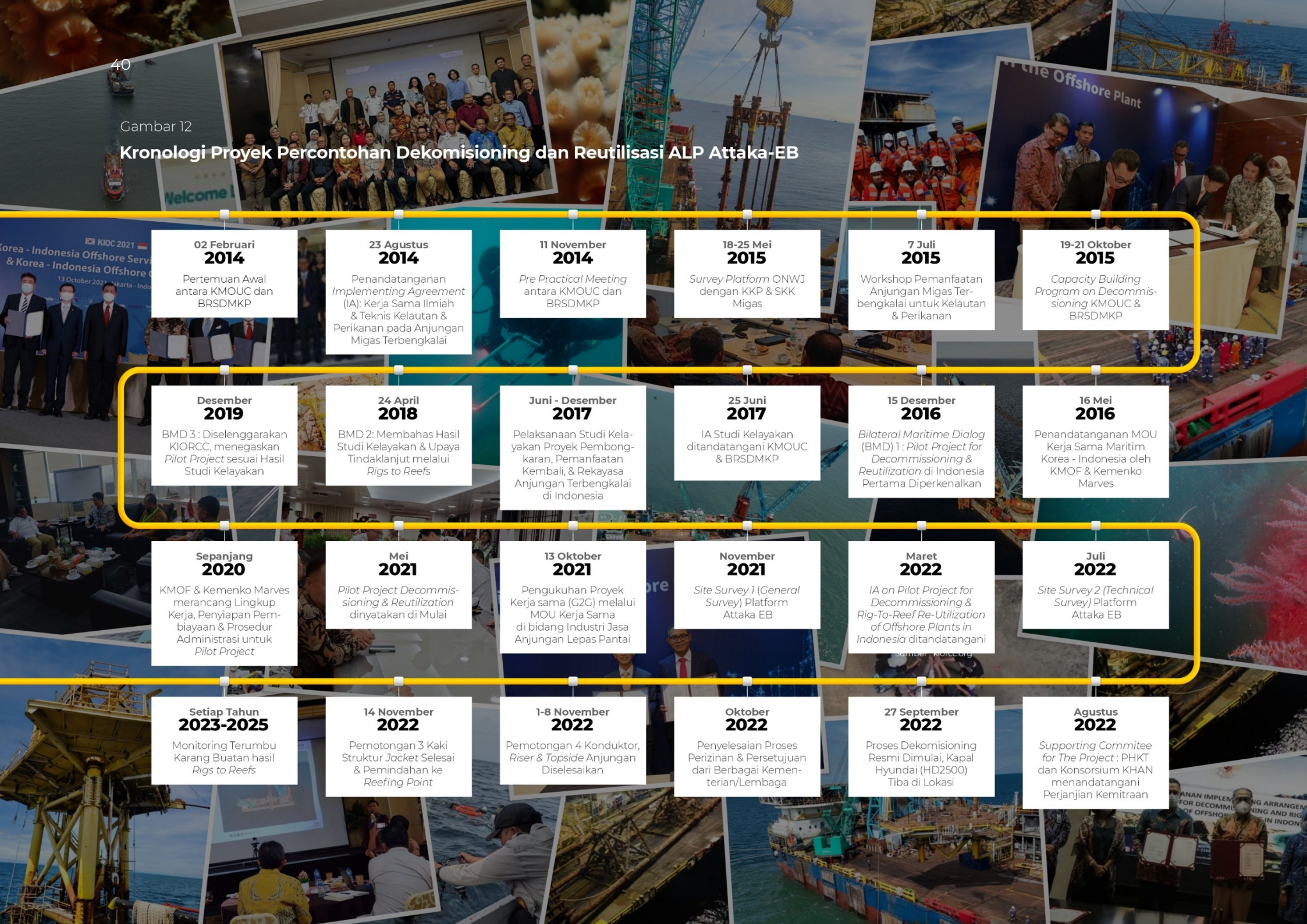
kebijakan *rigs to reefs* sejak tahun 1988. Operator lepas pantai Shell Brunei Petroleum telah menarik sejumlah anjungan dan jaket tua ke dua area terumbu karang buatan yang terletak jauh dari jalur pelayaran. Di Malaysia, kasus Anjungan Baram-8 yang rusak akibat badai dan runtuh ke dasar laut pada tahun 1975, lalu dipelajari untuk dibuat menjadi terumbu buatan pada tahun 2013. Baru pada tahun 2017, pada anjungan Dana dan D30 diterapkan praktik alih fungsi untuk terumbu karang buatan di lepas pantai Sarawak.

Mengawali *Rigs to Reefs* di Indonesia

Dari hasil penelusuran riwayat, peninjauan *rigs to reefs* di Indonesia bermula dari kerja sama riset yang berlangsung antara Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan (BRSDMKP) dengan *Korea Maritime and Ocean University Consortium* (KMOUC) sejak tahun 2014, yang berorientasi pada upaya membongkar fasilitas minyak dan gas bumi lepas pantai terbengkalai secara efektif di Indonesia. Dari pertemuan inisiatif antara kedua lembaga tersebut pada tanggal 6 Februari 2014, berlanjut dan membuahkan Perjanjian Pelaksanaan Pembentukan Kerja Sama Ilmiah dan Teknis Kelautan dan Perikanan pada Anjungan Minyak dan Gas Terbengkalai pada 7 Juli 2014 yang ditandatangani oleh kedua belah pihak.

Gambar 12

Kronologi Proyek Percontohan Dekomisioning dan Reutilisasi ALP Attaka-EB



Tindaklanjut atas perjanjian tersebut diaktualisasikan dengan survei lokasi serta lokakarya dekomisioning dan program peningkatan kapasitas untuk meletakkan dasar bagi kedua negara dalam melakukan riset. FGD dengan pemerintah daerah dan lembaga di Balikpapan dan Samarinda untuk membahas agenda pembongkaran anjungan tua di Kalimantan Timur diselenggarakan pada 11 Oktober 2015. Survei lokasi ke lapangan berlangsung dari tanggal 12 hingga 18 Oktober 2015 diawali dengan Survei Lingkungan. Kemudian, dari tanggal 23 sampai dengan 27 Oktober 2015, mengunjungi anjungan Attaka dan Yakin untuk menyelidiki status anjungan. Kegiatan survei turut melibatkan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) serta Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (SKK Migas).

Keberhasilan dalam melaksanakan penelitian bersama mengenai pembongkaran, pemanfaatan kembali, dan rekayasa anjungan lepas pantai telah mendorong ditandatanganinya Nota Kesepahaman tentang Kerja Sama Maritim antara pemerintah kedua negara pada tahun 2016. Selang beberapa waktu kemudian, KMOUC dan BRSDMKP menandatangani Perjanjian Pelaksanaan pada tanggal 25 Juli 2017 untuk melakukan studi kelayakan bersama menggunakan anjungan target. Dokumen studi kelayakan berhasil dirampungkan pada Desember 2017, di dalamnya turut menelaah opsi dekomisioning berupa *rig to reef*, *fish farm*, *sea adventure*, dan *fishery cold storage*.

Proyek percontohan (*pilot project*) dekomisioning Korea-Indonesia kemudian diinisiasi pada bulan Juli 2019. Sebagai tindaklanjutnya, maka di sepanjang tahun 2020, KMOF (*Korea Ministry of Oceans and Fisheries*) dan Kementerian Koordinator Bidang Maritim dan Investasi merancang lingkup kerja, penyiapan pembiayaan dan prosedur administrasi untuk proyek percontohan. Pada bulan Mei 2021, proyek percontohan dekomisioning pun dinyatakan di mulai.

Kemudian, proyek kerja sama Pemerintah-ke-Pemerintah (G2G) antara Republik Korea dan Republik Indonesia ini dikukuhkan melalui Nota Kesepahaman Kerja Sama di bidang Industri Jasa Anjungan Lepas Pantai pada 13 Oktober 2021 dan *Implementing Arrangement* tahun 2022. Persetujuan tersebut juga ditandai dengan penandatanganan Nota Kesepakatan oleh Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian ESDM dan Deputi Bidang Koordinasi Kedaulatan Maritim dan Energi Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi atas *Implementing Arrangement (IA) on Pilot Project for Decommissioning and Rig-To-Reef Re-Utilization of Offshore Plants in Indonesia*, pada Februari 2022, sebagai dasar bagi pelaksanaan *Pilot Project Decommissioning Anjungan Migas Attaka-I, Attaka-UA dan Attaka-EB* di Wilayah Kerja East Kalimantan dan Attaka yang berlokasi di Kalimantan Timur.

Anjungan yang ditargetkan dimiliki oleh Pertamina Hulu Kalimantan Timur (PHKT), yang sebelumnya dioperasikan oleh Chevron. Dalam proses dekomisioning, PHKT berhasil bermitra dengan Konsorsium KHAN Offshore (perusahaan *Engineering Procurement Construction* asal Korea) untuk membongkar anjungan Attaka-EB yang berlokasi di perairan Bontang, Kalimantan Timur. Proyek ini juga didukung oleh perusahaan-perusahaan Korea lainnya sebagai anggota konsorsium, yaitu Rovostech, ZEN, Samin SMT, KOC, JD Engineering, BMI, Ocean Wide, CIIZ, Korea Aquatic Life Institute, dan Neo-Max.

Penandatanganan
Implementing
Agreement Rig to
Reef Re-Utilization
on Offshore Plants
in Indonesia

Foto: kiorcc.org



Proses kegiatan dekomisioning ALP Attaka-EB dimulai pada tanggal 27 September 2022, dilaksanakan dengan menggunakan kapal Hyundai HD2500. Setelah pekerjaan persiapan, kru yang terdiri dari warga negara Indonesia dan personel dari berbagai negara memulai pelaksanaan teknis

pembongkaran. Kegiatan tersebut diawali pemotongan 4 konduktor dan riser yang diselesaikan pada 4 November 2022. Kemudian, dilaksanakan kegiatan pemotongan *topside* anjungan yang diselesaikan pada tanggal 8 November 2022. Selanjutnya, dilakukan pemotongan 3 kaki struktur *jacket* dan diselesaikan pada 14 November 2022, dan platform yang telah dipotong diangkat dengan aman dalam keadaan utuh dan dipindahkan ke HD2500.



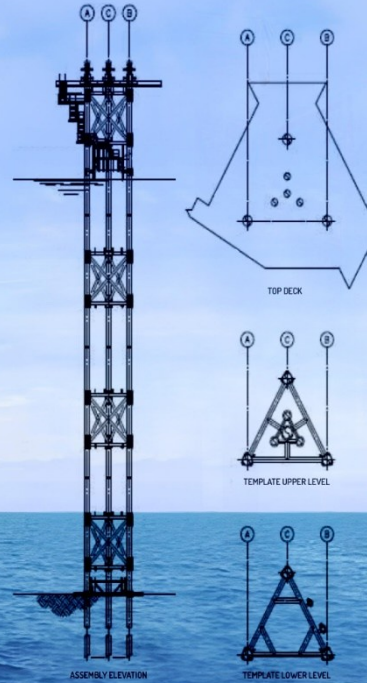
Kapal Hyundai
HD2500 yang
digunakan dalam
pengangkatan
dan penempatan
(reeving) platform
Attaka-EB

Foto: kiorcc.org

Pada akhir proses pembongkaran, bagian-bagian dari anjungan diangkat dan dibawa ke area dekat kawasan konservasi di lepas pantai Bontang, Kalimantan Timur. Anjungan Attaka-EB dialihfungsikan menjadi terumbu buatan sesuai skema *rigs to reefs* yang telah dicanangkan, untuk mendukung konservasi karang, dan juga sebagai *benchmarking* atas implementasi *rigs to reefs* di masa depan di perairan Indonesia.

Gambar 13

Profil Attaka-EB, ALP Proyek Percontohan Dekomisioning dan Reutilisasi



Informasi Dasar Anjungan Lepas Pantai

Nama ALP	Attaka-EB
Lokasi	Lapangan Migas Attaka, Bontang, Kalimantan Timur
Mulai Operasi	1999
Berhenti Operasi	2012
Jumlah Kaki	3
Tinggi Struktur	65 meter
Kedalaman	56 meter (183 ft)
Bobot	358 ton

Pilot Project Decommissioning and Reutilization

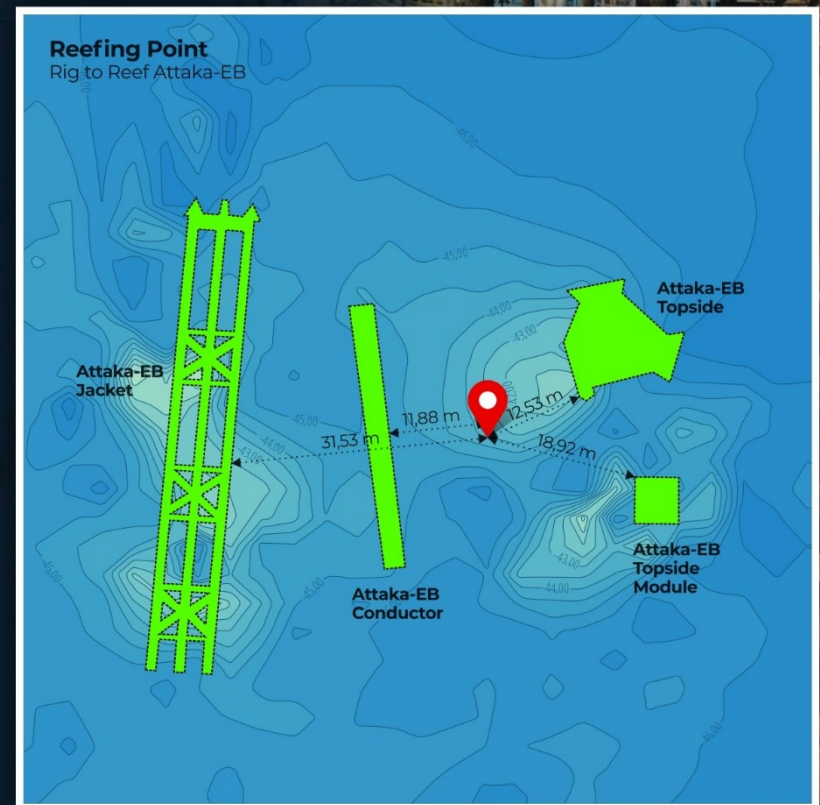
Timeline	Total Period	5 Years (2021-2025)
	Decommissioning & Rig to Reef	2 Years (2021-2022)
	Monitoring	3 Years (2023-2025)
	Research & Development	5 Years (2021-2025)
Budget	25 Billion KRW (Actual) & 4.275.000 USD (In-Kind)	

Sumber : kiorcc.org



Gambar 14

Lokasi Proyek Percontohan Dekomisioning dan Reutilisasi ALP Attaka-EB



Gambar 15

Dokumentasi Proses Dekomisioning ALP Attaka-EB



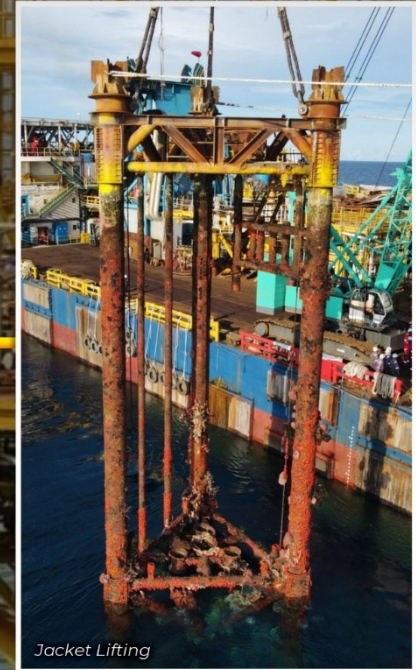
Vessel Departure



Crew Briefing



Anchoring



Jacket Lifting



Jacket Placement



Topside Inspection



Topside Lifting



Topside Lifting



Topside Placement



Jacket Reefing

Sumber : kiorcc.org

Pasca dekomisioning Attaka-EB, maka dibutuhkan upaya pemantauan (monitoring) atas perkembangan *rigs to reefs* guna memastikan kesesuaian antara rencana dan hasil, serta untuk mengidentifikasi berbagai karakteristik dan dinamika yang terjadi. KKP dalam hal ini menggawangi pelaksanaan monitoring yang dilakukan secara rutin sejak tahun 2023 hingga tahun 2025. Monitoring yang dilakukan bertumpu pada pengamatan atas tumbuhkembang habitat karang dan kehidupan baru yang menyelimuti tubuh Attaka-EB. Selain itu, pada tahun 2024, monitoring juga diarahkan pada identifikasi dampak sosial-ekonomi *rigs to reefs*, yakni untuk menilai dampak langsung pada hasil tangkapan ikan, mata pencaharian, dan pengaruh sosial-ekonomi lainnya yang terjadi.



BAGIAN IV

MEMANTAU MEKAR RAGA KARANG ATAKA

BAGIAN IV

MEMANTAU MEKAR RAGA KARANG ATTAKA

Tiga Tahun Perjalanan Pemantauan

Segala jerih payah pada akhirnya berujung pada tuntasnya proses dekomisioning pada 14 November 2022 yang ditandai dengan terbaringnya struktur ALP Attaka-EB di dasar laut perairan Bontang. Maka, perhatian beralih pada hal yang menjadi tujuan atas pembaringan ALP Attaka-EB sesuai dengan yang ditetapkan dan disepakati, yaitu *Rigs to Reefs* (R2R) atau penggunaan kembali struktur sebagai media pengembangan terumbu karang buatan (*artificial reefs*). Detak waktu mulai bergulir untuk menyibak proses transformasi sebuah *platform* menjadi *lifeform*.

Guna memastikan geliat pertumbuhan terumbu karang di ALP Attaka-EB, maka pemantauan (*monitoring*) menjadi

agenda yang ditempuh untuk mengamati, mengukur, dan mendokumentasikan secara langsung dinamika ekologis yang terjadi di lokasi. Aktivitas pemantauan tersebut juga merupakan implementasi komitmen pasca dekomisioning yang telah dicanangkan selama kurun waktu 2023-2025 sebagaimana *Implementing Arrangement (IA) on Pilot Project for Decommissioning and Rig-to-Reef Re-Utilization on Offshore Plants in Indonesia* antara Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Kelautan dan Perikanan, dan *Ministry of Oceans and Fisheries of the Republic of Korea*.

Secara teknis, mandat pengelolaan kegiatan pemantauan R2R terhadap ALP Attaka-EB didelegasikan kepada Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Pengelolaan aktivitas pemantauan selama kurun waktu 2023-2024 melalui KKP diembankan kepada Direktorat Jenderal Pengelolaan Kelautan dan Ruang Laut. Namun, pada tahun 2025, setelah dilakukan reorganisasi KKP, maka pengelolaan kegiatan pemantauan diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Pengelolaan Kelautan melalui Direktorat Jasa Bahari.

Dalam implementasi teknisnya, kegiatan pemantauan R2R merupakan sebuah kolaborasi yang terwadahi dalam Tim Pelaksana Pemantauan yang melibatkan unsur-unsur dari Direktorat Jasa Bahari, BPSPL Pontianak, LPSPL Serang,

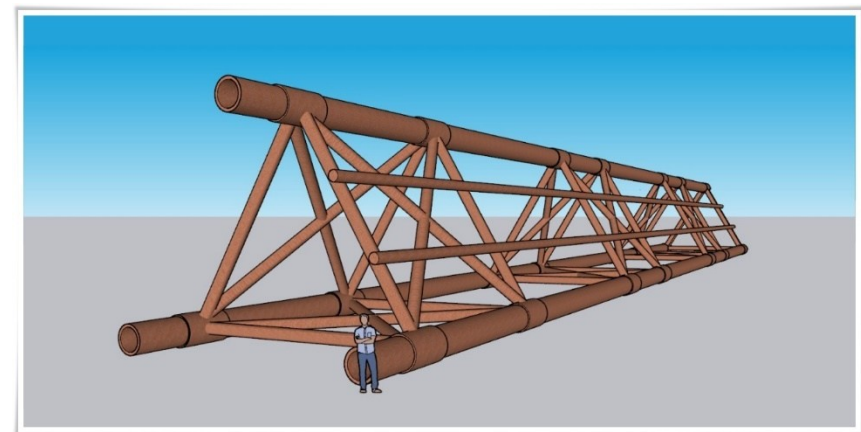
KIORCC (*Korea-Indonesia Offshore Research Cooperation Center*), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman, Oceanogen, dan Dinas Perikanan Kota Bontang. Disamping itu, merangkul instansi daerah terkait juga dipandang sebagai langkah penting, maka dalam hal ini turut melibatkan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Bontang, Polair, Pos Angkatan Laut setempat, serta RSUD Kota Bontang.

Upaya kolaboratif tersebut sejalan dengan tuntutan beban dan risiko kegiatan yang tergolong tak mudah. Objek yang akan dipantau bukanlah seukuran media terumbu karang buatan pada umumnya, tapi struktur baja raksasa yang terdiri dari *jacket*, *topside*, *topside module*, dan *conductor* yang merupakan anggota tubuh ALP Attaka-EB yang diletakkan di dasar laut secara terpisah namun dalam satu rumpun lokasi. Maka dapat dibayangkan, salah satu bagian ALP Attaka-EB adalah *jacket*, merupakan struktur baja yang memiliki panjang 63,88 meter, serta dengan bobot yang mencapai 329 ton, lebih kurangnya setara dengan 3 ekor paus biru yang dijejerkan memanjang.

Risiko pemantauan pun terbilang tinggi, sebab lokasi yang diamati dan diteliti berada pada rentang kedalaman 40-50 mdpl (meter di bawah permukaan laut), tergolong kedalaman ekstrem, antara lain dicirikan dengan intensitas cahaya yang minim dan risiko tekanan air tinggi. Bahwa, risiko tekanan air saat menyelam akan meningkat seiring

kedalaman karena tekanan hidrostatis bertambah 1 atm setiap 10 meter, menyebabkan kompresi gas di tubuh (rongga udara mengecil), barotrauma (cedera telinga/sinus), penyakit dekompresi (DCS) akibat penumpukan nitrogen jika naik terlalu cepat (gelembung di darah), dan narkosis nitrogen (efek mirip alkohol) yang mempengaruhi pikiran dan koordinasi.

Gambar 16 **Ilustrasi 3 Dimensi Struktur *Jacket* ALP Attaka-EB yang menjadi Objek Pemantauan R2R**



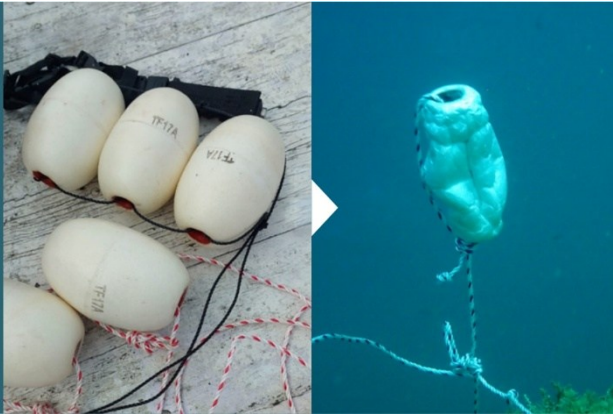
Sumber : Direktorat Jasa Bahari, 2025

Karena itu, tidak sembarang peneliti yang diperkenankan danizinkan untuk terjun langsung, melainkan peneliti dengan keahlian menyelam (*diving*) dan telah bersertifikasi *Deep Diver* dan *Technical Diving*. Peralatan dan prosedur penyelaman pun harus memenuhi standar dan spesifikasi yang relevan, serta mengedepankan aspek perencanaan

dan keselamatan. Setiap kelalaian akan berisiko terhadap terjadinya bahaya fisik yang dapat menimpa peneliti sebagaimana hal-hal yang tersebut di atas.

Mengkerutnya tanda stasiun pengamatan, bukti risiko tekanan air pada kedalaman 42 meter

Foto: Direktorat Jasa Bahari, 2025



Lokasi pembaringan ALP Attaka-EB yang sekaligus lokasi pemantauan R2R berada di perairan Selat Makassar atau tepatnya di sisi timur Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, di mana jarak terdekat dari daratan pesisir ± 7 km. Lokasi pemantauan R2R berdampingan dengan Kawasan Konservasi di Perairan Bontang di Provinsi Kalimantan Timur yang ditetapkan melalui Kepmen KP No. 27 Tahun 2021, seluas 3.499,55 ha. Disamping itu, lokasi pemantauan R2R juga telah mempunyai Izin Konfirmasi Kesesuaian Ruang Laut (KKRL) No B.997/MEN-KP/X/2022, dengan penggunaan lokasi untuk kegiatan alih fungsi Anjungan Minyak Lepas Pantai sebagai Terumbu Buatan.

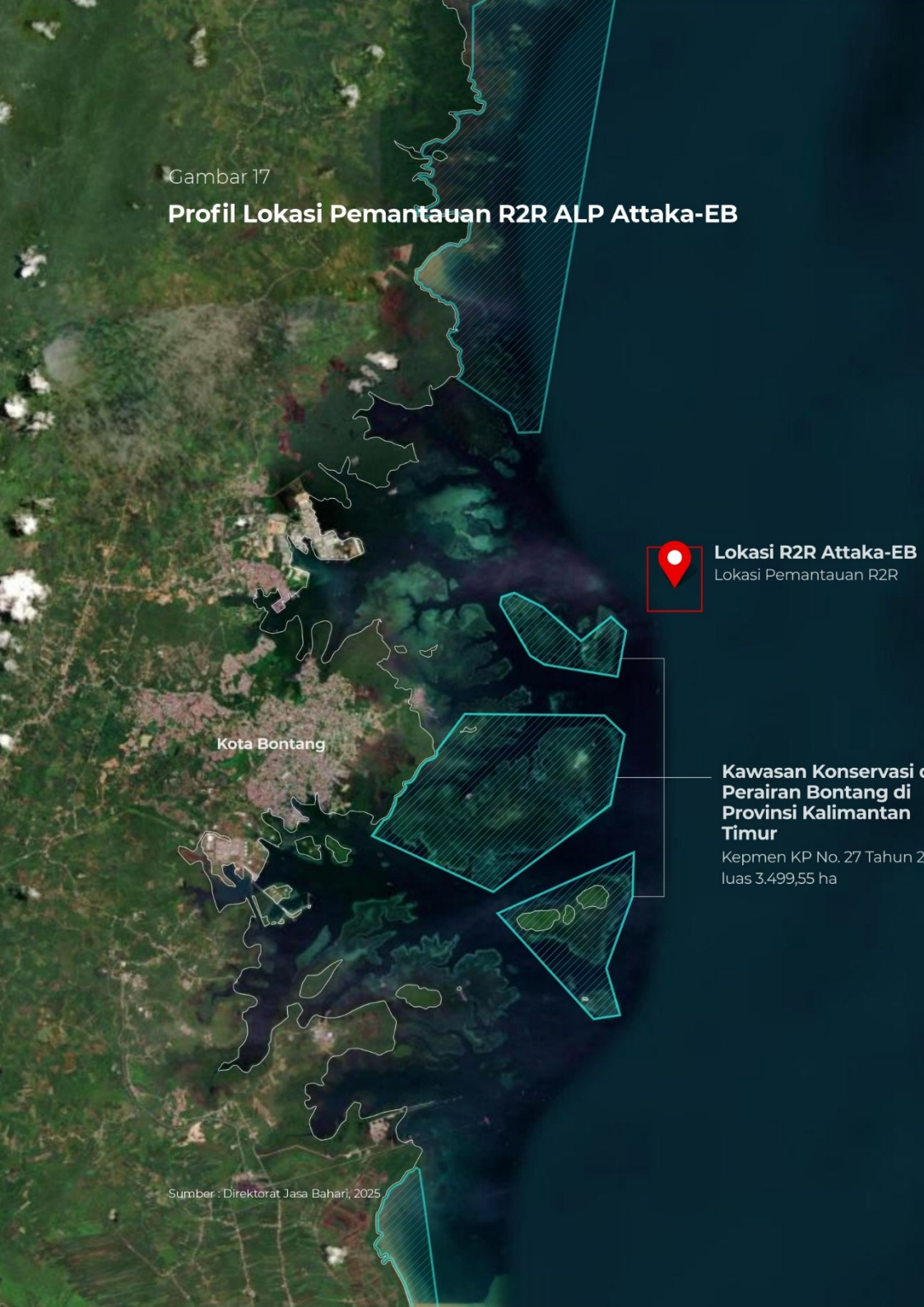
Pemantauan merupakan serangkaian aktivitas yang sistematis dan terukur untuk menilai progres pencapaian berdasarkan tujuan yang ditetapkan. Atas sebab itu, untuk mempresisikan hasil kerja, maka pemantauan R2R diorientasikan untuk mengamati dan mengukur tingkat perkembangan kondisi ekologis (ekosistem terumbu karang) pada objek R2R. Tujuan utama pemantauan R2R difokuskan pada pengamatan:

1. Tutupan dan struktur komunitas biota benthik berupa rekrutmen pada objek R2R;
2. Jumlah, jenis dan struktur komunitas ikan karang pada objek R2R;
3. Jenis dan kelimpahan relatif ikan dan biota asosiasi menggunakan pendekatan *Environmental-DNA (e-DNA) Metabarcoding* di sekitar objek R2R.

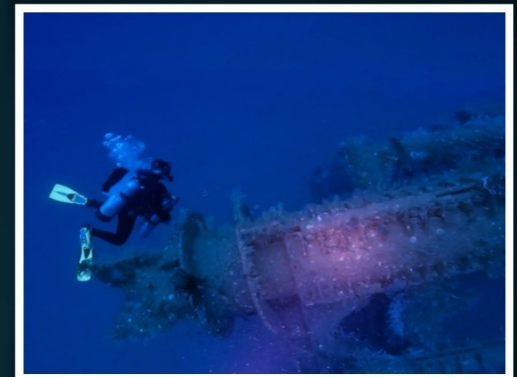
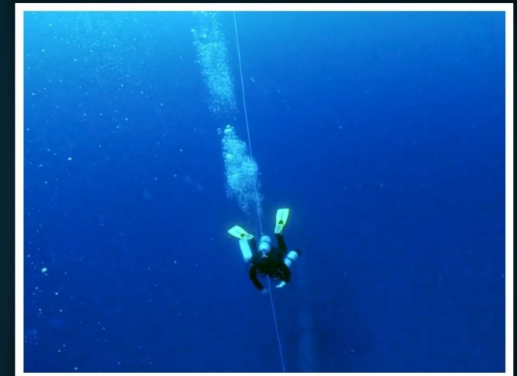
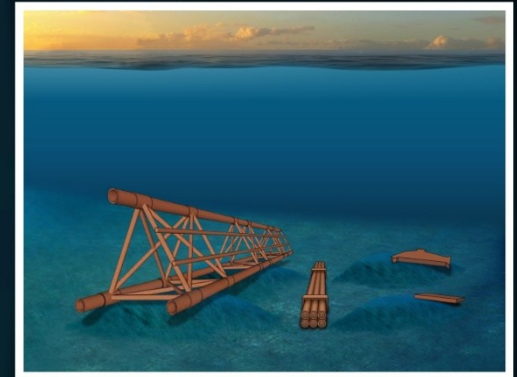
Cakupan dan prosedur pemantauan R2R disandarkan pada ketentuan yang diatur dalam Keputusan Direktur Jenderal Pengelolaan Ruang Laut Nomor 6 Tahun 2023 tentang Petunjuk Teknis Pemantauan Terumbu Buatan yang berasal dari kegiatan *Rigs to Reefs*. Namun, dalam implementasinya, cakupan aktivitas pemantauan juga diimbuhkan untuk mengamati hal-hal lain yang dinilai berelevansi dengan tujuan R2R, seperti pemantauan sosial ekonomi. Secara garis besar, cakupan pemantauan selama tahun 2023-2025 terdiri dari:

Gambar 17

Profil Lokasi Pemantauan R2R ALP Attaka-EB



Sumber : Direktorat Jasa Bahari, 2025



1. Pemantauan kualitas air;
2. Pemantauan batimetri;
3. Pemantauan terumbu karang;
4. Pemantauan Ikan Karang;
5. Uji e-DNA *metabarcoding*; dan
6. Pemantauan sosial ekonomi.

Selanjutnya, bagian penting dari aktivitas pemantauan R2R adalah penetapan stasiun pemantauan data. Dengan kondisi medan pemantauan yang memiliki bentang atau cakupan yang luas, kedalaman lebih dari 40 meter, dan mengandung risiko tinggi, maka stasiun pemantauan data ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor sebagai berikut:

1. Faktor keterwakilan dari stasiun pemantauan data substrat pada sisi atas dari bagian puncak struktur *jacket* objek R2R dapat menginterpretasikan kondisi rekrutmen pada ekosistem terumbu karang di seluruh objek R2R.
2. Faktor keamanan dan kemudahan dengan pemilihan stasiun pemantauan di perairan yang aman dari arus air laut serta dengan pemasangan tanda pada setiap titik stasiun pemantauan berupa pelampung putih yang diikat di setiap stasiun pemantauan, sehingga stasiun-stasiun tersebut mudah ditemukan kembali di posisi yang sama pada pemantauan berikutnya atau dapat disebut dengan stasiun permanen.

3. Faktor keselamatan dan kenyamanan kerja saat penyelaman pengambilan data dengan kedalaman sekitar 45 meter di bawah permukaan laut perlu memperhatikan aspek kesehatan penyelam, kelayakan peralatan, kondisi lingkungan perairan, serta sistem kedaruratan.

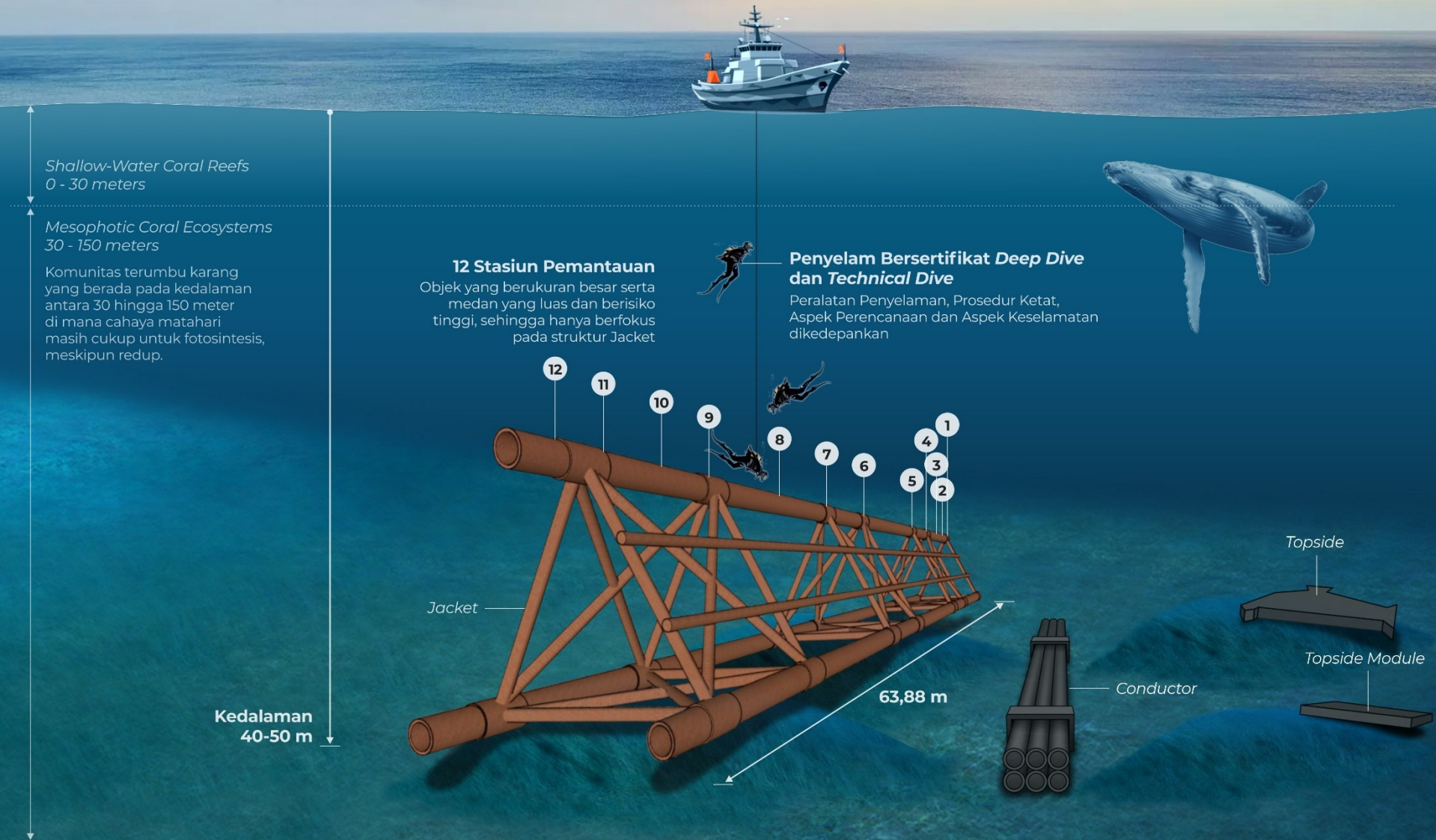
Berdasarkan faktor-faktor di atas maka ditentukan situs monitoring hanya terkonsentrasi pada salah satu objek R2R, yaitu lokasi struktur *jacket*. Stasiun pemantauan terumbu karang kemudian ditetapkan sebanyak 12 titik, di sepanjang sisi atas struktur *jacket*.

Hasil Pemantauan Kualitas Air

Pemantauan kualitas air dilakukan terhadap parameter-parameter kualitas air yang mempengaruhi pertumbuhan karang yaitu suhu, salinitas, kedalaman, pH, TDS, DO dan konduktivitas. Pengambilan sampel kualitas air dilakukan di permukaan dan pada kedalaman ± 40 meter di sekitar posisi obyek R2R bersamaan dengan pengambilan sampel e-DNA. Pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali secara insitu menggunakan *Water Quality Checker* (WQM AZ 86031).

Gambar 18

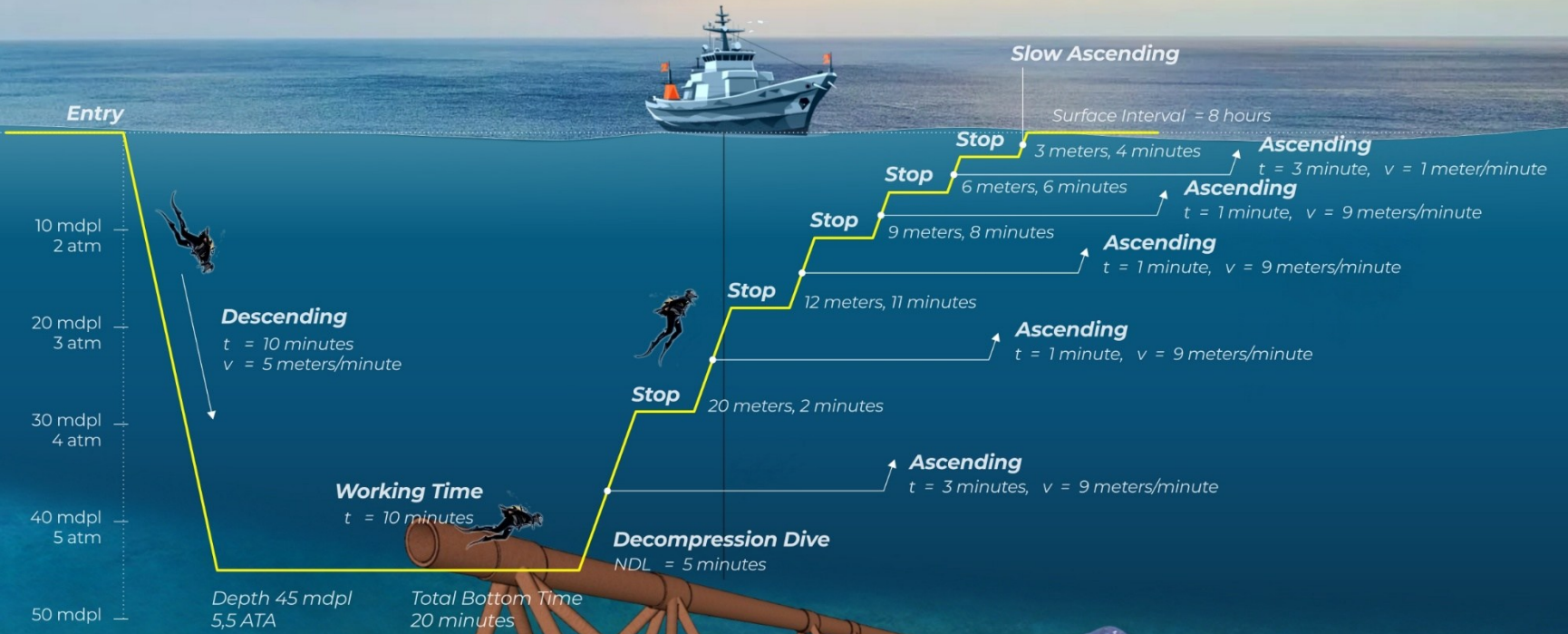
Ilustrasi Situasi Lokasi Pemantauan R2R ALP Attaka-EB dan Penetapan Stasiun Pengamatan



Sumber : Direktorat Jasa Bahari, KKP, 2025

Gambar 19

Prosedur Teknis Penyelaman (*Decompression Dive*) dalam Pemantauan R2R ALP Attaka-EB



Total Time:

Descending	10 Minutes
Working Time	10 Minutes
Ascending	10 Minutes
Stop	31 Minutes
	+
61 Minutes	

Sumber : Direktorat Jasa Bahari, KKP, 2025

Gambar 20

Realisasi dan Lingkup Kegiatan Pemantauan R2R ALP Attaka-EB, 2023-2025

	2023	2024	2025	
Pelaksanaan	22 - 26 Juli 2023	30 April - 5 Mei 2024	31 Juli - 4 Agustus 2025	
Lingkup Kegiatan	Pemantauan Kualitas Air	✓	✓	✓
	Pemantauan Batimetri	✓	✓	
	Pemantauan Terumbu Karang	✓	✓	✓
	Pemantauan Ikan Karang	✓	✓	✓
	Uji e-DNA Metabarcoding	✓	✓	✓
	Pemantauan Sosial Ekonomi		✓	



Water Quality
Checker WQM AZ
86031, alat peman-
tauan kualitas air
yang digunakan

Foto: Direktorat Jasa
Bahari, 2025



Hasil pengukuran parameter pH (derajat keasaman atau kebasaan) pada kualitas air ditunjukkan dengan kisaran rentang nilai 7,04 hingga 7,17 selama 3 tahun pengamatan, dengan nilai tertinggi didapatkan pada tahun 2025 yang menunjukkan sedikit perubahan namun tidak terlalu signifikan dari nilai 7,08 di tahun 2024. Kisaran nilai tersebut terkategori normal berdasarkan PP No. 21 Tahun 2022 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VIII tentang Baku Mutu Air Laut, di mana nilai pH 7 merupakan kadar normal dan menunjang bagi pertumbuhan biota perairan, begitu pun terumbu karang.

Hasil pengukuran parameter suhu dari tahun 2023 hingga tahun 2025 didapatkan rentang nilai 25-31 °C, di mana perubahan rentang suhu perairan dari tahun ke tahun tidak terlalu signifikan. Hasil pengukuran suhu dari tahun

ke tahun terlihat berbeda, disebabkan pada tahun 2023 pengukuran dilakukan dengan data pengambilan air yang diambil pada saat sudah diangkat ke permukaan, sedangkan pada tahun 2024-2025, suhu diukur berdasarkan hasil dari *dive computer* penyelam saat melakukan pengambilan sampel air.

Berdasarkan literatur, nilai suhu yang dapat ditolerir pada pertumbuhan terumbu karang berada pada rentang nilai 25-30 °C (Effendi, 2003). Menurut Talley (2011), pada laut dalam, suhu berbanding terbalik dengan kedalaman dimana semakin dalam perairan maka suhu akan semakin rendah. Perubahan suhu yang signifikan akan membuat penurunan pertumbuhan reproduksi metabolisme serta produktivitas kalsium karbonat dari terumbu karang. Setiap perubahan suhu hingga 1°C menjauhi suhu optimal sesuai baku mutu akan membuat pertumbuhan terumbu karang terhambat.

Hasil pengukuran parameter DO (*dissolved oxygen* atau oksigen terlarut) menunjukkan rentang nilai 6-7,5 mg/L selama 3 tahun pengamatan, dengan kecenderungan penurunan nilai selama periode pengamatan. Parameter DO untuk perairan terbuka secara normal berada dalam rentang 5,5-8,5 mg/L, dimana konsentrasinya dipengaruhi oleh aktivitas respirasi, dinamika arus permukaan, serta variasi kedalaman perairan.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Kualitas Air, 2023-2025

Parameter	Hasil Pemantauan			Baku Mutu Air Laut * (Biota Laut)
	2023	2024	2025	
pH	7,17	7,08	7,14	7-8,5
Suhu (°C)	25 - 30	30,8-32,4	31	28-30
DO (mg/L)	7,5	7,32	6	> 5
Konduktivitas (mS/cm)	38,8	35,4	51,12	-
Salinitas (ppt)	25,6	28,7	34,6	33-34
TDS (ppm)	30 - 33	19,7	26,1	-

Sumber : Survei Monitoring R2R, 2023-2025

* Menurut PP No. 21 Tahun 2022, Lampiran VIII (Baku Mutu Air Laut)

Hasil studi Tomascik & Sander (1985) mengungkapkan bahwa kawasan terumbu karang umumnya memiliki nilai DO sebesar 6,7 mg/L. Sementara penelitian Doods et al. (2007) menemukan bahwa terumbu karang di laut dalam memiliki kapabilitas adaptasi terhadap kondisi oksigen rendah dengan rentang 2,6-3,2 mg/L. Dengan demikian, hasil pengukuran DO selama 2023-2025 mengindikasikan bahwa kualitas perairan di lokasi R2R optimal dan kondusif untuk mendukung proses rekrutmen terumbu karang serta keberlangsungan hidup biota laut lainnya.

Menurut parameter salinitas, hasil pengukuran selama 3 tahun menunjukkan rentang nilai 25,6-34,8 ppt. Salinitas pada 2 tahun pertama pengamatan menunjukkan nilai

yang rendah dan berada di bawah baku mutu kualitas air, yaitu pada rentang 33-34 ppt. Kondisi tersebut bisa terjadi dikarenakan galat dari alat pengukuran. Nilai pengukuran normal ditunjukkan pada pengamatan tahun 2025 dengan rata-rata nilai salinitas sebesar 34,6 ppt.

Kendati nilai-nilai tersebut tercatat di bawah standar baku mutu untuk pertumbuhan optimal terumbu karang, Talley (2011) menjelaskan bahwa terumbu karang memiliki kemampuan adaptasi terhadap rentang salinitas yang lebih luas, yaitu antara 25-40 ppt. Naitu et, al (2014) juga berpendapat bahwa terumbu karang adalah organisme laut sejati yang membentuk terumbu, dan tidak dapat bertahan hidup dalam kadar garam yang jelas berbeda dari kadar garam air laut normal, yaitu 32-35 ppt. Kadar garam yang rendah dapat membunuh terumbu karang. Diperkuat pula oleh hasil penelitian Ompi dkk. (2019) yang menyimpulkan bahwa kadar garam yang baik untuk terumbu karang terdapat di laut dengan kadar garam air yang tetap di atas 30 ppt tetapi di bawah 35 ppt. Melalui beberapa pendapat di atas, maka kondisi salinitas di lokasi R2R masih berada dalam ambang batas yang mendukung keberlangsungan hidup dan pertumbuhan terumbu karang.

Hasil pengukuran menurut parameter konduktivitas, nilai yang tercatat menunjukkan fluktuasi, yakni dari 38,8 mS/cm pada 2023, menurun menjadi 35,4 mS/cm di 2024,

dan meningkat kembali menjadi 51,2 mS/cm pada 2025. Konduktivitas merupakan parameter yang mengindikasikan kapasitas air dalam menghantarkan arus listrik, di mana nilainya berbanding lurus dengan konsentrasi garam terlarut dan tingkat ionisasi (Wibawa, 2016). Hasil studi Goreau & Hilbertz (2005) mengungkapkan bahwa korelasi signifikan antara nilai konduktivitas dengan proses kalsifikasi karang, khususnya dalam hal pengikatan dan mineralisasi ion kalsium pada koloni karang baru.

Terdapat perbedaan hasil pengukuran data dari 2 tahun awal pengamatan dan mengalami peningkatan nilai signifikan pada tahun 2025, perbedaan ini bisa terjadi dengan adanya galat pada alat perekaman walaupun memiliki spesifikasi yang sama. Namun demikian, diperlukan investigasi lebih mendalam terkait implikasi perubahan konduktivitas terhadap perkembangan terumbu karang buatan pada struktur R2R, mengingat karakteristik spesifik dari habitat artifisial tersebut.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil analisis parameter kualitas air hasil monitoring selama periode 2023-2025 menunjukkan bahwa kualitas perairan di lokasi objek R2R memenuhi baku mutu air laut untuk biota laut sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2022 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VIII tentang Baku Mutu Air Laut. Meskipun terdapat perbedaan, deviasi yang terukur

tidak signifikan secara statistik dan masih berada dalam rentang optimal untuk mendukung pertumbuhan terumbu karang serta kehidupan biota laut.

Hasil Pemantauan Batimetri

Perairan sekitar Kota Bontang memiliki karakter batimetri yang bervariasi, mulai dari zona pesisir dangkal hingga laut dengan kedalaman menengah. Di area pesisir, kedalaman berkisar 0-10 meter dengan kontur dasar laut yang relatif landai. Semakin menjauh ke arah laut, sekitar 8 km ke timur dari garis pantai, kedalaman meningkat secara bertahap hingga mencapai 40-50 meter. Data ini selaras dengan hasil inspeksi ROV pada November 2022 yang menunjukkan kedalaman 42 meter di titik awal (lokasi) penempatan struktur. Dalam upaya deteksi lokasi struktur pada tahun 2023 dan 2024 menggunakan *Garmin GPS MAP 585 Single Frequency* menunjukkan bahwa struktur R2R berada pada kedalaman dengan rentang berkisar antara 40-50 meter.

Analisis interpolasi terhadap data survei batimetri yang didapatkan pada tahun sebelumnya menunjukkan bahwa profil dasar laut di lokasi kegiatan memiliki tipologi yang landai dengan gradien rata-rata kurang dari 1°, dengan rentang kedalaman dasar laut di lokasi penempatan struktur berada pada kisaran 45-50 meter. Kemiringan

dasar laut yang cenderung landai memberikan kestabilan geomorfologi yang baik untuk penempatan struktur R2R, di mana gradien rendah mengurangi risiko pergeseran sedimen dan potensi penurunan (*settlement*) akibat beban dinamis maupun pengaruh arus laut.

Peralatan pengukuran batimetri saat survey pemantauan R2R

Foto: Direktorat Jasa Bahari, 2024



Dari peta batimetri dan profil penampang melintang (*cross section*) menunjukkan adanya anomali kedalaman berupa gundukan (*mound*) yang diindikasikan sebagai objek atau struktur R2R yang terekam oleh sensor *echosounder* dengan puncak struktur pada kisaran kedalaman 42 meter, di mana gundukan di sisi barat adalah struktur *jacket* sebagai obyek pemantauan R2R dan gundukan di timur adalah posisi *topside* yang juga ditempatkan di lokasi.

Secara umum, profil batimetri lokasi R2R relevan terhadap ketentuan kesesuaian dalam Peraturan Menteri Kelautan

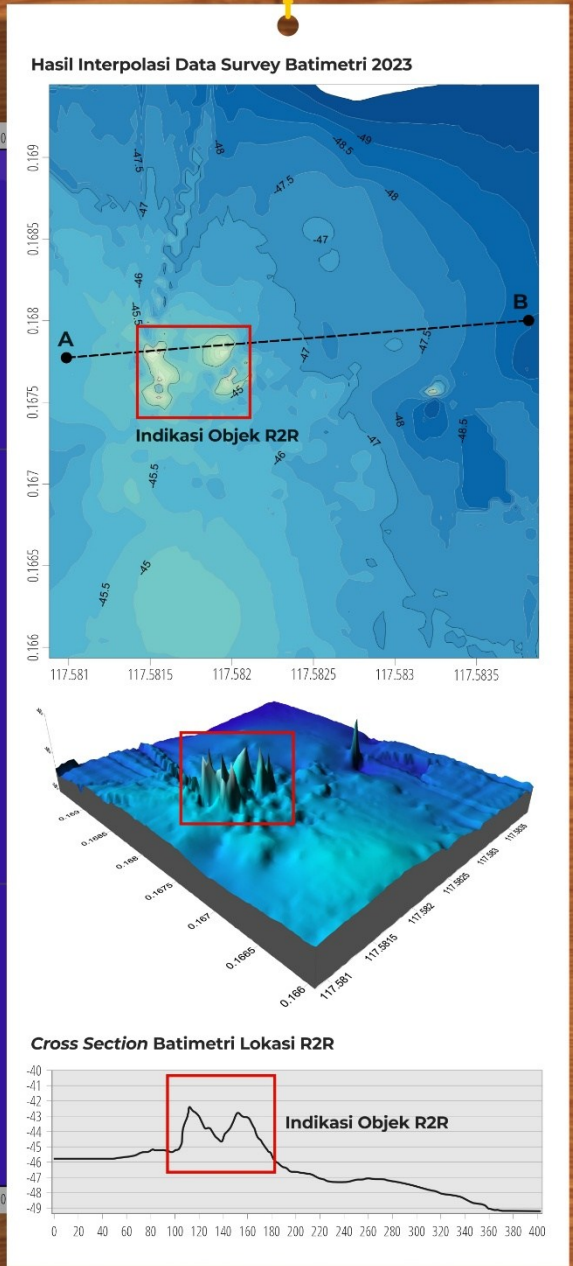
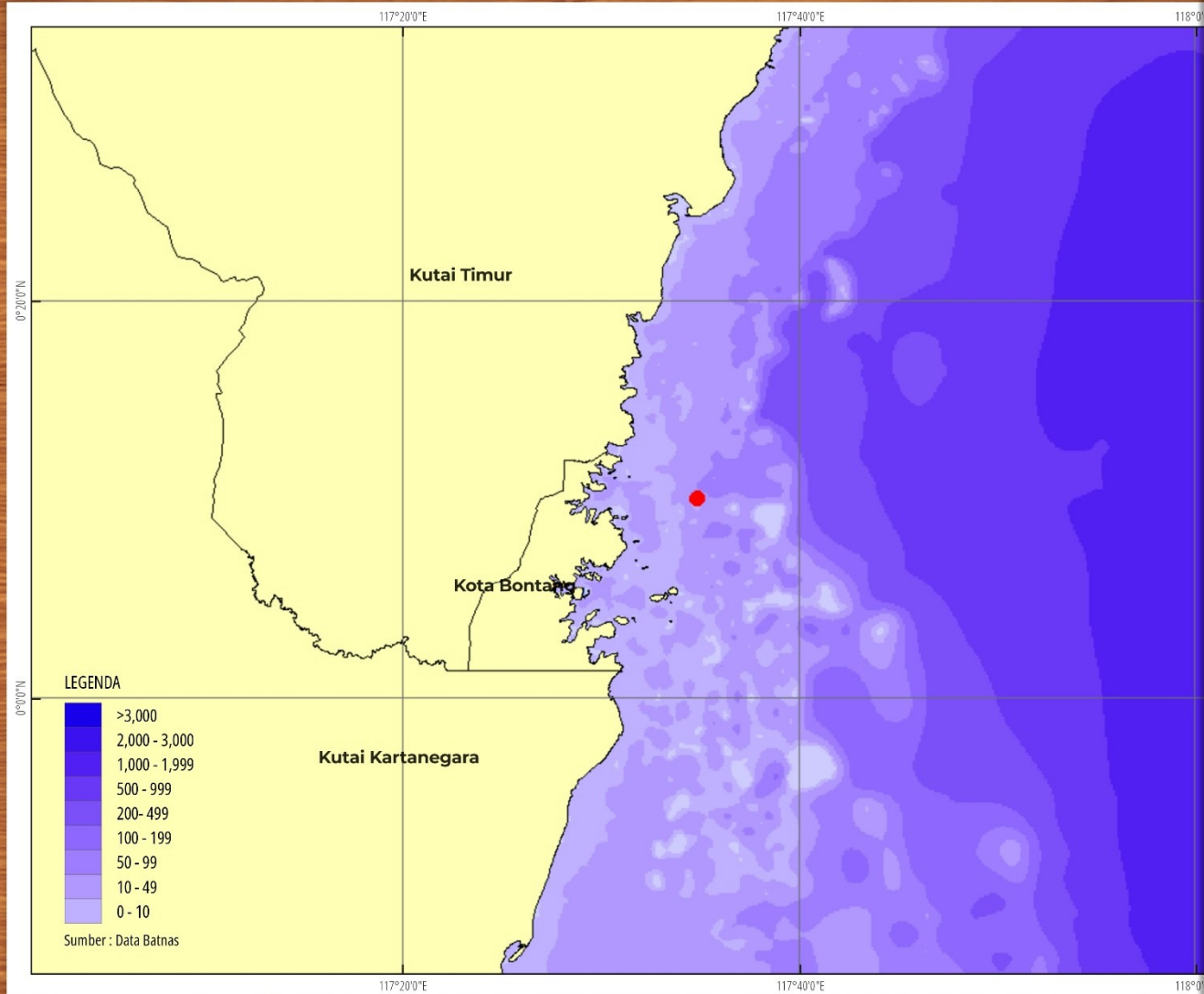
dan Perikanan Nomor 55 Tahun 2021 tentang Kajian Pengalihfungsian Bangunan dan Instalasi di Laut, di mana kesesuaian alih fungsi bangunan laut menjadi terumbu buatan antara lain sebagai berikut:

1. Kemiringan dasar laut paling besar tidak lebih dari 1 (satu) derajat;
2. Kedalaman/batimetri sampai dengan 40 (empat puluh) meter;
3. Kondisi sedimen berpasir;
4. Kondisi biologi perairan terhadap keberadaan larva karang dan larva ikan.

Berdasarkan kedalaman lokasi survei R2R (40-50 meter), maka, dalam sudut pandang klasifikasi laut menurut intensitas cahaya matahari termasuk dalam kategori zona mesofotik atau zona disfotik, yaitu zona yang hanya mendapatkan sejumlah kecil penerangan sinar matahari. Zona ini berada di bawah zona fotik (zona yang paling banyak menerima cahaya) dan di atas zona afotik (zona tanpa cahaya). Saking sulitnya sinar matahari tembus ke zona ini, maka zona ini dikenal juga sebagai *twilight zone* (zona remang-remang). Pada zona mesofotik masih memungkinkan terjadi fotosintesis tingkat rendah oleh organisme tertentu, seperti simbion alga *zooxanthellae*. Di samping itu, masih memungkinkan pertumbuhan karang keras meskipun dengan tingkat kerapatan yang lebih rendah dibandingkan zona eufotik (zona dangkal).

Gambar 21

Batimetri, Hasil Interpolasi dan Cross Section Lokasi R2R ALP Attaka-EB

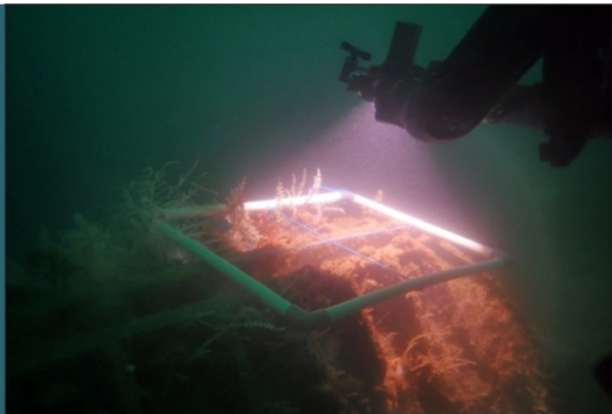


Hasil Pemantauan Terumbu Karang

Pemantauan terumbu karang dilakukan dengan metode *Point Intercept Transect (PIT)* menggunakan kuadran interval yang dianalisis melalui perangkat lunak CPCe, dengan *output* berupa data komposisi jenis substrat termasuk persentase tutupan jenis-jenis karang hidup. Pemantauan terumbu karang dilakukan pada 12 titik pengamatan, di mana pemantauan pada tahun ketiga (Juli 2025) dilaksanakan pada saat umur objek ± 32 bulan.

Pemantauan
terumbu karang
dengan metode
*Point Intercept
Transect (PIT)*

Foto: Direktorat Jasa
Bahari, 2025



Hasil analisis data substrat menunjukkan bahwa terdapat 6 kategori mayor substrat dengan komposisi yang terdiri dari karang lunak 53,78%, substrat sedimen lumpur 34,06%, sponge 6,16%, jenis biota lainnya sebesar 2,85%, tutupan karang keras hidup 2,76%, dan substrat karang mati yang ditumbuhi alga 0,39%.

Terdapat perubahan komposisi jenis substrat dari tahun ke tahun pengamatan, di mana karang keras sebagai indikator utama pertumbuhan ekosistem terumbu karang belum terlihat kemunculannya pada 2023, namun pada 2024 ditemukan sebesar 1,96%, dan meningkat menjadi 2,76% pada 2025. Bahwa sejak tahun 2024 telah muncul karang keras sebesar 1,96% dan bertambah 1,19%, sehingga sampai dengan tahun 2025 berjumlah 3,15%, namun dari jumlah tersebut ditemukan karang keras mengalami kematian sebesar 0,39%. Selain karang keras, dinamika perubahan persentase komposisi juga terjadi pada karang lunak, substrat lumpur, dan biota lainnya.

Secara umum, pertumbuhan karang pada objek R2R terus mengalami peningkatan sebagaimana diindikasikan dengan jumlah biota bentik yang meningkat signifikan sejak tahun 2023 hingga 2025. Biota bentik didominasi oleh karang lunak (*soft coral*), terutama jenis *Antipathes* yang sangat mendominasi komposisi biota bentik secara keseluruhan maupun pada komposisi karang lunak.

Kemunculan karang keras (*hard coral*) kian memperkaya komposisi biota bentik pada objek R2R, dan ini menjadi indikator kemajuan yang penting dan yang paling dinanti bagi ekosistem terumbu karang zona mesofotik, sebab merupakan biota yang sangat pesat memproses kalsifikasi dan cepat dalam menghasilkan zat kapur yang merupakan struktur utama dalam pembentukan terumbu.



Gambar 22

Kompilasi Foto 12 Stasiun Pemantauan Terumbu Karang di Lokasi R2R

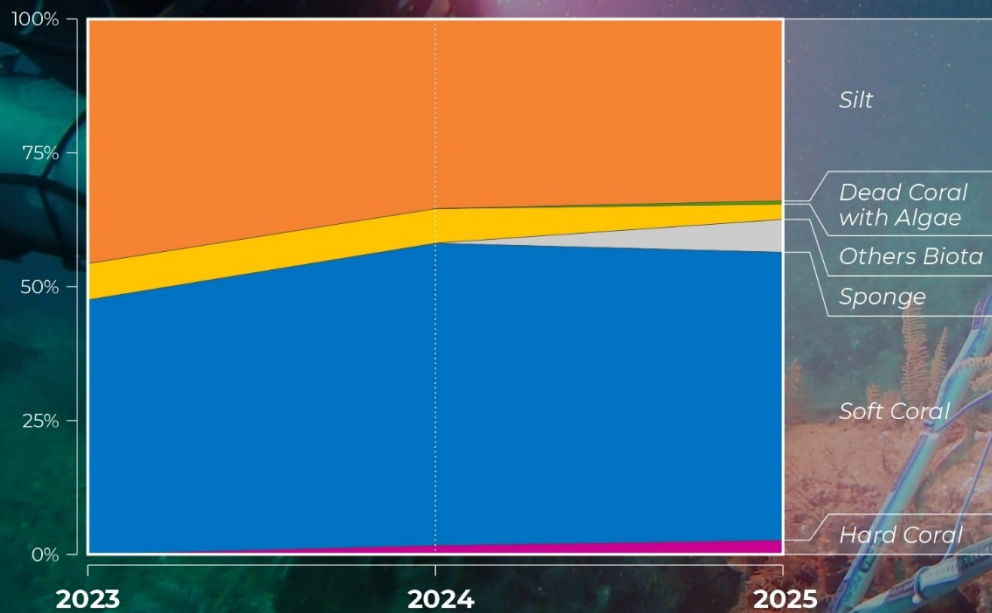


The image displays a 3x4 grid of 12 numbered underwater photographs (1-12) showing various coral reef structures. In the center, a 3D diagram of a monitoring station is shown, constructed from brown bamboo poles. The station consists of a long horizontal base with several vertical supports and a series of horizontal cross-arms. The poles are numbered 1 through 12, corresponding to the numbered photos. To the right of the diagram, there is a stack of four black cylindrical buoys. The background is a deep blue-green underwater scene.

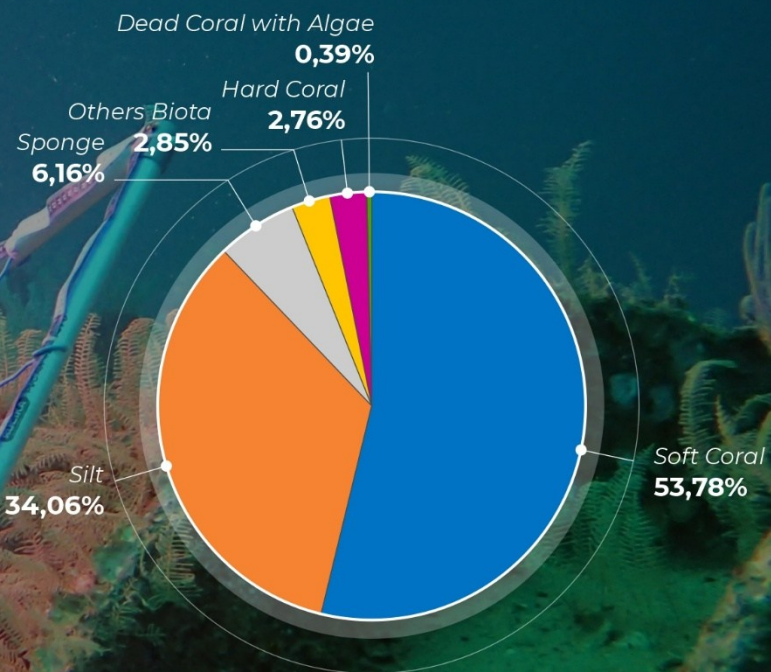
Gambar 23

Perkembangan Komposisi Substrat pada Objek R2R, 2023-2025

Perkembangan Komposisi Substrat 2023-2025



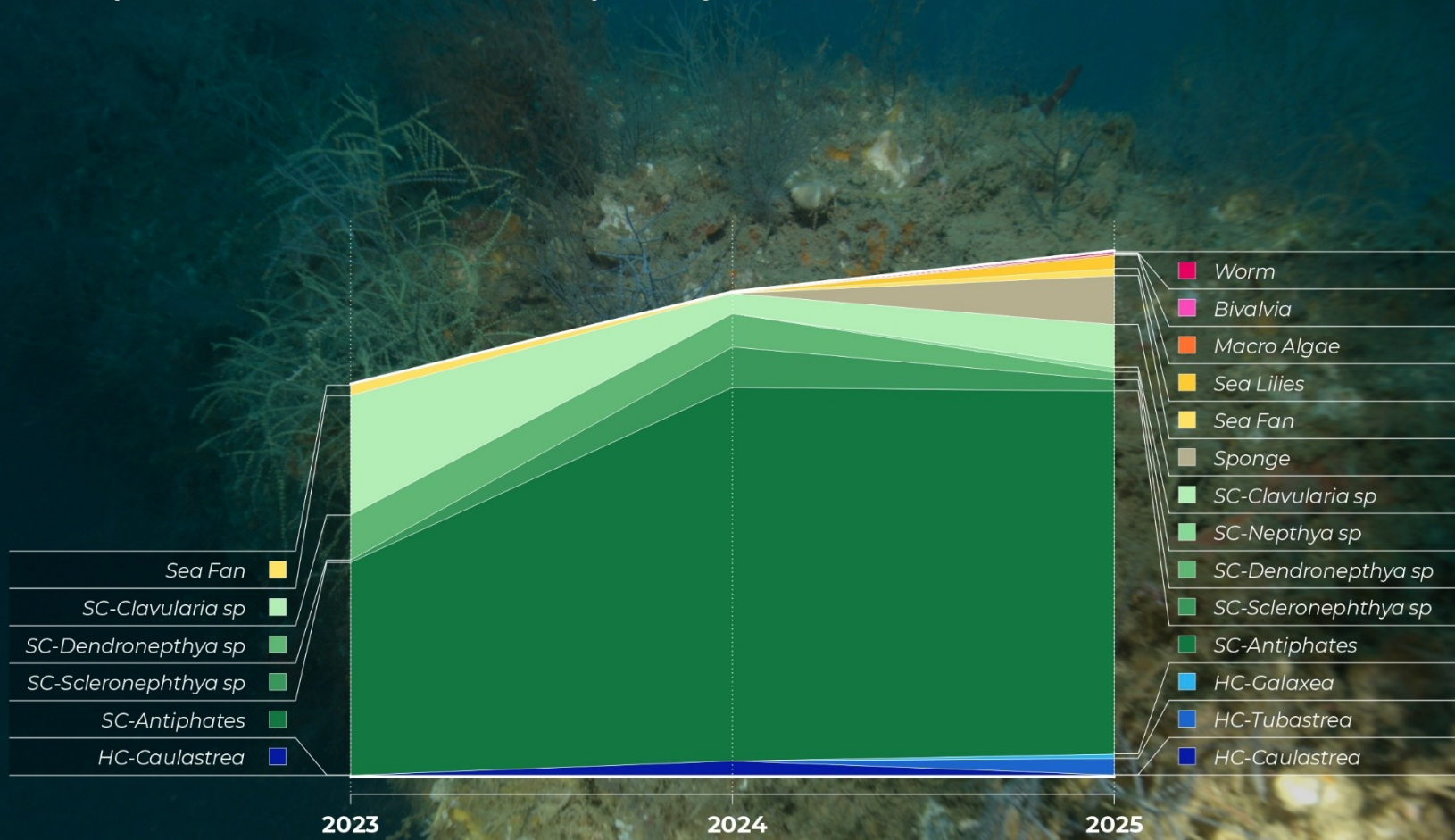
Komposisi Substrat 2025



Sumber : Pengolahan Hasil Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Gambar 24

Perubahan Komposisi Biota Bentik menurut Famili pada Objek R2R, 2023-2025



Sumber : Pengolahan Hasil Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Meskipun dengan tingkat dan pola perkembangan yang berbeda-beda, namun keberadaan dan keragaman biota bentik pada masing-masing stasiun pengamatan merupakan pertanda atas eksistensi ekosistem baru yang berprogres. Fluktuasi yang terjadi pada masing-masing stasiun selama kurun waktu 2023-2025 dapat berupa bertambah atau berkurangnya jumlah atau keragaman famili biota bentik. Jumlah famili tertinggi ditemukan pada Stasiun 5, yakni sebanyak 10 famili dan yang terendah pada Stasiun 2 dan Stasiun 10 sebanyak 5 famili. Adapun rata-rata jumlah famili adalah sebesar 6,75 per stasiun hingga tahun 2025, dan menunjukkan peningkatan dibandingkan tahun 2023.

Dinamika yang terjadi terhadap komunitas karang pada struktur R2R antara lain peningkatan ukuran karang keras dan munculnya koloni baru karang lunak, sebagaimana yang terjadi di beberapa stasiun pengamatan. Bersamaan dengan fenomena tersebut, pada stasiun lainnya didapati beberapa koloni yang sebelumnya telah tumbuh tampak mengalami penurunan tutupan atau bahkan hilang. Perpaduan antara peristiwa munculnya koloni baru dan hilangnya sebagian koloni lama ini merupakan bagian dari proses suksesi ekologi yang masih berlangsung sebagai dinamika alami ekosistem terumbu karang buatan yang bergerak menuju kestabilan ekologis, dengan peningkatan kompleksitas habitat serta fungsi ekologinya dari tahun ke tahun.

Fenomena lainnya yang teramati adalah perkembangan penutupan struktur R2R dengan bertumbuhkembangnya biota. Analisis visual menunjukkan seluruh permukaan bagian bawah struktur telah tertutup sedimen, di mana pada bagian tepi umumnya memiliki tutupan yang lebih baik di banding pada bagian tengah platform. Objek pemantauan terumbu karang (*jacket*) berada pada kedalaman sekitar 42 meter, sehingga terjadi keterbatasan faktor-faktor dalam mendukung kehidupan terumbu karang seperti minimnya kecerahan atau intensitas cahaya matahari. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa hampir pada seluruh permukaan *jacket* Attaka-EB telah tertutupi oleh sedimen lumpur atau *silt*. Keberadaan sedimen *silt* secara tidak langsung akan mempengaruhi kemampuan karang untuk melakukan penempelan (Supriharyono, 1986) sehingga kondisi pada setiap titik pemantauan memiliki perbedaan komposisi.

Selain itu, pada bagian tepi objek *jacket* memiliki tutupan biota bentik yang lebih baik dibandingkan pada bagian atas. Kondisi ini terjadi karena proses sedimentasi yang terjadi pada bagian permukaan objek, sehingga menghambat proses rekrutmen karang. Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi rekrutmen dan pertumbuhan karang adalah objek *jacket* terdapat pada lokasi yang cukup terlindung dari arus sehingga memberi peluang lebih besar bagi polip karang untuk menempel, dapat hidup, dan bertumbuh.

Sebagai perbandingan referensi yang diperoleh dari Laporan Kegiatan Pupuk Kalimantan Timur Tahun 2021 (PKT 2021) pada Pemantauan Terumbu Karang di perairan Tobok Batang menunjukkan bahwa penempelan karang pada terumbu buatan yang berumur ± 1 tahun ditemukan 12 koloni yang terdiri dari 5 koloni *hard coral* (HC) dan 7 koloni *soft coral* (SC). Kegiatan rehabilitasi terumbu karang yang dilakukan PKT ini berada pada kedalaman ± 5 m dengan menggunakan modul berbahan *concrete* (semen cor) berbentuk rangka kubus dan *dome* (stupa). Fenomena yang terjadi menunjukkan bahwa jenis SC juga muncul lebih banyak dan cepat pada pemantauan tahun pertama yang memiliki lokasi lebih sesuai dengan kriteria lokasi rehabilitasi terumbu karang. Hal demikian juga terjadi pada obyek R2R, di mana biota benthik yang paling mendominasi adalah SC, yaitu sebesar 47,60% pada tahun 2023, 56,14% tahun 2024, dan 53,78% di tahun 2025.

Secara keseluruhan, alih fungsi struktur ALP Attaka-EB menjadi terumbu karang buatan telah menampakkan dinamika dan kemajuan sebagaimana yang diperkirakan dan diharapkan. Dari hasil pemantauan terumbu karang selama kurun waktu 2023-2025 telah mulai memperlihatkan keragaman hayati pada objek R2R sebagaimana eksistensi himpunan biota benthik yang berkomposisikan 3 famili karang keras, 8 famili karang lunak, dan 5 famili biota lainnya. Seluruh famili yang hadir membentuk tatanan kehidupan baru tersebut memiliki komposisi tutupan yang

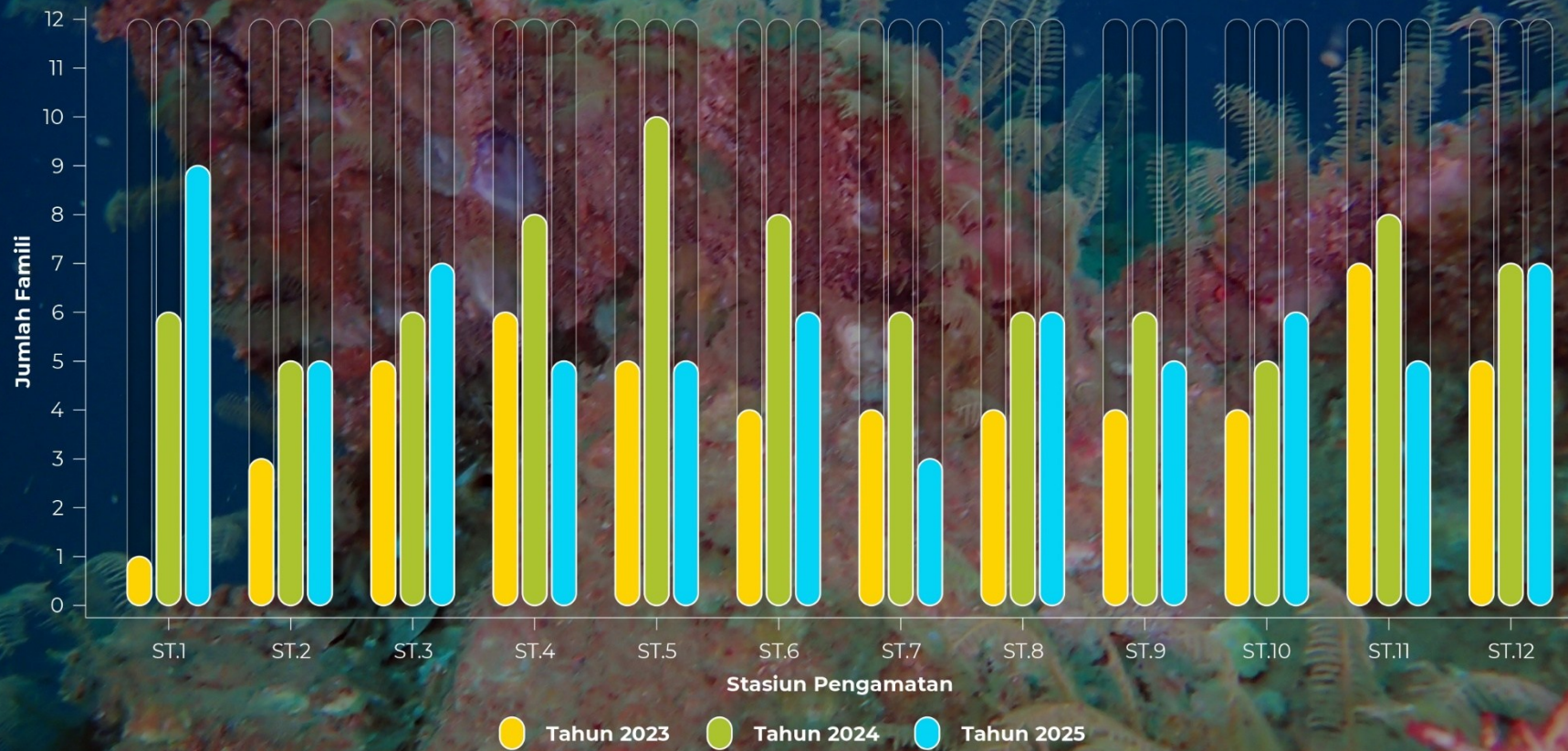
terdiri dari 2,76% karang keras, 53,78% karang lunak, dan 9,01% biota lainnya hingga tahun 2025. Dari riwayat perkembangan raga karang Attaka-EB yang terjadi selama kurun waktu 2023-2025, maka geliatnya diperkirakan akan terus berlangsung hingga suksesi dan stabilitas ekologisnya tercapai.



A. Karang Keras (*Hard Coral*)

Pada tahun 2025 ditemukan 3 jenis karang keras sehingga diketahui jumlah karang keras meningkat dari hanya 1 jenis pada tahun 2024. Jenis karang keras *Caulastrea* diketahui kemunculannya menurut hasil monitoring tahun 2024, yaitu sebesar 1,96%, sedangkan kemunculannya menurut monitoring tahun 2025 menurun, yakni hanya sebesar 0,13%, sehingga kemungkinan terdapat kematian sebesar 1,83% sebagai penyumbang *Dead Coral with Algae* (DCA).

Gambar 25

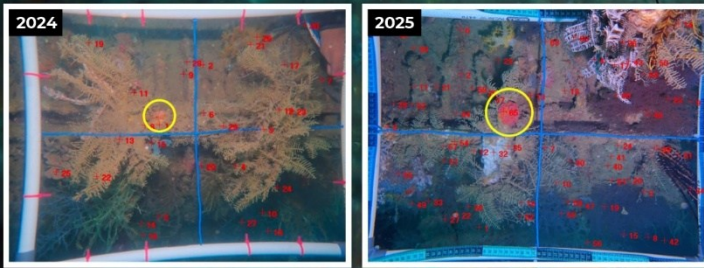
Perkembangan Jumlah Famili pada Objek R2R, 2023-2025

Sumber : Pengolahan Hasil Survei Monitoring R2R, 2023-2025

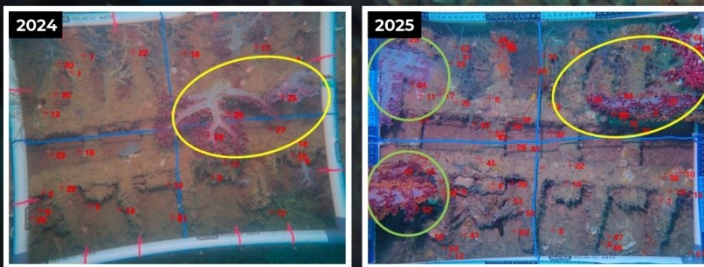
Gambar 26

Dinamika Pertumbuhkembangan Karang pada Objek R2R, 2023-2025

Fenomena Penurunan Tutupan/Menghilangnya Koloni di Stasiun Pengamatan 1



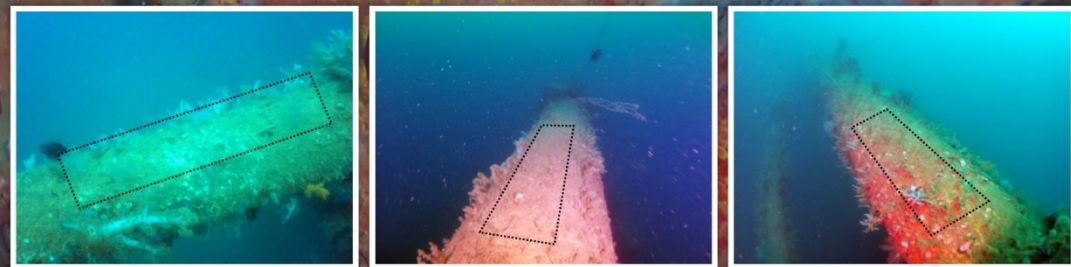
Fenomena Kemunculan Koloni Baru (Rekrutmen) di Stasiun Pengamatan 5



Penutupan oleh Biota pada Salah Satu Penanda Stasiun Pengamatan dari Tahun ke Tahun



Perbandingan Intensitas dan Cakupan Penutupan Substrat pada Bagian Tengah dan Tepi Platform (Objek R2R)



Sumber: Dokumentasi Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Tabel 2 Komposisi Substrat menurut Kategori Mayor, Famili dan Genus, 2023-2025

Kategori Mayor	Famili	Genus	Komposisi Substrat (%)		
			2023	2024	2025
Hard Coral	Merulinidae	<i>Caulastrea</i>		1,96	0,13
	Dendrophylliidae	<i>Tubastrea</i>			2,11
	Euphylliidae	<i>Galaxea</i>			0,52
Soft Coral	Antipathidae	<i>Antipathes</i>	26,76	46,76	45,42
	Nephtheidae	<i>Scleronephthya</i>	0,28	5,03	1,28
	Nephtheidae	<i>Dendronephthya</i>	5,63	4,19	1,06
	Nephtheidae	<i>Nepthea</i>			0,53
	Clavulariidae	<i>Clavularia</i>	14,93	2,51	5,49
	Gorgonidae (Sea Fan)		1,41		
	Plexauridae (Sea Fan)			0,28	
Others Biota	Sponge				6,16
	Crinoid				1,67
	Bivalvia				0,13
	Feather Duster Worm				0,13
	Caulerpa (Macro Algae)				0,13
	Others Biota		5,35	6,15	
Dead Coral with Algae					0,39
Silt			45,07	35,47	34,06

Sumber : Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Tabel 3 Komposisi Temuan Biota Bentik menurut Stasiun Pengamatan, 2023-2025

Kategori	Famili	Genus	Stasiun 1			Stasiun 2			Stasiun 3			Stasiun 4			Stasiun 5			Stasiun 6			
			'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	
Soft Coral	Antipathidae		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Clavulariidae				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Gorgonidae														✓						
	Melithidae *								✓												
	Nephtheidae			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Nidaliidae *											✓	✓	✓							
	Plexauridae										✓		✓		✓	✓				✓	✓
Hard Coral	Merulinidae	<i>Caulastrea</i>		✓	✓					✓	✓					✓				✓	
	Euphylliidae	<i>Galaxea</i>			✓																✓
	Dendrophylliidae	<i>Tubastraea</i>			✓			✓			✓					✓	✓				
Others	Molusca - Bivalvia						✓														
	Molusca **												✓								
	Feather Duster Worm				✓			✓								✓				✓	
	Crinoid				✓	✓			✓												
	Sponge			✓	✓		✓	✓			✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓
	Tunicata			✓		✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓	

Kategori	Famili	Genus	Stasiun 7			Stasiun 8			Stasiun 9			Stasiun 10			Stasiun 11			Stasiun 12			
			'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	'23	'24	'25	
Soft Coral	Antipathidae		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Clavulariidae		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	Gorgonidae																				
	Melithidae *														✓						
	Nephtheidae		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Nidaliidae *													✓	✓	✓		✓			
	Plexauridae												✓								
Hard Coral	Faviidae	<i>Caulastrea</i>		✓			✓			✓					✓				✓		
	Euphylliidae	<i>Galaxea</i>																			
	Dendrophylliidae	<i>Tubastraea</i>						✓			✓			✓			✓		✓	✓	
Others	Molusca - Bivalvia																				
	Molusca **																				
	Feather Duster Worm															✓	✓			✓	
	Crinoid														✓						
	Sponge			✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	
	Tunicata		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	

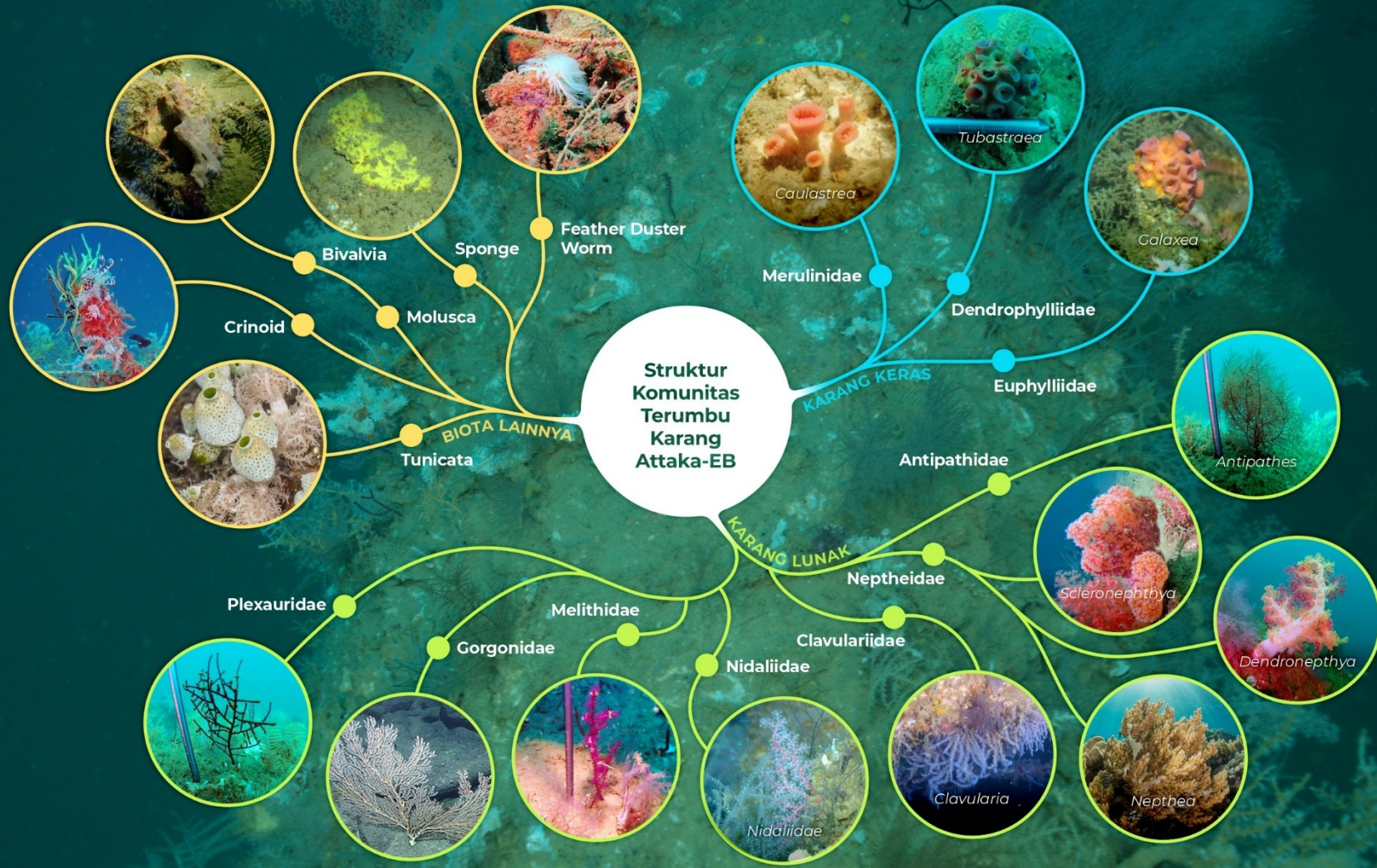
Keterangan : * Teridentifikasi secara visual diluar titik CPCe dan/atau di luar transek

** Tidak teridentifikasi secara spesifik

Sumber : Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Gambar 27

Struktur Komunitas Terumbu Karang pada Objek R2R menurut Hasil Pemantauan 2023-2025



Keterangan :

— Karang Keras — Karang Lunak — Biota Lainnya

Sumber : Monitoring R2R, 2023-2025

Jenis karang keras *Tubastraea* dan *Galaxea* baru ditemukan pada tahun 2025, masing-masing sebesar 2,11% dan 0,52%. Secara keseluruhan, perkembangan substrat karang keras menunjukkan hal yang luar biasa, di mana pada perairan yang dalam dapat ditumbuhi 3 jenis karang keras dengan kisaran total 2,76% dan tren yang meningkat.

Karang keras menurut amatan 2023-2025 ditemukan pada 11 dari 12 stasiun pengamatan, namun keberadaannya dari tahun ke tahun umumnya cenderung berfluktuasi di tiap-tiap stasiun pengamatan. Genus *Caulastrea* tahun 2025 ditemukan pada 2 stasiun, mengalami penurunan jika dibandingkan tahun 2024 yang ditemukan pada 9 stasiun. Genus *Tubastraea* tahun 2025 ditemukan pada 9 stasiun, mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan tahun 2024 yang ditemukan pada 2 stasiun. *Galaxea* ditemukan pada 2 stasiun dan merupakan jenis yang baru ditemukan dan terkonfirmasi pada tahun 2025.

Sebagai gambaran, berikut profil genus karang keras yang ditemukan pada objek R2R:

1. ***Caulastrea***

Dikenal sebagai karang tongkat, terompel, atau karang *bullseye*, yaitu spesies karang berbatu besar dalam keluarga Merulinidae (Veron, 1986; Veron, 2000). Koloni bersifat *phaceloid* dengan koralit memanjang berbentuk tabung dan memiliki koralit pada masing-

masing dindingnya. Koralit mempunyai banyak septa halus dan kolumela yang berkembang. Polip terkadang meluas pada siang hari (Veron, 1986). Struktur kerangka *Caulastrea* terdiri dari batang berbentuk tabung dengan bintang di setiap ujungnya.



Karang Keras
Genus *Caulastrea*
yang Ditemukan
pada Objek R2R

Foto: Dokumentasi
Survei, 2025

Seperti pada karang pembentuk koloni lainnya, koloni *Caulastrea* terdiri dari beberapa polip besar. Setiap polip mempunyai tentakel yang relatif pendek yang mengarahkan makanan ke mulut tengahnya. Makanan tersebut kemudian dicerna dalam rongga tubuh yang berbentuk kantung. *Caulastrea* dapat ditemukan di perairan Indo-Pasifik dan sering ditemukan pada lereng terumbu yang terlindung dengan substrat sebagian berpasir, dan membentuk tegakan individu tunggal dan dapat mencapai lebar lebih dari lima meter.

Caulastrea tercatat mampu hidup hingga kedalaman 30 meter dan dapat ditemukan di laguna. *Caulastrea* memperoleh sebagian besar kebutuhan nutrisinya dari fotosintesis alga bersel tunggal yang disebut zooxanthellae yang hidup bersimbiosis di jaringannya. Namun karang ini juga memakan zooplankton (Veron, 2000; Dai and Horng, 2009). Pada tahun 2023 belum ditemukan rekrutmen dari jenis *Caulastrea*, namun muncul pada pemantauan tahun 2024, ditemukan hampir di seluruh stasiun dan tidak ditemukan pada stasiun 2 dan 10. Pada tahun 2025 jumlahnya menurun dengan asumsi mengalami kematian karang keras kemudian ditumbuhi alga sehingga muncul *Dead Coral with Algae* (DCA).

2. *Tubastraea*

Dikenal sebagai karang matahari atau polip matahari, termasuk dalam genus karang filum Cnidaria dan famili Dendrophylliidae. *Tubastraea* termasuk dalam kelompok karang yang dikenal sebagai karang berbatu polip besar. *Tubastraea* adalah karang keras yang tidak membangun terumbu. Spesies yang berbeda memiliki polip dalam berbagai warna seperti kuning, oranye, dan corak hitam (Veron, 1986; Veron, 2000; HCRN, 2005). *Tubastraea* tidak memiliki zooxanthellae alga simbiosis yang menyediakan energi bagi karang melalui fotosintesis. *Tubastraea* merupakan organisme heterotrofik dan memanjangkan tentakel di malam

hari untuk menangkap zooplankton di sekitarnya. Ukuran polip yang besar memungkinkan *Tubastraea* untuk menangkap zooplankton yang relatif besar.

Tubastraea banyak ditemukan di perairan dalam karena tidak membutuhkan sinar matahari untuk makanannya. *Tubastraea* sering ditemukan berkoloni di permukaan terumbu buatan seperti bangkai kapal (Blomquist et al, 2006; Creed and Paula, 2007; Fenner and Banks, 2004; Shearer, 2009; Varmeij, 2005; Varmeij, 2006).



Seperti kebanyakan karang, *Tubastraea* berkembang biak secara aseksual, termasuk kategori hermafrodit dan menghasilkan planula. Larva *Tubastraea* hidup hingga dua minggu, tetapi biasanya berkoloni dalam jarak 1 meter dari organisme induknya. *Tubastraea*

bereproduksi setelah berumur kurang lebih 1,5 tahun. Reproduksi dapat juga terjadi secara seksual selama musim panas, musim semi, dan musim dingin. Setelah pembuahan, hewan karang betina akan membawa telur-telur tersebut seiring dengan berkembangnya keturunan di dalam rongga gastrovaskularnya dan dilepaskan sebagai larva. Setelah dilepaskan, larva akan menyebar dan akhirnya menetap di dasar laut yang menempel pada struktur tertentu (Ayre and Resing, 1986; Varmeij, 2005; Varmeij, 2006).

3. *Galaxea*

Termasuk dalam famili Oculinidae, *Galaxea* dikenal dengan sebutan karang gigi. *Galaxea* memiliki ciri-ciri dengan kerangka kalsium karbonat yang keras (ordo Scleractinia), polipnya memiliki tentakel panjang dan tipis yang bisa menyengat karang lain di sekitarnya atau disebut dengan nematosista. *Galaxea* memiliki warna yang bervariasi seperti hijau, coklat, keunguan, dan karang berpendar cahaya biru. Umumnya tumbuh berkoloni besar membentuk kubah atau datar.

Galaxea tersebar di wilayah perairan Indo-Pasifik dan Laut Merah, hidup di habitat perairan dangkal hingga kedalaman 30 meter. *Galaxea* juga ditemukan di lereng terumbu, berarus sedang, terkadang berkondisi agak keruh dan bersedimen tinggi. Salah satu spesies yaitu *Galaxea fascicularis* memiliki toleransi tinggi

terhadap sedimen dan cahaya rendah. Jenis *Galaxea* baru ditemukan pada pemantauan tahun 2025.



Karang Keras
Genus *Galaxea*
yang Ditemukan
pada Objek R2R

Foto: Dokumentasi
Survei, 2025

B. Karang Lunak (*Hard Coral*)

Jenis karang lunak yang teridentifikasi pada tahun 2023 dan 2024 sebanyak 4 jenis, sedangkan pada tahun 2025 bertambah satu jenis, sehingga total menjadi 5 jenis. Secara akumulatif, komposisi karang lunak tahun 2023 sebesar 47,6%, kemudian pada 2024 sebesar 58,49%, dan 2025 menjadi sebesar 53,78%. Dengan perkembangan tersebut menunjukkan keberadaan karang lunak yang cenderung konstan di setiap tahunnya.

Dari perspektif hasil identifikasi menurut masing-masing stasiun pengamatan menunjukkan bahwa karang lunak adalah kategori mayor yang dominan ditemukan di

seluruh stasiun pengamatan. *Anthipathidae*, *Clavulariidae* dan *Nephtheidae* merupakan famili yang selalu ditemukan di seluruh stasiun menurut pemantauan selama periode 2023-2025. Sedangkan beberapa famili lain hanya ditemukan di stasiun-stasiun tertentu.

Selanjutnya, profil famili karang lunak yang ditemukan pada objek R2R diuraikan sebagai berikut:

1. **Anthipathidae**

Dikenal juga sebagai karang hitam atau karang duri, merupakan ordo karang lunak yang kerap dijumpai di perairan dalam. Karang-karang ini dapat dikenali dari kerangka kitinnya yang berwarna hitam legam atau coklat tua dan dikelilingi oleh polip hewan karang yang masih hidup.

Karang Lunak
Anthipathidae
yang Ditemukan
pada Objek R2R

Foto: Dokumentasi
Survei, 2025



Antipathidae dapat ditemukan pada hampir setiap lokasi dan kedalaman, kecuali di perairan payau (Wagner and Toonen, 2015). *Antipathidae* paling sering ditemukan di lereng benua dengan kedalaman kurang dari 50 meter. Beberapa spesies *Antipathidae* dapat ditemukan hidup di perairan dangkal sampai kedalaman 8.600 m, tetapi sebagian besar hidup di kedalaman berkisar antara 20 hingga 1.000 m.

Karang hitam ditemukan di terumbu dan mungkin berkontribusi terhadap pembentukan terumbu secara keseluruhan, namun juga sering ditemukan sebagai koloni soliter pada singkapan terisolasi. Pemantauan objek R2R tahun 2023 dan 2024 menunjukkan bahwa kelompok karang hitam atau *Antipathes sp* mendominasi dan ditemukan diseluruh stasiun pengamatan. Begitu pun pada tahun 2025 juga ditemukan hal yang sama, di mana seluruh stasiun pengamatan terdapat tutupan *Antipathes sp*.

Keberadaan arus bawah laut menguntungkan karang. Karang sering kali tumbuh di dekat wilayah geografis yang menyebabkan arus, seperti lereng benua, tebing, gua, atau dataran tinggi bawah laut (Wagner, 2011). Karang hitam bereproduksi secara seksual dan aseksual sepanjang hidupnya. Karang hitam menjadi tempat tinggal, mencari makanan, dan perlindungan bagi hewan lain (Molodstova dan Opresko, 2020).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa spesies karang hitam dangkal seperti *Antipathes grandis* dapat ditemukan mulai dari Samudera Hindia hingga Samudera Pasifik (Erika et al 2020). Pemantauan pada struktur menunjukkan tingginya tutupan *Antipathes* yang ditemukan pada 12 stasiun pengamatan.

2. **Neptheidae**

Termasuk dalam keluarga karang lunak di filum Cnidaria. Anggota keluarga ini dikenal sebagai karang anelir, karang pohon, atau karang lunak. Mereka sangat menarik dan menampilkan berbagai macam warna termasuk merah, merah muda, kuning, dan ungu. Mereka populer di kalangan penghobi akuarium karang.

Sebagian besar karang ini bersifat *arborescent* dan mempunyai tombol-tombol kecil di ujung cabang-cabangnya yang seperti karet. Polip karang cenderung memendek di siang hari sehingga karang ini juga disebut dengan karang brokoli karena kemiripannya dengan sayuran brokoli. Pada malam hari polip bermunculan dan menjulurkan tentakelnya untuk mencari makan yang tampak seperti kumpulan bunga kecil di ujung dahan (Ofwegen, 2010b).

Kelompok dari *soft coral* ini juga banyak ditemukan pada obyek R2R. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa Neptheidae ditemukan di seluruh stasiun pengamatan dengan rentang warna merah-keunguan dan mencolok, dengan spesies yang mendominasi adalah *Scleronephthya sp* dan *Dendronephthya sp*.

3. **Clavulariidae**

Termasuk dalam keluarga karang lunak di filum Cnidaria subordo Stolonifera. Koloni dalam keluarga ini terdiri dari polip terpisah yang dapat ditarik dan tumbuh dari stolon atau membran basal. Jaringan dapat menjadi kaku karena *sklerit* (Ofwegen, 2014). Kelompok karang Clavulariidae mendominasi dan ditemukan hampir di seluruh stasiun pengamatan pada tahun 2023 – 2025, kecuali pada pengamatan tahun 2023 tidak ditemukan di Stasiun 2.

Karang Lunak
Neptheidae yang
Ditemukan pada
Objek R2R

Foto: Dokumentasi
Survei, 2025



Karang Lunak
Clavulariidae yang
Ditemukan pada
Objek R2R

Foto: Dokumentasi
Survei, 2025



4. Melithaeidae

Merupakan keluarga karang di subordo Scleraxonia. Umumnya dikenal sebagai kipas laut dan ditemukan di terumbu karang di kawasan tropis Indo-Pasifik. Anggota famili Melithaeidae merupakan karang kolonial *arborescent* yang membentuk kipas, semak, atau pepohonan. Sumbu atau batang rangka utama bersendi, terdapat simpul, sambungan tanduk yang fleksibel, dan dipisahkan oleh ruas yang tersusun dari bahan keras berkapur. Cabangnya membelah secara dikotomis pada simpulnya dan sering kali membesar. Spikula berkapur kecil di membran fleksibel yang disebut mesoglea yang menutupi kerangka disebut sklerit.

Anggota keluarga ini tidak memiliki alga simbiosis *uniseluler zooxanthellae* sebagaimana yang tumbuh

di jaringan banyak karang lainnya (Ofwegen, 2010a). Sepanjang pemantauan, kelompok dari subordo ini hanya ditemukan di beberapa stasiun pemantauan.



Karang Lunak
Melithaeidae yang
Ditemukan pada
Objek R2R

Foto: Dokumentasi
Survei, 2025

5. Nidaliidae

Merupakan keluarga karang lunak di filum Cnidaria. Beberapa anggota keluarga ini memiliki penampilan yang mirip dengan gorgonian (kipas laut). Mereka sulit dipelihara di akuarium terumbu karena tidak mengandung *zooxanthellae* yang bersimbiosis, sehingga perlu diberi makan *zooplankton* (Ofwegen, 2013).

Kelompok Nidaliidae merupakan kelompok yang jarang ditemukan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kemunculan Nidaliidae hanya ditemukan pada Stasiun 4 dan Stasiun 11.

6. Plexauridae

Termasuk keluarga koloni octocoral filum Cnidaria. Anggota famili ini terdapat di laut tropis dan subtropis yang dangkal. Banyak spesies memiliki simbiosis fotosintesis yang disebut *zooxanthellae* (Ofwegen, 2012).

Plexauridae yang Ditemukan pada Objek R2R

Foto: Dokumentasi Survei, 2025



Plexauridae mempunyai bentuk koloni bercabang dan banyak dikenal dengan sebutan batang laut atau kipas laut. Inti aksial kerangka karang bertanduk dan berongga serta tidak mengandung sklerit. Plexauridae ditutupi oleh lapisan jaringan yang disebut koenokim yang di dalamnya tertanam sklerit berkapur. Bentuk sklerit di Plexauridae sangat bervariasi dan pemeriksaan morfologinya sangat membantu dalam mengidentifikasi spesies yang berbeda. Kelopak diperkuat oleh sklerit dan memiliki delapan dinding

pemisah halus yang disebut septa. Polip di dalam kelopak masing-masing memiliki delapan tentakel yang menyirip (DeVictor and Morton, 2007).

Kelompok dari *sea fans* ini tidak banyak dijumpai pada objek R2R, namun ditemukan di tempat yang sama selama pengamatan, yaitu di Stasiun 5. Selanjutnya terjadi penambahan temuan, yaitu pada Stasiun 4 dan Stasiun 10.

7. Gorgoniidae

Termasuk keluarga karang lunak, sebagai anggota subkelas Octocorallia di filum Cnidaria. Hampir semua genus dan spesies berasal dari pantai timur dan barat Amerika. Awalnya anggota keluarga Gorgoniidae mencakup genus yang lebih luas daripada sekarang dan digunakan untuk semua Octocorallia. Kini Gorgoniidae terbatas pada spesies yang memiliki spikula berkapur yang panjangnya kurang dari 0,3 mm dan silinder aksial bertanduk dengan korteks yang tipis.

Analisis filogenetik molekuler menunjukkan bahwa keluarga Gorgoniidae bersifat polifiletik. Ciri utama yang membedakan anggota genus Gorgoniidae yang berbeda adalah memiliki spikula berkapur. Ciri diagnostik lainnya meliputi pola percabangan dan morfologi seluruh koloni. Terdapat peningkatan kompleksitas dari bentuk cambuk tidak bercabang,

bentuk bercabang terbuka, bentuk retikulat dan bentuk pelepah berdaun yang meliputi *Phyllogorgia* dan *Phycogorgia*. Banyak jenis Gorgoniidae berasal dari perairan hangat di sekitar pantai Atlantik dan Pasifik Amerika. Beberapa genus seperti *Lophogorgia*, *Leptogorgia*, dan *Eunicella*, mempunyai sebaran yang lebih luas, termasuk Atlantik timur yang beriklim sedang serta Laut Mediterania (WoRMS, 2011; Frederik, M. 2011).

C. Biota Lainnya (*Others Biota*)

Biota lainnya yang teridentifikasi terdiri dari *sponge*, kipas laut, lili laut, makroalga, kekerangan, serta cacing. Pada tahun 2023, komposisi jenis biota lainnya sebesar 6,76% dan pada tahun 2024 sebesar 6,43% masih relatif konstan, kemudian pada tahun 2025 meningkat sampai sebesar 9,01%. Kemunculan jenis *Sponge* sangat pesat terjadi sejak tahun 2024 hingga 2025. Begitupun komposisi biota lainnya seperti makroalga, kipas laut, lili laut, kekerangan, dan jenis cacing mengalami peningkatan.

Untuk memberikan gambaran, berikut profil biota lainnya yang ditemukan pada objek R2R:

1. **Tunicata**

Tunicata atau tunikata merupakan salah satu biota yang sering ditemukan pada pengamatan R2R, antara

lain ditemukan di 12 stasiun pengamatan sejak tahun 2023 hingga 2025. Tunicata sendiri merupakan bagian dari filum Chordata, di mana filum ini tidak hanya mencakup vertebrata, tetapi juga invertebrata. Dari filum Chordata yang termasuk invertebrata antara lain Tunicata, termasuk dalam subfilum Urochordata.

Tunikata merupakan penghuni penting perairan dangkal Pasifik Tropis. Beberapa kelas Tunicata (seperti *pyrosoma*, *salpa*, *doliolida*, dan *appendicularia*) merupakan hewan pelagis, sedangkan jenis lainnya seperti *asciacea*, merupakan hewan bentik yang sangat umum di seluruh Pasifik Tropis dan terseleksi pada data substrat dalam monitoring terumbu karang (Colin dan Arneson, 1995).

Tunikata adalah hewan laut yang memiliki bentuk tubuh seperti kantong berukuran kecil yang ditutupi *mantel tunic* yang terbentuk dari senyawa protein dan polisakarida. Tunicata merupakan organisme yang bersifat *filter feeder* yaitu mendapatkan makanan dengan cara menyaring (Brodie et al., 2011). Tunicata memiliki kemampuan menyebar dan beradaptasi dengan lingkungan baru secara cepat menyebabkan spesies tertentu menjadi invasif dan kompetitor area, sehingga dapat mendominasi dan mengancam keberadaan organisme asli (Ali et al., 2024; Hirose et al., 2009).

2. **Molusca - Bivalvia**

Molusca merupakan hewan triploblastik selomata yang bertubuh lunak, termasuk semua hewan lunak dengan maupun tanpa cangkang, seperti berbagai jenis siput, kiton, kerang-kerangan, serta cumi-cumi dan kerabatnya. Saat ini diperkirakan ada 75 ribu jenis, ditambah 35 ribu jenis dalam bentuk fosil. Molusca hidup di laut, air tawar, payau, dan darat. Ukuran dan bentuk tubuh molusca sangat bervariasi (Chapman, 2009). Walaupun bentuk tubuh hewan Molusca berbeda-beda, tetapi struktur utamanya tetap sama, terbagi menjadi tiga bagian. Hasil pemantauan, moluska tidak ditemukan di sebagian besar stasiun karena merupakan biota yang berpindah tempat.

Adapun Bivalvia merupakan kelas dalam Molusca yang mencakup semua kerang-kerangan dengan ciri utama memiliki sepasang cangkang (nama "Bivalvia" berarti dua cangkang) (Jell, P.A., 1980; Parker, S. P., 1984). Variasi jenis dalam bivalvia sangat luas atau beragam. Pada tubuhnya, tampak garis konsentris yang sejajar, garis ini disebut sebagai garis pertumbuhan yang menunjukkan masa pertumbuhan lamban atau tidak ada pertumbuhan. Garis ini berselang-seling dengan pita pertumbuhan yang menunjukkan pertumbuhan cepat. Semakin banyak garis dan pita pertumbuhan, maka semakin tua umur hewan tersebut. Sementara bagian cangkang yang paling tua biasanya paling

tebal, menonjol, letaknya pada bagian persendian yang disebut umbo. Hewan ini ada yang bersifat hermaphrodit dan kebanyakan hewan ini mempunyai alat kelamin yang terpisah. Larva bivalvia bersifat sebagai parasit (Jay. A.S, 2001).



Bivalvia yang Ditemukan pada Objek R2R

Foto: Dokumentasi Survei, 2025

3. **Feather Duster Worm**

Dikenal pula dengan Sabellidae atau cacing bulu atau cacing kipas, merupakan famili cacing tabung polychaete laut yang bercirikan cabang berbulu yang menonjol. Sabellidae membuat tabung dari eksudat keras seperti perkamen yang diperkuat dengan pasir dan potongan cangkang (Vinn et al, 2008). Sabellidae dapat ditemukan di habitat subtidal di seluruh dunia. Fosil tertua diketahui dari masa *Jurassic* Awal (Finn and Muthvei, 2009).

Cacing bulu mempunyai mahkota pelengkap makan atau radiola dalam dua kelompok berbentuk kipas yang menonjol dari tabungnya ketika berada di bawah air. Setiap radiola memiliki cabang samping berpasangan yang membuat sisir bermata dua untuk penyaring makanan. Sebagian besar spesies memiliki kerah sempit di bawah kepala. Segmen tubuhnya halus dan tidak memiliki parapodia. Biasanya delapan segmen toraks mempunyai kapiler di bagian punggung dan *chaetae* (bulu) yang bengkok di bagian perut. Segmen perut serupa tetapi posisi kapiler dan *chaetae* terbalik. Beberapa segmen perut posterior dapat membentuk lubang berbentuk sendok di sisi perut. Ukurannya bervariasi antara kecil dan panjangnya lebih dari 10 cm (4 inci). Beberapa spesies kecil dapat membungkuk dan menjulurkan tentakelnya ke dasar laut untuk mengumpulkan detritus (Vinn et al. 2008). Sepanjang pengamatan, kemunculan *feather duster worm* tidak selalu ada di setiap stasiun karena merupakan biota yang berpindah tempat.

4. **Sponge**

Merupakan salah satu organisme yang juga ditemukan di pengamatan R2R. Organisme ini ditemukan hampir di seluruh stasiun pengamatan dan hanya tidak ditemukan pada stasiun 3. *Sponge* atau spons seperti karang, yaitu invertebrata air yang tidak dapat

bergerak, namun sangat berbeda anatomi, metode makan, dan proses reproduksinya.

Spons merupakan penghuni penting ekosistem terumbu karang. Populasi spons yang beragam dapat mempengaruhi kualitas air di terumbu karena spons menyaring air, mengumpulkan bakteri, dan memproses karbon, nitrogen, dan fosfor. Di terumbu karang yang kekurangan nutrisi, beberapa spesies spons diperkirakan menyediakan karbon secara biologis dengan mengeluarkan "kotoran spons" yang menjadi makanan organisme lain, sehingga meningkatkan produktivitas di seluruh ekosistem. Dengan cara ini, spons melindungi terumbu dari fluktuasi ekstrim dalam kepadatan nutrisi, suhu, dan cahaya, sehingga bermanfaat bagi kelangsungan hidup organisme terumbu lainnya.

Tipe kerangka spons beradaptasi dengan baik pada habitat tertentu, sehingga memungkinkannya hidup di permukaan keras dan berbatu atau sedimen lunak seperti pasir dan lumpur. Beberapa spons bahkan menempel pada puing-puing yang mengambang, namun jarang ditemukan mengambang bebas

5. **Crinoid**

Merupakan hewan invertebrata laut yang termasuk dalam kelas Crinoidea. Crinoid yang menempel di

dasar laut dengan tangkai dalam fase remaja yang biasa disebut lili laut, sedangkan bentuk yang tidak bertangkai disebut dengan bintang bulu (Gordon, 2009; McFall-Johnsen and Lee, 2023). Crinoid termasuk dalam filum echinodermata yang juga mencakup bintang laut, bulu babi, dan teripang.

Crinoid mampu hidup di perairan dangkal (Zmarzly, 1985) dan kedalaman hingga 9.000 meter (Oji et al, 2009). Crinoid dewasa mempunyai ciri mulut yang terletak di permukaan atas. Bagian ini dikelilingi oleh lengan pemberi makan dan terhubung dengan usus berbentuk “U” dengan anus yang terletak pada cakram mulut. Pola dasar echinodermata dengan simetris tentakel kelipatan lima mudah dikenali. Sebagian besar crinoid memiliki lima lengan yang dapat terbagi lagi menjadi sepuluh atau lebih. Crinoid memiliki duri-duri berbulu dan menyebar luas untuk mengumpulkan partikel planktonik dari air. Pada tahap tertentu dalam hidupnya sebagian besar crinoid memiliki batang yang digunakan untuk melekatkan diri pada substrat, tetapi banyak yang hidup melekat hanya pada fase *juvenile* dan berenang bebas saat dewasa (Hansson, 2012).

Kelompok Crinoid jarang ditemui di sebagian besar stasiun, karena merupakan biota yang bergerak dan berpindah tempat, sehingga pada pengamatan 2024

hanya ditemukan pada stasiun 1, sedangkan jumlahnya meningkat pada tahun 2025.

Hasil Pemantauan Ikan Karang

Berdasarkan fungsinya dalam sistem ekosistem terumbu karang, ikan terumbu karang dibagi atas tiga yaitu ikan mayor, ikan target, dan ikan indikator (English et al, 1997); (Terangi, 2004), tiga kategori tersebut digunakan sebagai analisis survei visual sensus ikan karang. Penjelasan mengenai ketiga ikan karang tersebut adalah sebagai berikut:

1. **Ikan Mayor**, merupakan ikan yang paling banyak ditemui di daerah terumbu karang (Paulungan, 2019). Ikan mayor umumnya dijadikan ikan hias air laut dan terdiri dari berbagai famili seperti Apogonidae, Labridae, Pomacentridae, dan lain-lain.
2. **Ikan Target**, merupakan ikan ekonomis penting dan menjadi target tangkapan untuk dikonsumsi. Ikan target juga merupakan ikan yang mendiami daerah terumbu karang dan menjadi unit analisis dalam mempengaruhi dinamika pemanfaatan sumber daya karang. Famili ikan target antara lain Serranidae, Lutjanidae, Lethrinidae, Nemipteridae, Caesionidae, Siganidae, Haemulidae, Scaridae, dan lain-lain (Paulungan, 2019).

3. **Ikan Indikator**, merupakan ikan yang umumnya digunakan sebagai indikator dalam menentukan kondisi kesehatan karang karena secara langsung tergantung pada karang sebagai sumber energi dan merupakan ikan penghuni sejati di terumbu karang. Famili ikan indikator antara lain Pomacentridae, Labridae, Chaetodontidae (Paulungan, 2019).

Hasil pemantauan tahun 2023 ditemukan 10 famili ikan yang terdiri atas 15 genus ikan dan 1 jenis kepiting. Ikan indikator yang ditemukan terdiri atas 2 genus, 7 genus ikan mayor dan 6 genus ikan target. Beranjak ke pemantauan tahun 2024 ditemukan 13 famili ikan yang terdiri atas 20 genus ikan dan 1 jenis kepiting. Ikan indikator yang ditemukan terdiri atas 3 genus, 11 genus ikan mayor dan 6 genus ikan target. Selanjutnya, hasil pemantauan tahun 2025 ditemukan 13 famili ikan karang yang terdiri atas 25 genus ikan. Ikan indikator yang ditemukan terdiri atas 3 genus, 14 genus ikan mayor dan 8 genus ikan target. Dari pemantauan tahun ke tahun tersebut menunjukkan peningkatan keanekaragaman jenis dan komposisi, di mana fenomena alami proses suksesi ekologi terumbu karang berjalan seiring waktu.

Sepanjang pemantauan tahun 2023 sampai tahun 2025 teridentifikasi 17 famili ikan yang terdiri atas 31 genus ikan dan 1 jenis kepiting. Ikan indikator yang ditemukan terdiri atas 3 genus, 17 genus ikan mayor dan 11 genus ikan target.

Secara keseluruhan jumlah famili, genus, ikan mayor dan ikan target mengalami peningkatan, sementara untuk ikan indikator menunjukkan jumlah yang tetap.

Hasil determinasi yang dilakukan pada sepanjang *jacket* Attaka-EB (objek R2R) menunjukkan bahwa genus ikan yang terbanyak ditemukan adalah *Neopomacentrus* dengan 213 individu (37,77%), diikuti *Pseudanthias* dengan 200 individu (35,46%), *Caranx* dan *Ephinephelus* dengan masing-masing 29 individu (5,14%) serta *Heniochus* dengan 20 individu (3,55%). Berdasarkan kategori fungsi dalam ekosistem ditemukan 24 individu ikan indikator (4,26%), 447 individu ikan mayor (79,26%) dan 93 individu ikan target (16,49%).

Komposisi jumlah tersebut menunjukkan kondisi alami dimana jumlah ikan mayor lebih banyak dibandingkan ikan indikator dan ikan target. Struktur komunitas ikan karang menunjukkan indeks keanekaragaman (H') senilai 1,747 yang dapat diartikan sebagai keanekaragaman jenis, kestabilan ekosistem, dan produktivitas sedang. Indeks keseragaman memiliki nilai 0,543, bermakna kategori labil serta penyebaran individu yang kurang merata. Kondisi ini terjadi karena ditemukannya jenis tertentu dalam jumlah yang cukup banyak dari genus *Neopomacentrus* dan *Pseudanthias*. Sementara itu, nilai dominansi menunjukkan nilai 0,277 yang menandakan tidak terjadi dominansi dari jenis ikan tertentu.

Tabel 4 Jenis Ikan yang Ditemukan pada Objek R2R menurut Kategori Famili dan Genus, 2023-2025

Famili	Genus	Pemantauan			Kategori Ikan	Famili	Genus	Pemantauan			Kategori Ikan
		2023	2024	2025				2023	2024	2025	
1. Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	✓	✓	✓	Indikator	17. Ehippidae	<i>Platax</i>		✓	✓	Mayor
2. Chaetodontidae	<i>Coradion</i>		✓	✓	Indikator	18. Pomacentridae	<i>Pomacentrus</i>	✓	✓		Mayor
3. Chaetodontidae	<i>Heniochus</i>	✓	✓	✓	Indikator	19. Serranidae	<i>Pseudanthias</i>	✓	✓	✓	Mayor
4. Ostraciidae	<i>Arothron</i>			✓	Mayor	20. Scorpaenidae	<i>Pterois</i>		✓	✓	Mayor
5. Aulostomidae	<i>Aulostomus</i>			✓	Mayor	21. Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	✓	✓	✓	Target
6. Balistidae	<i>Balistapus</i>	✓	✓		Mayor	22. Caesionidae	<i>Caesio</i>	✓			Target
7. Labridae	<i>Bodianus</i>			✓	Mayor	23. Carangidae	<i>Caranx</i>		✓	✓	Target
8. Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>		✓	✓	Mayor	24. Serranidae	<i>Cephalopholis</i>	✓	✓	✓	Target
9. Pomacentridae	<i>Chromis</i>	✓	✓		Mayor	25. Serranidae	<i>Epinephelus</i>	✓	✓	✓	Target
10. Cirrhitidae	<i>Cirrhitichthys</i>	✓	✓	✓	Mayor	26. Muraenidae	<i>Gymnothorax</i>		✓		Target
11. Labridae	<i>Labroides</i>	✓	✓	✓	Mayor	27. Lethrinidae	<i>Lethrinus</i>			✓	Target
12. Labridae	<i>Larabicus</i>	✓	✓	✓	Mayor	28. Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	✓	✓	✓	Target
13. Pomacentridae	<i>Neopomacentrus</i>		✓	✓	Mayor	29. Serranidae	<i>Plectropomus</i>			✓	Target
14. Ostraciidae	<i>Ostracion</i>			✓	Mayor	30. Caesionidae	<i>Pterocaesio</i>			✓	Target
15. Cirrhitidae	<i>Oxycirrhites</i>			✓	Mayor	31. Nemipteridae	<i>Scolopsis</i>	✓			Target
16. Labridae	<i>Plagiotremus</i>			✓	Mayor	32. -	<i>Crab</i>	✓	✓		-

Sumber : Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Gambar 28

Perkembangan Keragaman Ikan pada Objek R2R menurut Kategori, 2023-2025

Sumber : Pengolahan Hasil Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Tabel 5 Hasil Determinasi Jenis dan Jumlah Genus serta Perhitungan Struktur Komunitas Ikan

Famili	Genus	Jumlah	Famili	Genus	Jumlah
1. Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	12	16. Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	7
2. Tetraodontidae	<i>Arothron</i>	1	17. Pomacentridae	<i>Neopomacentrus</i>	213
3. Aulostomidae	<i>Aulostomus</i>	1	18. Ostraciidae	<i>Ostracion</i>	1
4. Labridae	<i>Bodianus</i>	4	19. Cirrhitidae	<i>Oxycirrhites</i>	1
5. Ostraciidae	<i>Canthigaster</i>	3	20. Labridae	<i>Plagiotremus</i>	1
6. Carangidae	<i>Caranx</i>	29	21. Ehippidae	<i>Platax</i>	1
7. Serranidae	<i>Cephalopholis</i>	8	22. Serranidae	<i>Plectropomus</i>	6
8. Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	3	23. Serranidae	<i>Pseudanthias</i>	200
9. Cirrhitidae	<i>Cirrhitichthys</i>	16	24. Caeiosnidae	<i>Pterocaesio</i>	1
10. Chaetodontidae	<i>Coradion</i>	1	25. Scorpaenidae	<i>Pterois</i>	1
11. Serranidae	<i>Epinephelus</i>	29	Jumlah		564
12. Chaetodontidae	<i>Heniochus</i>	20	Taksa		25
13. Labridae	<i>Labroides</i>	3	H'		1,747
14. Labridae	<i>Larabicus</i>	1	E'		0,543
15. Lethrinidae	<i>Lethrinus</i>	1	C'		0,277

Sumber : Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Gambar 29

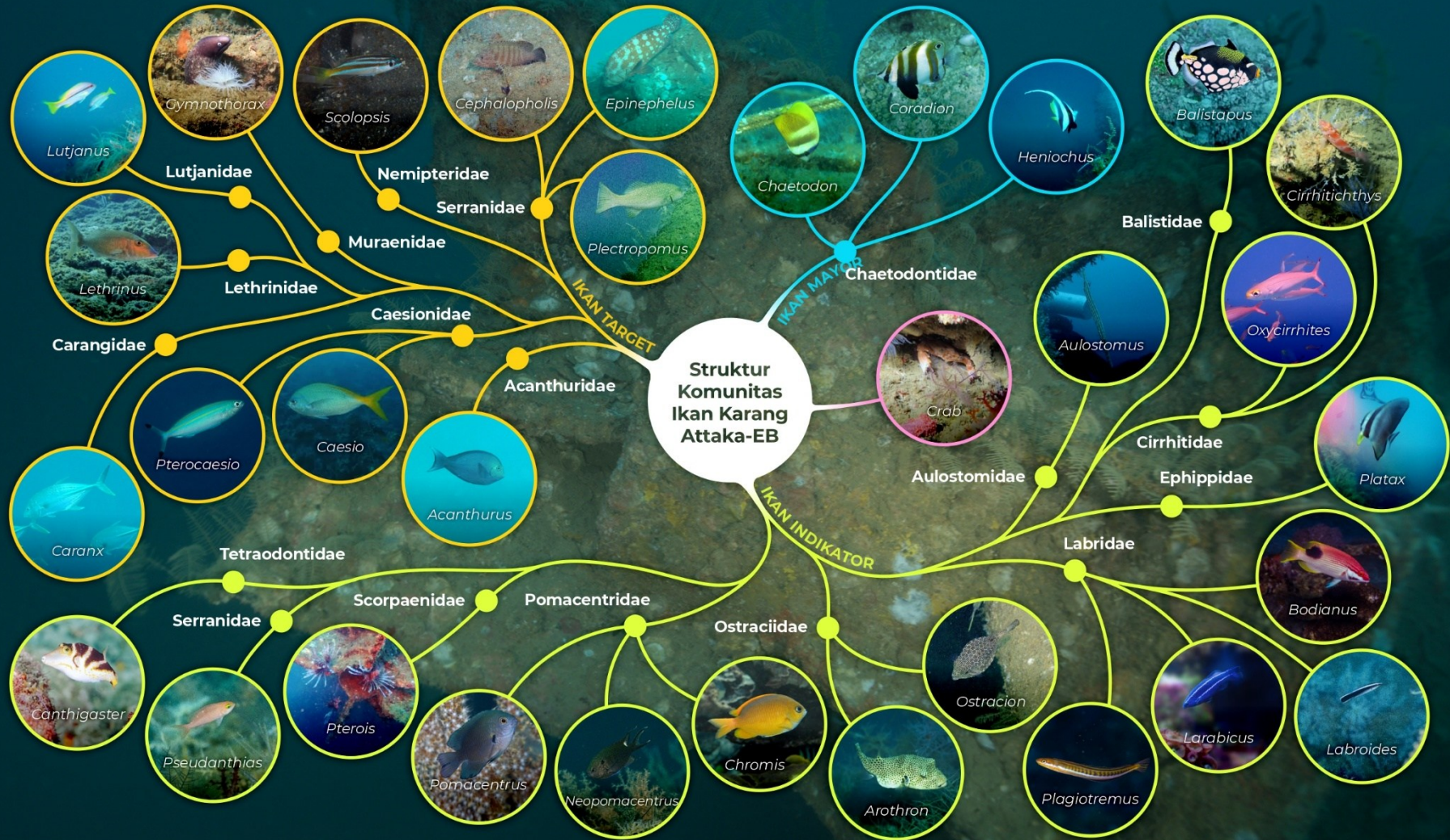
Dokumentasi Pemantauan Komunitas Ikan Karang pada Objek R2R



Sumber : Dokumentasi Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Gambar 30

Struktur Komunitas Ikan Karang pada Objek R2R menurut Hasil Pemantauan 2023-2025



Keterangan :
— Ikan Mayor — Ikan Target — Ikan Indikator — Crab

Alhasil, tren peningkatan atas jumlah famili, genus, dan individu ikan karang yang teramati dari pemantauan objek R2R selama kurun waktu 2023-2025 merupakan indikasi atas pertumbuhan struktur dan komunitas ikan karang yang signifikan dan sejalan dengan harapan. Secara umum hal ini merupakan pertanda keberhasilan program, namun diharapkan dapat ditelusuri secara lebih lanjut ke depannya untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan data dan informasi lingkungan secara lebih luas, seperti suhu, salinitas, dan arus, serta data biologi seperti pertumbuhan individu dan reproduksi ikan karang.

Hasil Tes e-DNA Metabarcoding

A. Keanekaragaman Ikan

Berdasarkan data rekapitulasi e-DNA biota ikan pada objek R2R tahun 2023 hingga 2025 Ikan, terlihat adanya peningkatan yang signifikan dalam keanekaragaman dan jumlah spesies dari tahun ke tahun. Pada awalnya, di tahun 2023 komunitas ikan masih relatif sederhana, ditandai dengan kehadiran spesies planktivora kecil seperti *Encrasicholina punctifer* serta beberapa ikan karang dan karang asosiasi seperti *Ambassis urotaenia*, *Cirrhitichthys aprinus*, dan *Lutjanus rivulatus*.

Memasuki tahun 2024, struktur komunitas semakin kompleks dengan masuknya lebih banyak anggota famili Lutjanidae, Serranidae, dan Pomacentridae yang menunjukkan perkembangan fungsi ekologi R2R sebagai habitat karang buatan. Puncaknya pada tahun 2025, terdeteksi komunitas ikan yang jauh lebih beragam, termasuk kehadiran spesies predator besar seperti *Scomberomorus commerson* dan *Euthynnus lineatus*, ikan herbivor seperti *Siganus* spp. dan *Scarus quoyi*, serta ikan karang yang menjadi indikator kesehatan ekosistem seperti *Neopomacentrus cyanomos*.

Kehadiran spesies bernilai ekonomi tinggi seperti kerapu (*Epinephelus coioides*, *Cephalopholis sonnerati*), kakap (*Lutjanus vitta*, *L. timoriensis*, *L. rivulatus*), dan ikan pelagis (*Rastrelliger kanagurta*, *Decapterus russelli*) memperkuat bukti bahwa R2R bukan hanya berfungsi sebagai penambah kompleksitas ekosistem laut, tetapi juga berpotensi memberikan manfaat langsung bagi perikanan lokal. Secara ekologis, perkembangan ini memperlihatkan adanya pergeseran dari komunitas awal yang didominasi planktivora menuju struktur komunitas multistrata yang melibatkan herbivor, karnivor, hingga predator puncak, menandakan R2R telah berhasil menopang rantai makanan lengkap dan juga berperan efektif dalam meningkatkan keanekaragaman hayati serta jasa ekosistem perairan.

Tabel 6 Rekapitulasi e-DNA Biota Ikan yang Terdeteksi pada Objek R2R, 2023-2025

Famili / Spesies	Tahun			Famili / Spesies	Tahun			Famili / Spesies	Tahun		
	2023	2024	2025		2023	2024	2025		2023	2024	2025
Ambassidae				<i>Selar boops</i>			✓	<i>Stolephorus insularis</i>			✓
<i>Ambassis urotaenia</i>		✓		Champsodontidae				Gerreidae			
Apogonidae				<i>Champsodon vorax</i>			✓	<i>Gerres erythrourus</i>			✓
<i>Rhabdamia spilota</i>	✓			Cirrhitidae				<i>Gerres filamentosus</i>			✓
<i>Taeniamia fucata</i>		✓		<i>Cirrhichthys aprinus</i>		✓	✓	Gobiidae			
Bregmacerotidae				Clupeidae				<i>Schultzia johnstonensis</i>			✓
<i>Bregmaceros mccllelandi</i>		✓		<i>Amblygaster sirm</i>	✓			<i>Trimma haimassum</i>			✓
Caesionidae				<i>Sardinella fijiensis</i>			✓	Haemulidae			
<i>Pterocaesio chrysozona</i>		✓		<i>Sardinella hualiensis</i>			✓	<i>Plectorhinchus lessonii</i>		✓	
<i>Pterocaesio digramma</i>		✓		<i>Sardinella melanura</i>			✓	Hemiramphidae			
<i>Pterocaesio marri</i>			✓	<i>Spratelloides gracilis</i>	✓			<i>Hemiramphus far</i>			✓
<i>Pterocaesio tessellata</i>		✓		Dussumieriidae				Latidae			
Carangidae				<i>Dussumieria elopsoides</i>			✓	<i>Elates ransonnettii</i>			✓
<i>Carangoides coeruleopinnatus</i>	✓			Echeneidae				Leiognathidae			
<i>Caranx papuensis</i>			✓	<i>Echeneis neucratoides</i>		✓		<i>Gazza achlamys</i>			✓
<i>Caranx tille</i>	✓			Engraulidae				<i>Leiognathus ruconius</i>			✓
<i>Decapterus russelli</i>	✓		✓	<i>Encrasicholina heteroloba</i>			✓	<i>Photopectoralis aureus</i>		✓	
<i>Gnathanodon speciosus</i>			✓	<i>Encrasicholina pseudoheteroloba</i>		✓		Lobotidae			
<i>Megalaspis cordyla</i>			✓	<i>Encrasicholina punctifer</i>	✓	✓	✓	<i>Lobotes surinamensis</i>		✓	

Famili / Spesies	Tahun			Famili / Spesies	Tahun			Famili / Spesies	Tahun		
	2023	2024	2025		2023	2024	2025		2023	2024	2025
Lutjanidae				<i>Scarus quoyi</i>		✓		Siganidae			
<i>Lutjanus lutjanus</i>		✓		Sciaenidae				<i>Siganus canaliculatus</i>			✓
<i>Lutjanus ophuysenii</i>		✓		<i>Dendrophysa russelii</i>			✓	<i>Siganus fuscescens</i>		✓	✓
<i>Lutjanus rivulatus</i>	✓			Scombridae				<i>Siganus guttatus</i>			✓
<i>Lutjanus timoriensis</i>		✓		<i>Euthynnus lineatus</i>			✓	Tetraodontidae			
<i>Lutjanus vitta</i>	✓	✓	✓	<i>Rastrelliger faughni</i>	✓		✓	<i>Arothron hispidus</i>			✓
<i>Paracaesio caerulea</i>		✓		<i>Rastrelliger kanagurta</i>	✓		✓	<i>Arothron manilensis</i>			✓
<i>Pristipomoides typus</i>			✓	<i>Scomberomorus commerson</i>		✓		<i>Arothron mappa</i>		✓	
Mullidae				<i>Scomberomorus sinensis</i>		✓		<i>Canthigaster valentini</i>			✓
<i>Upeneus sulphureus</i>	✓			Scorpaenidae				Tripterygiidae			
<i>Upeneus tragula</i>	✓			<i>Pterois miles</i>			✓	<i>Helcogramma striata</i>		✓	✓
Myctophidae				Serranidae							
<i>Benthoosema pterotum</i>			✓	<i>Cephalopholis miniata</i>		✓					
Pomacanthidae				<i>Cephalopholis sonnerati</i>			✓				
<i>Pomacanthus imperator</i>	✓			<i>Epinephelus areolatus</i>			✓				
Pomacentridae				<i>Epinephelus coioides</i>		✓	✓				
<i>Neopomacentrus bankieri</i>			✓	<i>Epinephelus quoyans</i>			✓				
<i>Neopomacentrus cyanomos</i>		✓	✓	<i>Pseudanthias leucozonus</i>			✓				
Scaridae				<i>Pseudanthias rubrizonatus</i>			✓				

Sumber : Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Jika ditinjau lebih lanjut berdasarkan *trophic guild*, perkembangan komunitas ikan pada objek R2R memperlihatkan pola yang semakin kompleks dari waktu ke waktu. Pada tahap awal tahun 2023, komunitas didominasi oleh planktivor kecil seperti *Encrasicholina punctifer*, *Spratelloides gracilis*, dan *Amblygaster sirm*, yang berperan penting sebagai penyedia energi dasar dalam rantai makanan laut.

Seiring berjalannya waktu, pada tahun 2024 menunjukkan peningkatan kehadiran herbivor dan omnivor seperti *Siganus fuscescens* dan *Scarus quoyi*, yang berfungsi menjaga keseimbangan ekosistem karang melalui pengendalian alga. Pada tahun yang sama, mulai muncul pula invertivor dan karnivor benthik seperti *Upeneus tragula*, *Plectorhynchus lessonii*, dan berbagai spesies kerapu (*Epinephelus coioides*, *Cephalopholis miniata*), yang memanfaatkan habitat karang buatan sebagai area *feeding* dan perlindungan.

Memasuki tahun 2025, komunitas semakin dilengkapi oleh kehadiran predator puncak seperti *Scomberomorus commerson*, *Euthynnus lineatus*, dan *Caranx papuensis*, yang menandakan stabilitas ekosistem dan kemampuan struktur R2R untuk menopang tingkat trofik tertinggi. Dengan demikian, selama kurun waktu 3 tahun (2023-2025) telah terjadi pergeseran dari komunitas awal yang sederhana dan berbasis planktivor menuju komunitas

multistrata yang mencakup seluruh level trofik, mulai dari produsen sekunder hingga predator puncak.



Telah terjadi pergeseran dari komunitas awal yang sederhana dan berbasis planktivor menuju komunitas multistrata yang mencakup seluruh level trofik, mulai dari produsen sekunder hingga predator puncak

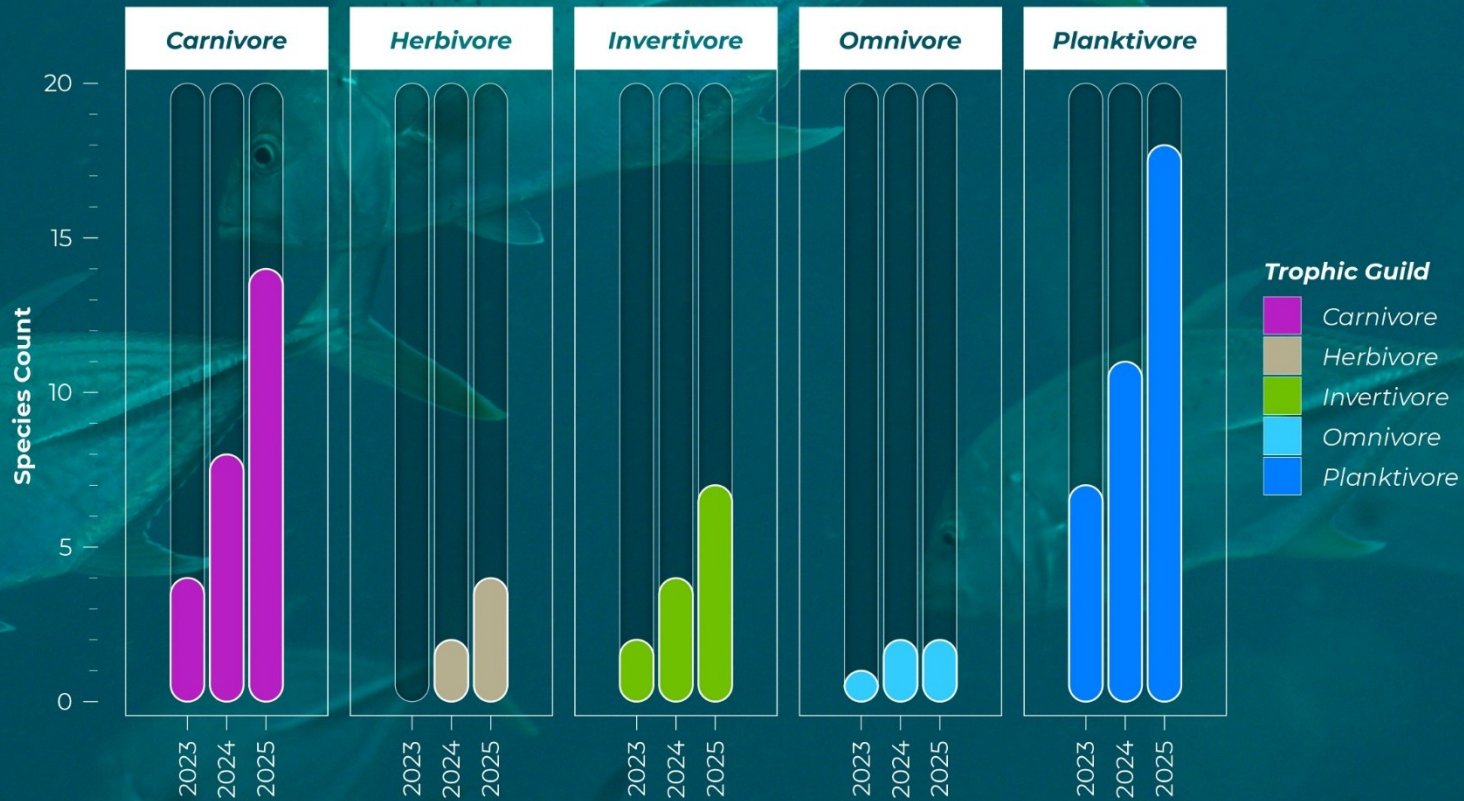
Foto: Dokumentasi Survei, 2025

B. Variasi Temporal Kelompok Trofik Ikan

Berdasarkan hasil identifikasi menggunakan e-DNA, didapatkan jumlah spesies ikan meningkat pada setiap tahun pengamatan, sebagai berikut:

1. Tahun 2023 total teridentifikasi 14 spesies, terdiri dari 4 karnivora, 2 invertivora, 1 omnivora, dan 7 planktivora;
2. Tahun 2024 total teridentifikasi 27 spesies, terdiri dari 8 karnivora, 2 herbivora, 4 invertivora, 2 omnivora, dan 11 planktivora;
3. Tahun 2025 total teridentifikasi 45 spesies, terdiri dari 14 karnivora, 4 herbivora, 7 invertivora, 2 omnivora, dan 18 planktivora.

Gambar 31

Variasi Temporal Jumlah Jenis (Spesies) Ikan Berdasarkan Kelompok Trofik (*Trophic Guild*) yang Ditemukan Selama Tiga Tahun Pengamatan

Sumber : Pengolahan Hasil Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Peningkatan ini menunjukkan kolonisasi bertahap dan penambahan keragaman ikan seiring waktu, yang umum pada struktur buatan baru seperti objek R2R, karena substrat semakin stabil, kompleksitas habitat meningkat, dan rantai makanan mulai terbentuk. Komposisi variasi temporal pada jenis trofik ikan mencerminkan tahap awal kolonisasi pada substrat buatan, di mana ikan pemakan plankton dan predator oportunistis memanfaatkan sumber pakan yang tersedia di perairan terbuka. Memasuki tahun 2024, jumlah spesies meningkat menjadi 27 dengan bertambahnya karnivora (8 spesies), invertivora (4 spesies), serta munculnya herbivora (2 spesies) yang sebelumnya tidak ditemukan. Kehadiran herbivora menandakan mulai tumbuhnya alga atau makrofit pada struktur, sementara peningkatan invertivora mengindikasikan perkembangan komunitas bentik yang menjadi sumber pakan baru.

Pada tahun 2025, keragaman spesies mencapai 45, dengan lonjakan yang signifikan pada planktivora (18 spesies) dan karnivora (14 spesies), serta peningkatan invertivora (7 spesies) dan herbivora (4 spesies). Perkembangan ini menunjukkan proses suksesi ekologis yang baik, di mana struktur R2R mulai mendukung rantai makanan yang lebih kompleks. Planktivora tetap menjadi kelompok dominan, menyediakan sumber energi utama bagi ikan lain, sementara peningkatan karnivora menandakan terbentuknya ekosistem yang mampu menopang predator tingkat tinggi. Stabilitasnya jumlah omnivora merupakan pertanda

keberadaan spesies dengan pola makan fleksibel sejak awal, meski tidak menjadi kelompok utama.



R2R efektif meningkatkan biodiversitas ikan dalam waktu yang relatif singkat (3 tahun)

Foto: Dokumentasi Survei, 2025

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa R2R efektif meningkatkan biodiversitas ikan dalam waktu yang relatif singkat (3 tahun). Awalnya hanya menarik spesies oportunistis dan pemakan plankton, tapi dalam tiga tahun komunitas ikan berkembang lebih beragam, termasuk kehadiran herbivora dan predator puncak (ikan kerapu). Pola ini menandakan bahwa struktur R2R telah berfungsi sebagai terumbu buatan yang matang, meningkatkan kompleksitas ekosistem dan potensi fungsi ekologis seperti *feeding ground*, *nursery*, dan habitat permanen bagi berbagai jenis ikan. Pemantauan jangka panjang tetap diperlukan untuk melihat kestabilan komunitas serta peluang kehadiran spesies bernilai komersial tinggi atau yang memiliki signifikansi konservasi.

C. Penilaian Variabel Keanekaragaman Hayati Ikan

Hasil penilaian keanekaragaman hayati ikan pada objek R2R selama tiga tahun pengamatan memperlihatkan perkembangan yang sangat positif dan menggambarkan proses kolonisasi ekosistem buatan secara bertahap dan konsisten. Di tahun pertama pengamatan (2023), struktur rig yang baru dialihfungsikan (sejak 2022) menjadi terumbu buatan hanya dihuni 8 famili dengan total 14 spesies ikan. Komunitas yang hadir pada tahap awal ini umumnya terdiri atas planktivora dan beberapa karnivora oportunistik yang memanfaatkan ketersediaan plankton di perairan terbuka serta memanfaatkan struktur rig sebagai tempat berlindung sementara. Kehadiran kelompok invertivora dan omnivora sejak awal menunjukkan bahwa meskipun habitat masih sederhana, namun sudah ada sumber pakan berupa invertebrata bentik dan organisme kecil lainnya di sekitar struktur.

Memasuki tahun kedua (2024), jumlah famili meningkat tajam menjadi 18 famili dan spesies bertambah hampir dua kali lipat menjadi 27 spesies. Perubahan paling penting di fase ini adalah munculnya ikan herbivora yang sebelumnya tidak ditemukan pada tahun pertama. Kehadiran herbivora mengindikasikan bahwa permukaan rig mulai ditumbuhi alga, makrofit, atau biota *sessile* lainnya sebagai sumber makanan, sehingga mendorong munculnya *guild* baru. Peningkatan jumlah invertivora dan karnivora adalah

indikasi ketersediaan pakan yang semakin beragam, termasuk invertebrata bentik dan ikan kecil, sehingga rantai makanan mulai berkembang lebih kompleks. Pola ini sesuai dengan dinamika suksesi ekologis pada terumbu buatan, di mana tahap awal didominasi spesies oportunistik, kemudian diikuti kedatangan spesies dengan kebutuhan habitat dan pakan yang lebih spesifik.

Pada tahun ketiga (2025), keanekaragaman mencapai puncaknya, yakni 21 famili dan 45 spesies ikan. Lonjakan ini terutama pada planktivora yang meningkat hingga 18 spesies, serta karnivora menjadi 14 spesies, menandakan bahwa sumber energi primer (plankton) tetap melimpah dan mampu menopang predator tingkat menengah dan atas. Kelompok invertivora juga semakin banyak, menunjukkan bahwa pada substrat pemantauan atau rig telah mendukung koloni invertebrata bentik seperti krustasea, moluska, dan organisme *sessile* lainnya.

Sementara itu, herbivora yang muncul sejak 2024 tetap bertahan dan menambah jumlah spesies, menandakan keberlanjutan ketersediaan alga dan makrofit pada permukaan rig. Komposisi ini mencerminkan ekosistem yang mulai menyerupai terumbu karang alami dengan struktur komunitas yang berlapis dan saling terhubung secara trofik.

Tabel 7 **Penilaian Variabel Keanekaragaman Hayati Ikan pada Objek R2R, 2023-2025**

Variabel / Parameter	Tahun		
	2023	2024	2025
Jumlah Jenis			
Famili	8	18	21
Spesies	14	27	45
Kelompok Trofik			
<i>Planktivore</i>	✓	✓	✓
<i>Omnivore</i>	✓	✓	✓
<i>Invertivore</i>	✓	✓	✓
<i>Herbivore</i>		✓	✓
<i>Carnivore</i>	✓	✓	✓
Habitat			
Demersal	✓	✓	✓
<i>Pelagic</i>	✓	✓	✓
<i>Reef-Associated</i>	✓	✓	✓
Nilai Ekonomis			
<i>Non-Commercial</i>	✓	✓	✓
<i>Minor Commercial</i>	✓	✓	✓
<i>Commercial</i>	✓	✓	✓
<i>Highly Commercial</i>	✓	✓	✓

Keberagaman habitat juga memberikan gambaran penting tentang fungsi ekologis R2R. Sejak awal pengamatan, ikan yang hadir mencakup kelompok demersal, pelagis, dan asosiasi karang (*reef-associated*). Hal ini menunjukkan struktur rig berfungsi tidak hanya sebagai tempat berlindung di dasar perairan bagi spesies demersal, tetapi juga sebagai area terbuka untuk ikan pelagis yang mencari makan di kolom air, serta sebagai substrat yang dimanfaatkan ikan karang untuk berlindung, mencari makan, dan mungkin berkembang biak. Fungsi habitat yang beragam ini sangat penting untuk mendukung tingkat keanekaragaman dan kestabilan ekosistem.

Dari aspek nilai ekonomi, sejak awal ditemukan ikan dengan berbagai kategori, mulai dari nonkomersial, minor komersial, komersial, hingga sangat bernilai tinggi (*highly commercial*). Kehadiran ikan bernilai tinggi seperti karnivora dan beberapa planktivora komersial menunjukkan potensi R2R sebagai habitat yang dapat mendukung stok ikan perikanan di sekitarnya. Namun, peningkatan jumlah spesies komersial dan sangat bernilai pada tahun-tahun berikutnya juga menimbulkan potensi tekanan penangkapan. Jika tidak diatur, struktur ini bisa menjadi area tangkap intensif yang justru menurunkan fungsi ekologisnya. Oleh karena itu, pengelolaan berbasis konservasi dan perikanan berkelanjutan perlu diterapkan,

misalnya melalui penetapan zona larangan tangkap atau pengaturan musim penangkapan.

Keseluruhan perkembangan tersebut menunjukkan bahwa R2R berhasil berperan sebagai ekosistem buatan yang matang dalam waktu relatif singkat (tiga tahun). Awalnya hanya berfungsi sebagai substrat bagi spesies oportunistik dan pemakan plankton, namun kemudian berkembang menjadi ekosistem dengan rantai makanan yang lengkap, meliputi produsen primer (alga), pemakan invertebrata, pemakan plankton, hingga predator puncak. Hal ini dapat diartikan bahwa R2R dapat menjadi solusi rekayasa ekologi yang efektif untuk meningkatkan keanekaragaman hayati laut dan potensi produktivitas perikanan, dengan catatan harus diikuti pemantauan jangka panjang dan kebijakan pengelolaan yang menjaga keseimbangan antara fungsi ekologis dan pemanfaatan ekonominya.

An underwater photograph of a coral reef. The scene is dominated by vibrant blue and purple corals. Several fish are visible: a large, striped fish in the foreground, a smaller striped fish below it, and several black fish with white spots swimming in the upper left. The background is a deep, dark blue, suggesting a deep-sea environment.

BAGIAN V

**POTENSI EKOLOGIS
DAN TANTANGAN
PENGELOLAAN
*RIGS TO REEFS***

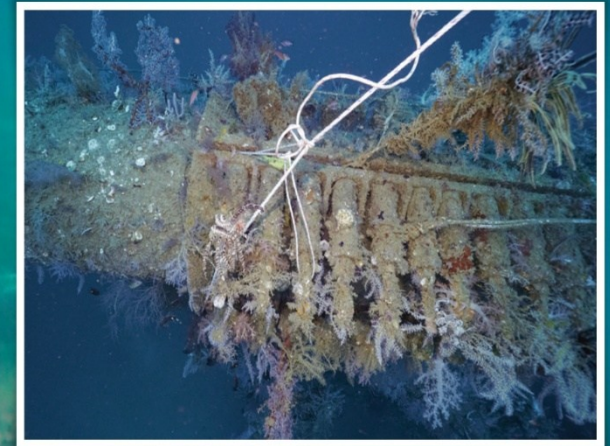
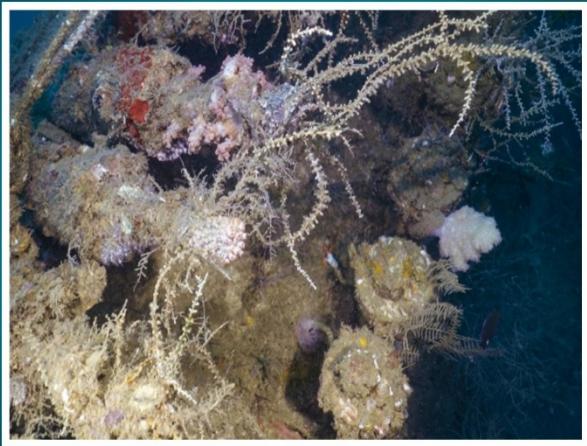
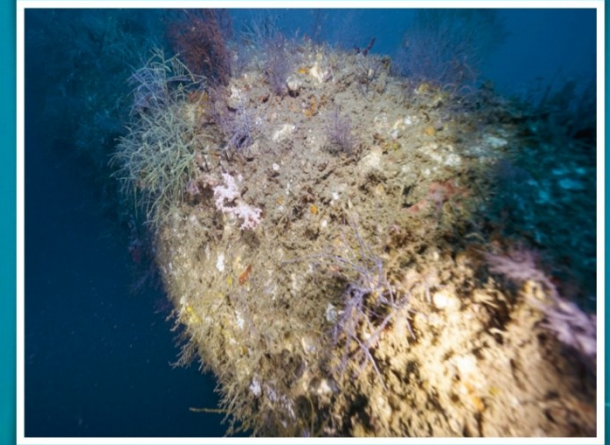
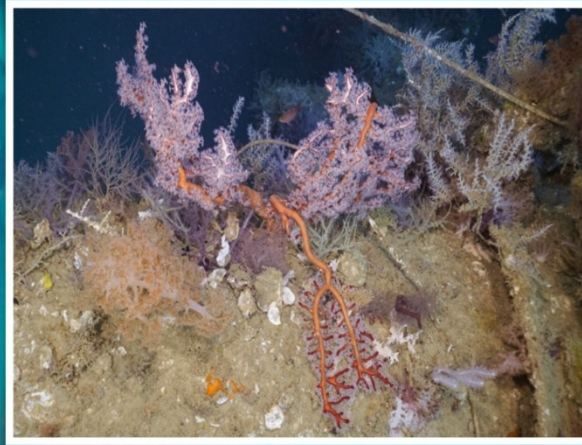
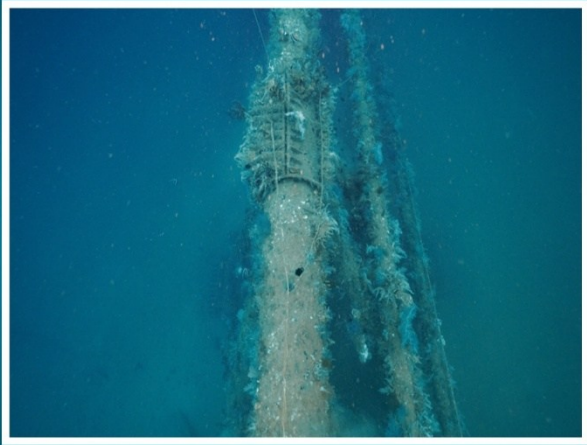
BAGIAN V**POTENSI EKOLOGIS
DAN TANTANGAN
PENGELOLAAN
RIGS TO REEFS****Transformasi Ekologis Struktur *Rigs to Reefs***

Hasil observasi melalui penyelaman maupun dokumentasi lapangan memperlihatkan bahwa struktur *Rigs to Reefs* (R2R) memiliki variasi tingkat rugositas yang cukup tinggi. Bagian yang berhasil diamati terutama pada sisi atas struktur, di mana terdapat penopang atau penyangga yang membentuk celah dan simpangan permukaan. Kondisi ini menciptakan kompleksitas mikrohabitat yang penting bagi biota bentik sebagai penutup substrat. Pada area tersebut juga tercatat okupansi yang dominan oleh *soft coral*, *sponge*, serta koloni *hard coral* dengan sebaran yang relatif padat dibandingkan area lainnya pada objek R2R.

Bagian struktur dengan rugositas tinggi menyediakan celah, permukaan menempel, dan area teduh yang dimanfaatkan biota bentik seperti spons, karang lunak, dan karang keras. Kehadiran biota bentik ini kemudian memperkaya kompleksitas habitat dan menyediakan sumber pakan serta ruang perlindungan bagi ikan-ikan kecil. Secara bertahap, komunitas ikan herbivora dan planktivora hadir untuk memanfaatkan sumber daya ini, diikuti oleh omnivora dan karnivora yang lebih besar. Hal tersebut menjadikan R2R sebagai “magnet ekologis” yang menarik berbagai tingkat trofik, menciptakan ekosistem baru yang menyerupai terumbu karang alami.

Selain itu, pada bagian dengan rugositas lebih kompleks juga diamati jumlah ikan yang lebih banyak dibanding area dengan permukaan yang relatif datar. Kelimpahan ikan pada area ini menunjukkan bahwa sebagai terumbu buatan (*artificial reef*) struktur R2R memiliki potensi meningkatkan keragaman serta biomassa komunitas ikan. Hal ini konsisten dengan temuan Santoso et al. (2022), yang menegaskan bahwa habitat dengan tingkat kerumitan struktur lebih tinggi umumnya memiliki keanekaragaman dan kelimpahan ikan yang lebih besar. Dengan demikian, R2R tidak hanya berperan sebagai substrat kolonisasi biota bentik, tetapi juga mendukung terbentuknya ekosistem yang lebih kompleks dan produktif melalui peningkatan ketersediaan ruang serta perlindungan bagi berbagai jenis ikan.

Gambar 32

Penampakan Kolonisasi Terumbu Karang pada Struktur Rigs to Reefs (R2R) Attaka-EB

Sumber : Dokumentasi Survei Monitoring R2R, 2023-2025

Soft coral terlihat mendominasi pada beberapa bagian, menunjukkan bahwa area ini telah menjadi habitat yang stabil bagi kolonisasi jangka panjang. Spons juga tampak menempel pada celah-celah struktur, berfungsi sebagai *filter feeder* yang memperkaya produktivitas ekosistem. Selain itu, koloni *hard coral* mulai tumbuh di beberapa bagian, meskipun masih terbatas, yang menandakan proses awal pembentukan ekosistem terumbu buatan.

Kehadiran biota lain seperti *crinoid* (lili laut) dan alga, menunjukkan semakin kompleksnya komunitas yang terbentuk pada substrat ini. Kompleksitas struktur yang memiliki banyak celah dan permukaan dengan rugositas tinggi turut menyediakan ruang perlindungan bagi ikan karang kecil, yang terlihat berasosiasi dengan area berkoloni bentik. Dengan demikian, struktur R2R tidak hanya berfungsi sebagai substrat tempat menempel biota, tetapi juga membentuk ekosistem tiga dimensi yang menyerupai fungsi terumbu karang alami.

Berdasarkan hasil ringkasan temuan ikan asosiasi tahun 2025, tercatat sebanyak 12 famili dengan total 17 spesies yang teridentifikasi berdasarkan tes e-DNA. Jumlah ini menggambarkan tingkat keragaman komunitas ikan yang cukup representatif bagi ekosistem karang. Dari sisi struktur trofik, komunitas ikan menunjukkan kelengkapan dengan hadirnya kelompok karnivora, omnivora, dan planktivora, yang menandakan rantai makanan di lokasi

pengamatan tersusun relatif utuh mulai dari pemanfaat plankton hingga predator tingkat tinggi. Keanekaragaman ini turut didukung oleh variasi habitat, di mana spesies yang teramati mencakup kelompok yang berasosiasi dengan karang, hidup dekat substrat (demersal), maupun semi-pelagis yang memanfaatkan kolom air.

Selain itu, klasifikasi fungsional ikan juga lengkap, terdiri atas ikan target yang memiliki nilai ekonomis, ikan mayor sebagai penyusun utama komunitas, serta ikan indikator yang mencerminkan kondisi ekosistem. Temuan ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa habitat pengamatan mampu mendukung komunitas ikan yang kompleks, seimbang, dan berfungsi penting baik dari segi ekologi maupun potensi pemanfaatan perikanan berkelanjutan.

Hasil identifikasi ikan dari lokasi pengamatan dipertegas pula dengan keragaman taksa yang cukup tinggi, meliputi famili-famili khas asosiasi terumbu karang, seperti *Epinephelidae* (*grouper*), *Carangidae* (*trevally*), *Chaetodontidae* (*butterflyfish*), *Anthiidae*, *Pomacentridae* (*damsel*), *Acanthuridae* (*surgeonfish*), *Ephippidae* (*batfish*), *Ostraciidae* (*boxfish*), *Labridae* (*wrasse*), *Scorpaenidae* (*lionfish*), *Lethrinidae* (*emperor*), dan *Aulostomidae* (*trumpetfish*). Variasi ini menunjukkan bahwa struktur habitat yang ada mampu mendukung komunitas ikan yang kompleks dengan representasi dari berbagai tingkat trofik.

Komposisi trofik yang ditemukan pun sangat beragam. Planktivora seperti *Pseudanthias huchtii* dan *Acanthurus thompsoni* memanfaatkan kolom air di sekitar struktur sebagai sumber pakan, sementara omnivora seperti *Chaetodon kleinii* bergantung pada polip karang, alga, dan plankton. Kelompok karnivora tercatat paling dominan, termasuk predator besar seperti *Epinephelus polyphkadion*, *Caranx sexfaciatus*, dan *Pterois volitans*. Kehadiran predator tingkat tinggi ini menandakan bahwa rantai makanan di area pengamatan telah terbentuk dengan baik, di mana keberadaan substrat keras dari R2R menyediakan mikrohabitat dan perlindungan yang penting bagi organisme pada trofik level bawah, yang kemudian menopang keberlangsungan predator.

Selain fungsi ekologis, keberadaan spesies ekonomis penting seperti kerapu (*Epinephelus spp.*), *trevally* (*Carangidae*), dan *emperor* (*Lethrinidae*) memperlihatkan potensi R2R dalam mendukung perikanan lokal. Akan tetapi, hal tersebut sekaligus menjadi tantangan, karena peningkatan konsentrasi ikan ekonomis di sekitar struktur dapat meningkatkan kerentanan akibat penangkapan berlebih dan tidak ramah lingkungan.

Dari rangkaian hasil pengamatan menegaskan bahwa R2R memiliki nilai ekologis ganda: *pertama*, sebagai penopang kolonisasi biota bentik dan sekaligus penyedia habitat bagi komunitas ikan yang beragam; dan *kedua*, sebagai katalis

pembentukan ekosistem baru yang mampu mendukung struktur trofik lengkap dari tingkat dasar hingga predator puncak. R2R berperan sebagai habitat buatan dan juga habitat baru yang meningkatkan keanekaragaman hayati melalui penyediaan tempat berlindung, sumber makanan, dan substrat bagi berbagai organisme laut. Potensi ini memperkuat nilai ekologis R2R sebagai bagian dari strategi pengelolaan habitat buatan yang dapat mendukung rekayasa habitat serta peningkatan populasi ikan. Oleh karena itu, monitoring berkala terhadap tutupan bentik, kelimpahan ikan, dan dinamika kolonisasi biota perlu untuk terus dilakukan untuk menilai efektivitas dan keberlanjutan fungsi ekologis dari struktur ini.

Rigs to Reefs sebagai OECM

Konsep OECM (*Other Effective Area-based Conservation Measures*) pertama kali muncul secara global pada tahun 2010 melalui Target Keanekaragaman Hayati Aichi. Definisi resminya baru diadopsi pada tahun 2018 oleh *Convention on Biological Diversity* (CBD). OECM didefinisikan sebagai kawasan yang ditetapkan secara geografis di luar kawasan konservasi, yang diatur dan dikelola secara positif dan berkelanjutan untuk konservasi keanekaragaman hayati insitu, dengan fungsi dan jasa ekosistem terkait dan jika berlaku, budaya, spiritual, sosioekonomi, dan nilai-nilai lokal yang relevan lainnya. Secara umum perbedaan utama

antara kawasan konservasi dan OEEM adalah kawasan konservasi memiliki target konservasi keanekaragaman hayati sebagai tujuan utama, sementara OEEM didefinisikan berdasarkan efektivitasnya dalam melestarikan keanekaragaman hayati, terlepas dari tujuannya (Dudley et al. 2018; IUCN, 2019).

Dalam konteks konservasi global, target pencapaian kawasan konservasi sesuai *The Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework's* ("30x30" target), mengharuskan konservasi dan pengelolaan yang efektif setidaknya 30% dari kawasan daratan, perairan darat, dan kawasan pesisir dan laut hingga tahun 2030 melalui baik kawasan lindung maupun OEEM (*Convention on Wetlands*, 2025). R2R merupakan salah satu upaya berbingkai konservasi yang dilakukan melalui rekayasa ekosistem terumbu karang, habitat baru bagi konservasi ikan, serta perlindungan dan pelestarian keanekaragaman hayati yang dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif pengembangan dan perluasan OEEM. R2R pun dapat digunakan sebagai strategi diversifikasi untuk perlindungan keanekaragaman hayati yang dapat melengkapi dan memperkaya kawasan konservasi perairan.

R2R memiliki potensi besar untuk berkontribusi terhadap upaya konservasi laut di Indonesia, khususnya dalam konteks penerapan OEEM. Lokasi R2R yang berada di perairan Selat Makassar sebelah timur Kota Bontang

berada tidak jauh dari Kawasan Konservasi Perairan Daerah Bontang, Provinsi Kalimantan Timur (KKPD Bontang), sehingga keberadaannya dapat memperkuat kualitas ekosistem di sekitar kawasan konservasi dan menciptakan jejaring ekosistem laut yang lebih sehat.



R2R berpotensi besar untuk berkontribusi terhadap upaya konservasi laut di Indonesia, khususnya dalam konteks penerapan OEEM

Foto: Dokumentasi Survei, 2025

Selain itu, kegiatan ini telah memperoleh Rekomendasi Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Laut (KKPRL) dari Menteri Kelautan dan Perikanan dengan luas area 3,89 hektar, yang memberikan kepastian secara spasial dalam pengelolaan dan pemanfaatan ruang lautnya. Meski demikian, masih diperlukan penguatan kelembagaan dan penetapan mekanisme pengelolaan yang jelas agar keberadaan struktur buatan ini dapat secara efektif diakui dan dikelola sebagai bagian dari OEEM. Langkah tersebut menjadi penting untuk memastikan bahwa kontribusi R2R

terhadap konservasi laut berjalan berkelanjutan dan didukung oleh dasar regulasi yang kuat.

Belajar dari keberhasilan kegiatan serupa di negara lain, anjungan lepas pantai yang telah dinonaktifkan dan dikonversi melalui program *Rigs to Reefs* memiliki potensi yang signifikan untuk memenuhi syarat sebagai OECM. Berdasarkan studi Macreadie (2011), praktek R2R terhadap platform minyak lepas pantai di lepas pantai California menunjukkan habitat ikan laut paling produktif yang pernah diteliti, dengan produksi ikan per unit area yang lebih tinggi daripada terumbu karang alami dalam banyak kasus. Lebih lanjut, studi dari California menunjukkan bahwa platform minyak yang diubah dapat membuat habitat baru dengan 10 kali lebih banyak biomassa ikan dibandingkan terumbu karang alami di sekitarnya.

Berdasarkan beberapa studi, selain berfungsi sebagai area “konservasi tambahan” yang memperkuat ekosistem di sekitarnya, R2R juga memiliki nilai konservasi tinggi, antara lain:

1. R2R menciptakan substrat keras di perairan terbuka yang dikolonisasi oleh organisme *sessile* yang beragam dalam membentuk terumbu buatan (Shinn, 1974; Scarborough-Bull, 1989);
2. Platform dapat bertindak sebagai tempat perlindungan dari penangkapan ikan komersial dan rekreasi, terutama penangkapan dengan pukat,

sehingga dapat menjadi kawasan perlindungan laut (Frumkes, 2002; Claisse et al., 2014);

3. R2R dapat menjadi “batu loncatan” penting bagi penelitian ekosistem laut, khususnya pada terumbu karang mesofotik yang terisolasi di lokasi-lokasi tertentu, di mana struktur platform yang dimanfaatkan kembali ini membuka peluang untuk mempelajari konektivitas, persistensi, dan ketahanan (*resilience*) berbagai spesies yang terkait dengan terumbu karang dalam rentang waktu tertentu melalui pemantauan berkelanjutan di sekitar platform.

Bahwa memang sejauh ini, belum didapati informasi yang menunjukkan adanya praktik penetapan R2R menjadi OECM di lingkungan global. Hal ini disinyalir dipengaruhi oleh OECM sebagai konsep dan mekanisme baru yang tengah dalam penajakan untuk proses penerapannya. Di Indonesia, belum pula ditemui area yang secara definitif telah ditetapkan sebagai OECM, melainkan baru sebatas area berpotensi dan/atau kandidat OECM sebagaimana peta atau daftar sebarannya yang dipublikasi dalam laman sidako.kkp.go.id (KKP, 2025).

Karena itu, wacana R2R Attaka-EB sebagai OECM adalah sebuah gagasan awal untuk dapat dipertimbangkan lebih lanjut. Disadari bahwa, terdapat sejumlah tuntutan ataupun tantangan yang masih perlu dipersiapkan dan dipenuhi atas wacana tersebut, antara lain:

Gambar 33

Potensi Kontribusi *Rigs to Reefs* untuk Mendukung Upaya Konservasi



1. Hasil konservasi yang terukur, yang ditunjukkan dengan kejelasan referensi atau riwayat peningkatan/penjagaan keanekaragaman hayati dan perlindungan fungsi ekosistem yang berjalan pada R2R yang bersangkutan;
2. Keberlanjutan jangka panjang, yang dicerminkan oleh kepastian atau jaminan hukum bahwa struktur tidak akan diangkat/diubah secara sewenang-wenang, serta adanya rencana jangka panjang pasca-dekomisioning (monitoring, pemeliharaan, mitigasi risiko);
3. Tata kelola dan pengelolaan yang terdokumentasi, yang berkenaan dengan pihak pengelola, mandat, mekanisme pengambilan keputusan, aturan pemanfaatan, dan penegakan hukum;
4. Kontribusi terhadap target konservasi nasional, yang dikaitkan dengan target 30x45, jaringan MPA/OECM nasional, dan rencana tata ruang laut nasional.

Integrasi dengan Kawasan Konservasi Perairan di Sekitarnya

Perairan Kota Bontang memiliki Kawasan Konservasi Perairan Daerah (KKPD) yang ditetapkan dengan potensi pengelolaan terhadap ekosistem pesisir dan laut meliputi terumbu karang, mangrove dan lamun. Integrasi KKPD tersebut dengan R2R yang berlokasi berdekatan dapat

menawarkan peluang substansial untuk meningkatkan konservasi keanekaragaman hayati dan pengelolaan perikanan berkelanjutan, melalui peningkatan konektivitas pada keanekaragaman hayati, efek *spillover* perikanan, dan konservasi pada skala ekosistem.

Dalam studi yang dilakukan oleh Nugaraha et al. (2017), dijelaskan bahwa salah satu pertimbangan utama dalam penempatan anjungan lepas pantai yang telah dinon-aktifkan di perairan Kota Bontang adalah sebagai upaya memaksimalkan manfaat ekologis melalui pemahaman mengenai jalur penyebaran larva karang sebagaimana diuraikan oleh Cowen (2009). Pertimbangan tersebut menjadi relevan mengingat lokasi penempatan berada di sekitar KKPD Bontang, yang berpotensi menjadi sumber alami bagi penyebaran larva karang. Pertumbuhan populasi karang pada lokasi anjungan akan sangat bergantung pada jarak antara anjungan dan habitat sumber alami, di mana jarak ideal untuk memungkinkan penangkapan larva karang secara optimal adalah kurang dari 65 km.

Dengan demikian, pemahaman terhadap pola konektivitas ekosistem di kawasan konservasi menjadi faktor penting untuk menilai efektivitas kawasan konservasi perairan dalam mendukung rekrutmen terumbu karang pada terumbu karang buatan hasil program R2R. Lebih lanjut, berdasarkan penelitian Joshua et al. (2017), peningkatan

konektivitas ekosistem dapat dicapai dengan memahami hubungan yang terbentuk antara satu kawasan konservasi dengan kawasan lainnya, termasuk kondisi antar ekosistem dan target konservasi yang diukur. Dalam konteks KKPD Bontang, konektivitas tersebut dapat diperkuat melalui kehadiran R2R sebagai area konservasi tambahan yang berfungsi melengkapi jejaring ekosistem di sekitarnya.

Salah satu pertimbangan utama penempatan ALP di perairan Kota Bontang adalah memaksimalkan manfaat ekologis melalui pemahaman atas jalur penyebaran larva karang

Foto: Dokumentasi Survei, 2025



Integrasi antara R2R dan kawasan konservasi perairan yang sudah ada berpotensi memberikan manfaat konservasi yang terakumulasi di berbagai ekosistem, terutama bila jaringan tersebut dirancang secara strategis. Pendekatan ini tidak hanya dapat meningkatkan keragaman habitat dan konektivitas area konservasi yang lebih luas, tetapi juga memperluas wilayah perlindungan bagi keanekaragaman hayati, memperkuat resiliensi sejumlah spesies, serta

meningkatkan representasi ekologi di sekitar struktur R2R. Dengan demikian, integrasi ini berpotensi menjawab kebutuhan akan bentuk konservasi yang efektif di luar kawasan lindung formal, sebagaimana diamanatkan dalam konsep OEEM.

Peningkatan manfaat lain dari R2R dapat dilihat dalam konteks perikanan, terutama melalui potensi munculnya efek *spillover*. Fenomena ekologis ini menggambarkan peningkatan biomassa, ukuran, dan hasil reproduksi populasi ikan di dalam kawasan konservasi atau perairan yang dilindungi, yang kemudian menghasilkan pergerakan individu atau keturunan mereka ke wilayah penangkapan di sekitarnya (Climate Sustainability, 2025). Struktur R2R berpotensi memperkuat efek ini ketika diintegrasikan dengan KKPD Bontang yang berfungsi penting sebagai wilayah dispersi larva dan daerah asuhan (*nursery ground*) berkat keberadaan ekosistem pesisir seperti mangrove, padang lamun, dan terumbu karang.

Kehadiran terumbu buatan di lokasi R2R dapat memperluas fungsi tersebut, menciptakan jaringan ekosistem yang saling terhubung dan memungkinkan dispersi larva ikan yang berkontribusi terhadap pemulihan stok ikan di perairan sekitarnya. Dengan demikian, konektivitas ekologis melalui dispersi larva menjadi faktor penting dalam menjaga ketahanan (*resilience*) dan keberlanjutan ekosistem laut secara lebih luas.

Berdasarkan hasil survei sosial ekonomi (pemantauan R2R tahun 2024), analisis data hasil tangkapan ikan di sekitar lokasi menunjukkan bahwa struktur komunitas ikan memiliki indeks keanekaragaman sedang, indeks keseragaman tinggi, dan indeks dominansi rendah. Kondisi ini mencerminkan bahwa ekosistem di sekitar struktur R2R telah mendukung sumber daya ikan yang relatif baik, dengan ukuran populasi yang seimbang dan tanpa spesies tertentu yang mendominasi. Dibandingkan dengan area di luar lokasi R2R, jumlah jenis ikan di area R2R tercatat lebih tinggi, menandakan adanya kontribusi nyata terhadap peningkatan keanekaragaman hayati.

Dibandingkan dengan area di luar lokasi R2R, jumlah jenis ikan di area R2R tercatat lebih tinggi

Foto: Dokumentasi Survei, 2025



Hasil pemantauan ikan karang pada struktur juga memperlihatkan adanya peningkatan tingkat trofik dan jumlah spesies dari tahun ke tahun, dengan puncak pada tahun 2025 yang mencatat 21 famili dan 45 spesies ikan

(berdasarkan uji e-DNA). Temuan ini sejalan dengan studi oleh Claisse et al. (2014), yang menunjukkan bahwa di beberapa kasus, anjungan lepas pantai memiliki biomassa ikan lebih tinggi dibandingkan dengan area berpasir atau lokasi terumbu karang alami. Kondisi tersebut menjadikan area di sekitar objek R2R berfungsi sebagai “wilayah penangkapan tambahan”, terutama bagi spesies pelagis pada kedalaman 200-300 meter dan spesies demersal pada kedalaman 1-100 meter.

Selain nilai ekologisnya, lokasi ini juga membuka peluang dalam konteks wisata perikanan, sebagaimana ditemukan di beberapa negara yang mengizinkan praktik tersebut, di mana area serupa menjadi bagian penting dari industri pariwisata lokal (Stanley & Wilson, 1989). Dengan pengaturan area dan regulasi penangkapan yang tepat, peningkatan biomassa dan produksi ikan dari R2R dapat berkontribusi terhadap efek *spillover*, yang mendukung keberlanjutan perikanan di wilayah sekitarnya.

Ancaman terhadap *Rigs to Reefs* dan Kebutuhan Kelembagaan

Meningkatnya konsentrasi ikan ekonomis di sekitar struktur R2R dapat menimbulkan risiko baru terhadap keberlanjutan ekosistem laut. Aktivitas penangkapan yang tidak terkendali berpotensi mengarah pada penangkapan

berlebih (*overfishing*), terutama jika lokasi tersebut menjadi titik agregasi ikan yang menarik nelayan dalam jumlah besar. Studi oleh Bohnsack (1998) menunjukkan bahwa struktur buatan seperti terumbu dapat menjadi rumah ikan yang efektif, namun juga berpotensi menimbulkan efek negatif apabila menjadi fokus utama penangkapan. Fenomena serupa dapat terjadi pada R2R di Indonesia, di mana peningkatan biomassa ikan tanpa pengaturan yang memadai berpotensi menggeser fungsi ekologisnya dari habitat restoratif menjadi *fishing hotspot* yang rentan terhadap eksploitasi.

Hasil survei sosial ekonomi R2R tahun 2024 menunjukkan bahwa ukuran dan jumlah ikan hasil tangkapan di sekitar struktur lebih tinggi dibandingkan area di luar lokasi. Namun, sebagian besar nelayan masih memilih daerah penangkapan di luar struktur karena efisiensi usaha yang lebih besar, walaupun biaya operasional di sekitar R2R relatif lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa tekanan perikanan di sekitar struktur R2R belum mencapai puncaknya, akan tetapi berpotensi meningkat seiring bertambahnya pengetahuan nelayan tentang keberadaan dan produktivitas area ini. Jika peningkatan aktivitas tersebut tidak diantisipasi dan diimbangi dengan regulasi dan pengawasan yang kuat, maka R2R dapat terdistraksi dari fungsi utamanya sebagai penopang keanekaragaman hayati laut.

Selain tekanan dari perikanan, ancaman lain terhadap keberlanjutan R2R berasal dari aktivitas di perairan sekitar lokasi. Berdasarkan hasil observasi lapangan, terlihat beberapa kapal besar melintas dan ditemukan 3–4 kapal berukuran besar yang melakukan labuh jangkar di area sekitar struktur. Aktivitas ini menimbulkan risiko kerusakan fisik terhadap komponen struktur serta biota bentik seperti karang keras, spons, dan *soft coral* yang telah menempel dan tumbuh di permukaan. Gesekan atau tumbukan jangkar dapat mematahkan koloni karang, menumbangkan bagian struktur, serta mengganggu habitat ikan yang berasosiasi di sekitar R2R.

Lebih lanjut, selama kegiatan penyelaman pada survei 2025 juga terdengar suara ledakan bawah air yang mengindikasikan praktik penangkapan ikan dengan bahan peledak (*destructive fishing*). Aktivitas ini sangat merusak, tidak hanya menghancurkan biota karang dan bentik di sekitar struktur, tetapi juga menimbulkan efek kejut yang mematikan ikan dan organisme lain dalam radius yang luas. Ledakan bawah air dapat menghilangkan fungsi ekologis R2R secara instan, merusak substrat, dan menghancurkan proses kolonisasi yang telah terbentuk bertahun-tahun. Melalui temuan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan mendesak dalam memperkuat pengawasan, penegakan hukum, dan mekanisme perlindungan kawasan di sekitar R2R.

Aktivitas labuh jangkar kapal-kapal besar di sekitar lokasi R2R dapat menjadi ancaman kerusakan ekosistem karang

Foto: Dokumentasi Survei, 2025



Untuk menyikapi berbagai ancaman tersebut, diperlukan penguatan tata kelola dan kelembagaan yang terintegrasi dan adaptif. Kolaborasi lintas sektor harus diperkuat antara lembaga pengelola dekomisioning minyak dan gas, unit pengelola kawasan konservasi perairan (KKP), otoritas pelayaran dan keselamatan laut, serta aparat penegak hukum perikanan. Koordinasi kelembagaan ini diperlukan untuk memastikan kejelasan pembagian peran, mandat, dan mekanisme tanggung jawab setiap pihak mulai dari tahap penentuan lokasi, pengelolaan pasca-konversi, hingga pemantauan jangka panjang.

Selain penguatan tata kelola lintas lembaga, inisiasi pembentukan unit pengelola khusus R2R menjadi sangat penting. Lembaga ini dapat berfungsi sebagai koordinator yang memiliki kewenangan untuk:

1. Menetapkan protokol pemantauan ekologis dan sosial ekonomi;
2. Mengatur zona larangan jangkar dan zona penangkapan terbatas;
3. Mengembangkan sistem izin dan pelaporan bagi aktivitas pelayaran di sekitar struktur; serta
4. Mengintegrasikan data monitoring ke dalam sistem informasi kawasan konservasi perairan nasional.

Pendekatan tata kelola seperti yang diterapkan di Amerika Serikat dan Malaysia, di mana program R2R dikelola secara kolaboratif antara otoritas energi, lembaga perikanan, dan komunitas pesisir (BSEE, 2020; NOAA, 2007; Mohd Lokman et al., 2018; Chua & Sasekumar, 2008), dapat dijadikan acuan bagi pengembangan model serupa di Indonesia. Di kedua negara tersebut, struktur yang telah dikonversi ke R2R memiliki status hukum yang jelas, panduan operasional, serta sistem pengawasan bersama yang memastikan keberlanjutan ekologis dan sosial ekonomi. Dengan mengadopsi prinsip serupa, R2R di Indonesia berpotensi menjadi model pengelolaan habitat buatan yang efektif, berkelanjutan, dan terintegrasi dalam kerangka OECM nasional, sehingga mampu memberikan manfaat ekologis, sosial, dan ekonomi secara seimbang.

Evaluasi Konsep dan Implementasi *Rigs to Reefs*

R2R merupakan salah satu opsi dekomisioning potensial untuk anjungan migas lepas pantai, di mana infrastruktur yang sudah tidak digunakan lagi dialihfungsikan menjadi terumbu buatan, alih-alih dibawa kembali ke daratan untuk dibongkar atau dibuang (Kaiser dan Pulsipher, 2005). Kegiatan R2R di perairan Selat Makassar di timur Kota Bontang, yang merupakan proyek percontohan (*pilot project*) pertama di Indonesia, menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan.

Kerangka proyek ini merupakan hasil kerja sama antara Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) dengan Pemerintah Korea Selatan, yang dimulai sejak tahap inisiasi dan mencapai puncaknya dengan penyelesaian dekomisioning platform Attaka-EB pada November 2022. Sejak saat itu, dilakukan pemantauan berkala oleh KKP dari tahun 2023 hingga 2025 untuk menilai perkembangan biodiversitas serta fungsi ekologis struktur tersebut. Hasil pelaksanaan pemantauan tahun 2025 memperlihatkan adanya peningkatan tutupan karang, baik karang lunak maupun karang keras, dari 1,19% menjadi 3,15%. Jumlah genus ikan yang teridentifikasi secara visual juga meningkat dari 17 menjadi 31 dalam kurun waktu tiga tahun pengamatan. Sementara itu, analisis *environmental DNA* (e-DNA) menunjukkan peningkatan jumlah spesies ikan dari 27 spesies di tahun 2024 menjadi 45 spesies pada

tahun 2025. Hasil ini menggambarkan dinamika positif terhadap keanekaragaman hayati laut di sekitar struktur Attaka EB.

Dalam konteks keberhasilan ekologis, Van Elden et al. (2022) menjelaskan bahwa setiap platform, baik sebelum maupun sesudah proses dekomisioning, memiliki nilai ekologis yang signifikan. Dalam perspektif ekologi pemulihan, ekosistem yang mengalami transformasi seperti ini dapat diklasifikasikan sebagai *novel ecosystem* atau ekosistem baru, yaitu sistem ekologis yang terbentuk akibat perubahan lingkungan dan aktivitas manusia, namun berkembang secara alami dengan fungsi ekosistem yang baru. Menurut Hobbs et al. (2014), ekosistem baru ditandai oleh tiga kriteria utama, yaitu:

1. Komponen abiotik dan biotiknya berbeda dari kondisi historis;
2. Ekosistem tersebut dapat mengatur dirinya sendiri tanpa pengelolaan intensif; dan
3. Terdapat keterbatasan praktis (ekologis, lingkungan, atau sosial) yang mencegah kembalinya ke keadaan asal.

Dalam konteks R2R, proses suksesi ekologis pada setiap platform menunjukkan bahwa komunitas fauna dapat berkembang dengan cepat. Bohnsack (1989) melaporkan bahwa ikan mulai muncul dalam hitungan jam setelah struktur ditempatkan, sedangkan menurut Driessen (1986)

habitat terumbu karang yang kompleks dapat terbentuk dalam waktu 5-6 tahun. Hasil pemantauan struktur *jacket* Attaka-EB memperlihatkan perkembangan biodiversitas yang konsisten dengan fenomena tersebut, dengan peningkatan keragaman biota dan terbentuknya komunitas yang stabil.

Namun demikian, tidak semua platform lepas pantai dapat dikategorikan sebagai *novel ecosystem*. Platform yang ditempatkan dekat dengan terumbu karang alami, misalnya, cenderung berfungsi sebagai perpanjangan habitat alami tanpa mengubah karakter abiotik dan biotik secara signifikan. Sebaliknya, platform yang ditempatkan di area berpasir atau berlumpur (seperti pada kasus Attaka-EB) dapat secara nyata mengubah kondisi ekosistem, menciptakan substrat keras baru, dan memicu terbentuknya komunitas spesies yang berbeda dari kondisi awal (Van Elden et al., 2022).

Dalam konteks tersebut, perlu adanya penekanan dalam pengambilan keputusan untuk mengevaluasi apakah platform yang didekomisioning seperti Attaka-EB, secara ilmiah memenuhi kriteria sebagai *novel ecosystem* dan memiliki status konversi utuh dari struktur industri menjadi terumbu buatan yang berfungsi ekologis. Penilaian ini penting untuk memastikan bahwa proses alih fungsi tidak hanya bersifat teknis, akan tetapi juga berbasis pada

pemahaman ekologis yang komprehensif dan adaptif terhadap dinamika perairan.

Sebagaimana dijelaskan oleh Van Elden et al. (2022), konsep *novel ecosystem* dapat diintegrasikan ke dalam kerangka analisis pengambilan keputusan dekomisioning yang telah ada. Dengan pendekatan ini, proses penilaian mencakup berbagai aspek, mulai dari karakteristik ekologis hingga teknis, termasuk kondisi abiotik dasar perairan, tingkat produktivitas ikan di sekitar struktur, dampak terhadap habitat bentik, kualitas air, serta dinamika komunitas biota yang berkembang di sekitar platform. Selain itu, aspek keselamatan pelayaran juga menjadi pertimbangan penting, terutama terkait dengan kedalaman perairan dan jarak struktur terhadap jalur navigasi. Struktur yang dikonversi menjadi R2R harus ditempatkan pada kedalaman yang aman dan tidak mengganggu alur pelayaran, sekaligus tetap memberikan manfaat ekologis yang optimal.

Pendekatan berbasis kriteria ekologis, teknis, dan keselamatan ini menjadi dasar penting dalam pemilihan lokasi dan pengelolaan R2R secara berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan penguatan regulasi nasional yang mengatur tentang tata cara penetapan lokasi, standar keselamatan, serta mekanisme pengawasan dan pemantauan pasca-konversi. Regulasi tersebut diharapkan mampu memastikan bahwa setiap implementasi R2R

tidak hanya memberikan manfaat ekologis dan sosial ekonomi, tetapi juga memenuhi standar keselamatan pelayaran dan keberlanjutan jangka panjang ekosistem laut Indonesia.



Harapan Hari Esok Sang Raksasa

Sadari tadi Attaka tersenyum melihat polah Galaxea, karang keras mungil yang sibuk memamerkan pendar merah tubuhnya kepada Lili Laut dan Kipas Laut yang tak henti-henti melambai-lambai di dekatnya. Sesekali, ikan Kupu-kupu menghampiri mereka, sedangkan koloni ikan lainnya terlihat sibuk dan riuh di sekeliling tubuh Attaka.

Dari kejauhan terlihat sosok besar yang meluncur mengarah padanya. Semakin dekat semakin terlihat jelas, serta merta mengucur deras aliran rindu yang terbendung tiga tahun lamanya. Sontak, air mata bahagia pun mengiringi senyum Attaka sambil menyapanya “Kau benar Paus Biru, akhir bukanlah petaka dan kehidupan baru penuh warna adalah nyata”.

Paus Biru membalas senyum Attaka, lantas berkata “Semarak kehidupan baru dan keindahan ini baru permulaan Attaka, hingga waktunya kemegahan itu akan benar-benar sempurna”. Paus Biru terdiam sejenak, lalu melafadzkan sebuah harapan “Cepat atau lambat keberadaanmu akan semakin dikenali manusia, semoga mereka melindungimu dengan kearifannya dan memperlakukanmu dengan kebijaksanaannya”.

Attaka berusaha mencerna hal yang baru saja didengarnya sambil terus menatap Sang Paus Biru yang secara perlahan beranjak darinya. Di dalam hatinya ia bergumam “Adakah kearifan dan kebijaksanaan manusia akan membersamaiku?”

DAFTAR PUSTAKA

- Alié, A., Hiebert, L. S., Scelzo, M., Tiozzo, S. 2020. *The Eventful History of Nonembryonic Development in Tunicates*. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution. 336 (3): 250-266.
- Allen, G., Steene, R., Humann, P., and DeLoach, N. 2003. *Reef Fish Identification; Tropical Pacific*. New World Publications, Inc. Jacksonville, Florida, USA. 457 p.
- Allen, G., 2000. *Marine Fishes of South-East Asia: A Field Guide for Anglers and Divers*. Periplus Editions (HK) Ltd., Singapore, 292 p.
- Arvianto, S. E., Satriadi, A., & Handoyo, G. (2016). *Pengaruh Arus terhadap Sebaran Sedimen Tersuspensi di Muara Sungai Silugonggo Kabupaten Pati*. Journal of Oceanography; Vol 5, No 1 (2016). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/10516>
- Arini, D. I. D., 2013. *Potensi Terumbu Karang Indonesia: Tantangan dan Upaya Konservasinya*. INFO BPK Manado. 3(2):147-173.
- Arifin Z., Luthfi. 2016. *Studi Pertumbuhan dan Survival Rate pada Transplantasi Karang Arcopora sp. di Pantai Kondang Merak Kabupaten Malang*. Semin Nas Perikan dan Kelaut VI. October:556-561.
- Atchison, A. D., Sammarco P. W., and Brazeau, D. A. 2008. *Genetic Connectivity in Corals on The Flower Garden Banks and Surrounding Oil/Gas Platforms, Gulf of Mexico*. J Exp Mar Biol Ecol 365: 1-12.
- Ben D'Antonio, Luciana C. Ferreira, Rebecca Fisher, Michele Thums, Charitha B. Pattiaratchi, Ana M. M. Sequeira, Cal Faubel, Samantha Reynolds, Brad Norman, Mark Meekan, 2025. *Natural and Artificial Structures Influence the Movement and Habitat Connectivity of Whale Sharks (Rhincodon typus) Across Seascapes*. Wiley, Diversity and Distributions University of Western Australia. Volume 31 Issue 1
- Bergbauer, M., Kirschner M., 2014. *Reef Fishes of The Indo-Pacific*. John Beaufoy Publishing Limited, United Kingdom, 352 p.
- Bohnsack JA. 1989. *Are High Densities to Fish at Artificial Result of Habitat or Behavioural Preference?* Bull Mar Sci 44:631-45
- Burke L, Reytar K, Spalding M and Perry A. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. World Resources Institute, Washington DC. 114 p.

- Caley, M. J., M. H. Carr, M. A. Hixon, T. P. Hughes, G. P. Jones and B. A. Menge, 1996. *Recruitment and the Local Dynamics of Open Marine Populations*. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Journal Ecology, Evolution, and Systematics Vol. 27: 477-500 (Volume publication date November 1996) DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.27.1.477.
- Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A. and Holmes, S. P., 2016. *DADA2: High-Resolution Sample Inference from Illumina Amplicon Data*. *Nature methods*, 13(7), pp.581-583.
- Charbonnel E., Serre C., Ruitton S., Harmelin J.G., and Jensen A. 2002. *Effects of Increased Habitat Complexity on Fish Assemblages Associated with Large Artificial Reef Units (French Mediterranean Coast)*. *ICES Journal of Marine Science* 59:208-213.
- Choat, J. H. and D. R. Bellwood., 1991. *Reef Fishes: Their History and Evolution*. P. F. Sale (ed) *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press. California.
- Collins, R. A., Bakker, J., Wangensteen, O. S., Soto, A. Z., Corrigan, L., Sims, D. W., Genner, M. J. and Mariani, S., 2019. *Non-Specific Amplification Compromises Environmental DNA Metabarcoding with COI*. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(11), pp.1985-2001.
- Cowen, R. K and Sponaugle, S. 2009. *Larval Dispersal and Marine Population Connectivity*. *Annual Reviews of Marine Science*. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2009.1:443–66. doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163757
- DeVictor, S. T. and Morton, S. L. 2007. "*Family Plexauridae*". *Guide to the Shallow Water Octocorals of the South Atlantic Bight*.
- Doods, et al., (2007). *Metabolic Tolerance of The Cold-Water Coral Lophelia pertusa (Scleratinia) Temperature and Dissolved Oxygen Change*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 349(2), 205-214
- Djalil, V. N., Farajallah, A., Wardiatno, Y. 2018. *Aplikasi Teknik Environmental DNA (eDNA) Untuk Deteksi Spesies Cheraxquadricarinatus Menggunakan Sampel Air*. (Von Martens 1868). *J Biol Trop*. 18(2):134–140.
- Edwards, A. J. and Gomez E. D. 2007. *Reef Restoration Concepts and Guidelines: Making Sensible Management Choices in the Face of Uncertainty*. *The Coral Reef Targeted Research and Capacity Building for Management Program*. The University of Queensland, Australia. 42pp.
- English, S., C. Wilkinson and V. J. Baker, 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. 2nd Edition. ASEAN-Australia Marine Science Project. Australian Institute of Marine Science, pp. 390.
- Erika, G., Opresko, D., Brugler, Mercer R.; Wagner, D., Eeckhaut, I., Terrana, L. 2020. *Widest Geographic Distribution of a Shallow and Mesophotic Antipatharia*

- rian Coral (Anthozoa: Hexacorallia): *Antipathes Grandis* VERRILL, 1928 – Confirmed by Morphometric and Molecular Analyses. *Marine Biodiversity Records*. 13 (1): 12. doi:10.1186/s41200-020-00195-0. ISSN 1755-2672.
- Faisol, Rahman. 2022. *Abandonment and Site Restoration (ASR) Pascaoperasi Industri Minyak dan Gas Bumi*. Diakses pada 25 Agustus 2025, dari <https://pslh.ugm.ac.id/abandonment-and-site-restoration-asr-pasca-operasi-industri-minyak-dan-gas-bumi/>
- Fernando, Sasha. 2025. *Rigs-to-Reefs: How Old Oil Rigs Become New Homes for Marine Life*. Diakses pada 21 Agustus 2025 dari <https://earth.org/rigs-to-reefs-how-old-oil-rigs-platforms-become-new-homes-for-marine-life/>
- Giyanto, 2012. *Kajian tentang Panjang Transek dan Jarak Antar Pematretan pada Penggunaan Metode Transek Foto Bawah Air*. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 38 (1): 1-18.
- Giyanto, 2014. *Panduan Monitoring Kesehatan Terumbu Karang: Terumbu Karang, Ikan Karang, Megabenthos, dan Penulisan Laporan*. Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Giyanto, B. H., Iskandar, D., Soedarma, dan Suharsono. 2010. *Efisiensi dan Akurasi pada Proses Analisis Foto Bawah Air untuk Menilai Kondisi Terumbu Karang*. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 36 (1): 111-130.
- Glasson, J, R. Therivel and A. Chadwick. 2005. *Introduction to Environmental Impact Assessment*. London: Spon.
- Gordon, D. P. (2009). *New Zealand Inventory of Biodiversity: 1. Kingdom Animalia: Radiata, Lophotrochozoa, Deuterostomia*. Christchurch: Canterbury University Press. p. 373. ISBN 978-1-877257-72-8.
- Goreau, T. J., & Hilbertz, W. (2005). *Marine Ecosystem Restoration: Costs and Benefits for Coral Reefs*. *World Resource Review*, 17(3), 375-409
- Gratwicke, B., Speight, M. R. 2005. *Effects of Habitat Complexity on Caribbean Marine Fish Assemblages*. *Marine Ecology Progress Series* 292:301-310
- Hansson, H. 2012. "*Crinoidea*". WoRMS. World Register of Marine Species. Retrieved 2013-01-30.
- Hill, J., and C. Wilkinson. 2004. *Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs, Version 1; A Resource for Managers*. Australian Institute of Marine Science. Australia.
- Iswara, S. 2010. *Analisis Laju Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Karang Acropora sp, Hydnopora rigida, dan Pocillopora verrucosa yang Ditransplantasikan di Pulau Kelapa Kepulauan Seribu*.

- Jageroos, Sylvia, & Krause, Paul, R. 2016. *Rigs-To-Reef; Impact or Enhancement on Marine Biodiversity*. Journal of Ecosystem & Ecography. Environment Resources Management. Kuala Lumpur
- Johan, O., Soedharna, D., Suharsono. 2008. *Tingkat Keberhasilan Transplantasi Karang Batu pada Lokasi Berbeda di Gugusan Pulau Pari Kepulauan Seribu Jakarta*. 3(2):289–300.
- Keputusan Direktur Jenderal Pengelolaan Ruang Laut Nomor 6 Tahun 2023 Tentang *Petunjuk Teknis Pemantauan Terumbu Buatan yang Berasal dari Kegiatan Rig To Reef*
- Kohler, K. E., M. Gill. 2006. *Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe): A Visual Basic Program for The Determination of Coral and Substrate Coverage Using Random Point Count Methodology*. Comput Geosci 32 (9): 1259-1269.
- Kuiter, R. H., 2001. *Pictorial Guide to Indonesian Reef Fishes*. (No Title).
- Maceredie et.al., 2011. *Rig-to-Reefs: Will The Deep Sea Benefit from Artificial Habitat?*. Ecological Society of America. Front Ecol Environ 2011: 9 (8):455-461
- Madduppa, H. H., Subhan, B., Suparyani, E., Siregar, A. M., Arafat, D., Tarigan, S. A., Alimuddin, A., Khairudi, D., Rahmawati, F. and Brahmandito, A. 2013. *Dynamics of Fish Diversity Across an Environmental Gradient in The Seribu Islands Reefs of Jakarta*. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 14(1): 17-24.
- Maida, M., Paul W. Sammarco, John C. Coll. 1995. *Effect of Soft Coral on Scleractinian Coral Recruitment*. I: Directional allelopathy and inhibition of settlement. Marine Ecology Progress Series. Vol. 121 : 191-202.
- Manuputty, Anna E. W., dan Djuwariah. 2009. *Method Guide Pont Intercept Transect (PIT) for Community, Baseline Study and Coral Health Monitoring at Marine No Take Zone Area (DPL)*. Coremap II – LIPI. Jakarta.
- Martin, M., 2011. *Cutadapt Removes Adapter Sequences from High-Throughput Sequencing Reads*. EMBnet. journal, 17(1), pp.10-12.
- Maula, A. I. 2020. *Rig To Reefs : Ketika Oil Rig Menguntungkan Alam dan Manusia*. Diakses pada 27 September 2025, dari https://www.kompasiana.com/athifizza-maula5215/5fd89b8b8ede4825ab44c0d2/rig-to-reefs-ketika-oil-rig-menguntungkan-alam-dan-manusia?page=1&page_images=1
- McCook, L. J., 1999. *Macroalgae, Nutrients and Phase Shifts on Coral Reefs: Scientific Issues and Management Consequences for the Great Barrier Reef*. Coral reefs, 18 (1999), pp. 357–367.
- McFall-Johnsen, M. and Lee, L. 2023. *Scientists Found a New Sea Creature With 20 'Arms' and Named It After*

- a Strawberry*. Insider. Archived from the original on 12 August 2023.
- Mendonça-Neto, J. P., Monteiro-Neto, C., and Moraes, L. E. 2008. *Reef Fish Community Structure on Three Islands of Itaipu, Southeast Brazil*. *Neotropical Ichthyology* 6(2):267-274.
- Molodtsova, T., and Opresko, D. 2020. "*Antipatharia*". WoRMS. World Register of Marine Species.
- Nugaraha, R., et al. 2017. *Potential Ecological Benefits of Rigs to Reefs in the Indonesian Archipelago*. *Indonesian Journal of Marine Science*, 22(1), 45–56.
- Nybakken, J. W. 1993. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Diterjemahkan H. M. Eidman, Koesoebiono, D.G. Bengen, M. Hutomo, dan S. Sukardjo. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 480 h.
- Ofwegen, V. L. 2010a. "*Melithaeidae*". WoRMS. World Register of Marine Species.
- Ofwegen, V. L., 2010b. "*Nephtheidae*". WoRMS. World Register of Marine Species.
- Ofwegen, V. L., 2012. "*Plexauridae*". WoRMS. World Register of Marine Species. Retrieved 2012-12-19.
- Ofwegen, V. L., 2013. "*Nidaliidae Gray, 1869*". WoRMS. World Register of Marine Species.
- Ofwegen, V. L., 2014. "*Clavulariidae Hickson, 1894*". WoRMS. World Register of Marine Species.
- PERSGA/GEF, 2004. *Standard Survey Methods for Key Habitats and Key Species in The Red Sea and Gulf of Aden*. PERSGA Technical Series No 10, PERSGA, Jeddah, 310 p.
- Permanawati, Y., & Sarmili, L. 2016. *Pengaruh Sedimentasi terhadap Penyebaran Terumbu Karang di Teluk Wondama, Papua*. *Jurnal Geologi Kelautan*, 6(3).
- Primastuti, R. A. 2020. *Dekomisioning Anjungan Lepas Pantai dan Dampaknya terhadap Ekologi dan Lingkungan Laut*. Diakses pada 15 Agustus 2025, dari https://www.kompasiana.com/retnani12054/5fe936398ede4809553d4052/dekomisioning-anjungan-lepas-pantai-dan-dampaknya-terhadap-ekologi-dan-lingkungan-laut?page=1&page_images=1
- Richmond, R. H and C. L. Hunter. 1990. *Reproduction and Recruitment of Corals: Comparisons Among the Caribbean, the Tropical Pacific, and the Red Sea*. *Mar Ecol Prog Ser* 60: 185-203.
- Richmond, R. H, 1997. *Reproduction and Recruitment in Corals: Critical Links in the Persistence of Reefs*. Di Dalam: Birkeland C. (ed.). *Life and Death of Coral Reefs*. New York: Chapman & Hall. hlm 175-197.
- Sale, P. F. 1991. *Reef Fish Communities: Open Nonequilibrium Systems*. The ecology of fishes on coral reefs, 564-598.
- Sale, P. F., and Douglas, W.A. 1984. *Temporal Variability in The Community Structure of Fish on Coral Patch*

Reefs and The Relation of Community Structure to Reef Structure. Ecology 65(2):409-422.

- Santoso, P., Setiawan, F., Subhan, B., Arafat, D., Bengen, D.G., Iqbal Sani, L.M., Humphries, A.T. and Madduppa, H., 2022. *Influence of Coral Reef Rugosity on Fish Communities in Marine Reserves Around Lombok Island, Indonesia. Environmental Biology of Fishes*, 105(1), pp.105-117.
- Shaw, J. L. A., Clarke, L. J., Wedderburn, S. D., Barnes, T. C., Weyrich, L. S., Cooper, A. 2016. *Comparison of Environmental DNA Metabarcoding and Conventional Fish Survey Methods in a River System. Biol Conserv.* 197:131-138.
- Sorokin, 1991. *Parameters of Productivity and Metabolism of Coral Reef Ecosystems of Central Vietnam. Estuarine Coastal Shelf Sci.* 33: 259-280.
- Soto, E. I and E. Weil. 2009. *Spatial and Temporal Variability in Juvenile Coral Densities, Survivorship and Recruitment in La Parguera, Southwestern Puerto Rico. Caribbean Journal of Science.* 2009;45(2-3):269-281. doi: 10.18475/cjos.v45i2.a14.
- Sucman, E., Vávrová, M., Zlámalová, H., dan Mahrová, M. 2010. *Fish-Useful Bio Indicators for Evaluation of Contamination in Water Ecosystems. Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*, 11 (3).
- Suharsono. 2008. *Jenis-jenis Karang di Indonesia*. Jakarta (ID): LIPI Press.
- Supriharyono. 1986. *The Effects of Sedimentation on a Fringing Reef in North Central Java, Indonesia*. PhD Thesis, Department of Zoology, University of Newcastle upon Tyne, UK.
- Supriharyono. 2009. *Konservasi Ekosistem Sumberdaya Hayati*. Penerbit Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Suwartimah, K., Redjeki, S., Pagripto, R. N. W. 2016. *Reef Fish Community of Pamuteran and Sumber Kima Waters, Buleleng, Bali. Buletin Oseanografi Marina* April 2016 Vol 5 No 1 : 73 – 81 [in Indonesia]
- Thacker, R., Ginsburg, D. and Paul, V. 2001. *Effects of Herbivore Exclusion and Nutrient Enrichment on Coral Reef Macroalgae and Cyanobacteria. Coral Reefs* 19, 318-329. <https://doi.org/10.1007/s003380000122>
- Talley, L. D., George, L.P., William, J.E dan James, H.S. 2011. *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction*. Elsevier: USA
- Taufina, T., Faisal, F., Lova, S. M. 2018. *Rehabilitasi Terumbu Karang Melalui Kolaborasi Terumbu Buatan dan Transplantasi Karang di Kecamatan Bungus Teluk Kabung Kota Padang: Kajian Deskriptif Pelaksanaan Corporate Social Responsibility (Csr) Pt. Pertamina (Persero) Marketing Operation Region (Mor) I –*

Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) Teluk Kabung.
Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat. 24(2):730

Tomascik, T. & Sander, F. 1985. *Effects of Eutrophication on Reef-Building Corals.* Marine biology, 87 (2), 143-155

Wagner, D and Toonen, R. J. 2012. *The Biology and Ecology of Black Corals (Cnidaria: Anthozoa: Hexacorallia: Antipatharia).* Advanced Marine Biology. 63 (132): 63–67. doi:10.1016/B978-0-12-394282-1.00002-8. PMID 22877611.

Wagner, D. 2011. *The Biology and Ecology of Hawaiian Black Corals (Cnidaria : Anthozoa: Hexacorallia: Antipatharia) (PhD).* University of Hawaii at Manoa.

Wibawa, Nugraha, I.G., & Lutfi, O.M. 2017, *Kualitas Air Pada Ekosistem Terumbu Karang di Selat Sempu Sendang Biru, Malang,* Jurnal Segara, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya

“Written in an easily understandable manner, this book provides a digestible explanation of the government project for readers to understand the rigs-to-reefs method, the process of the project implementation, as well as the ecological and socio-economic effects provided at the reefing site.”

Cho IlHyung, B.Sc., M.Sc.

Co-Director of Korea-Indonesia Offshore Research Cooperation Center (KIORCC)

*“Rigs to Reefs menjadi salah satu pendekatan strategis yang mengintegrasikan kepentingan energi, lingkungan, dan sosial dalam pengelolaan pasca-produksi anjungan migas. Buku Terumbu Baru di Dasar Biru menunjukkan bahwa pemanfaatan anjungan sebagai terumbu buatan menjadi alternatif *decommissioning* yang lebih efisien sekaligus mendukung ekologi laut dan perikanan. Lebih dari solusi teknis, konsep ini mencerminkan prinsip ESG dan ekonomi sirkular serta layak menjadi rujukan kebijakan yang berkelanjutan di Indonesia.”*

Dr. Ir. Djoko Siswanto, M.B.A.

Kepala Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi/SKK MIGAS

“Rigs to Reefs merupakan gagasan ekonomi sirkular yang mengubah risiko pascatambang menjadi peluang ekonomi kelautan yang berkelanjutan. Konsep ini menyinergikan konservasi, kelembagaan, dan kesejahteraan melalui pemulihan terumbu dan peningkatan biomassa ikan. Buku ini inspiratif sekaligus mendorong lahirnya ekonomi baru berbasis sumber daya terbarukan. Selamat membaca dan menggali gagasan berikutnya.”

Prof. Dr. Yonvitner, S.Pi., M.Si.

Kepala Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL) IPB University



KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN

Jl. Medan Merdeka Timur No. 16, Jakarta 10110, Kotak Pos 4130 JKP 10041

Telepon : (021) 3519070 (Lacak), Faksimile : (021) 3520357

Website : www.kkp.go.id, Surel : Ditjenpk@kkp.go.id

<https://portal-repo.kkp.go.id/s/fcEP4ndnEks49nP>

