

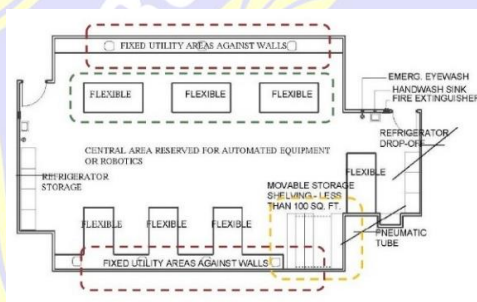
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN STUDI PRESEDEN

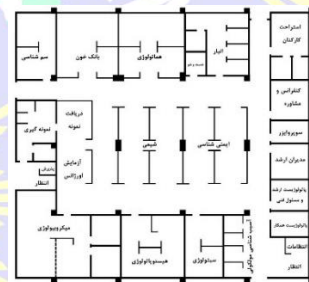
2.1 Kajian Ruang Arsitektur

2.1.1 Ruang Laboratorium Penelitian

Ruang laboratorium merupakan komponen utama dalam pusat riset karena menjadi tempat berlangsungnya proses penelitian dan produksi pengetahuan baru. Desainnya harus memenuhi standar teknis yang ketat, seperti keamanan, kontrol lingkungan, dan kenyamanan kerja. Darafarin (2021) menjelaskan bahwa klasifikasi desain ruang laboratorium mencakup kriteria fisik antar ruang, kedekatan zonasi antar unit teknis, prinsip-prinsip dasar untuk pengembangan di masa depan, serta adaptasi ruang bagi pengguna dengan kebutuhan mobilitas khusus. Hal ini juga mencakup standar ruang minimum dan fasilitas terkait, pencahayaan, ventilasi, pengaturan suhu, serta sistem proteksi kebakaran dan pengelolaan limbah yang cermat agar aktivitas laboratorium berlangsung produktif dan aman.



Gambar 2. 2 Diagram skema ruang kerja laboratorium untuk stasiun kerja mobile dan fleksibel



Gambar 2. 3 Tampilan skema ruang laboratorium yang berbeda berdasarkan indeks HMI

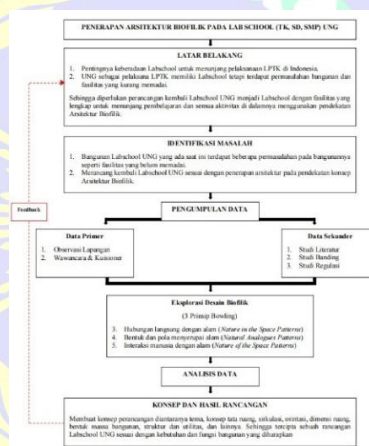
Sumber: (Darafarin, 2021)

Pemilihan furnitur laboratorium dibuat dari bahan non-porus dan tahan bahan kimia, sementara standar *biosafety* (level 1 - 4) dipatuhi sesuai jenis penelitian dan risiko biologis. Selain itu, sistem manajemen sirkulasi harus aman dengan lebar koridor minimum adalah 1,5 meter, ventilasi dan kontrol suhu harus dirancang secara tepat untuk menjaga kualitas udara dan keamanan. Prinsip fleksibilitas sangat penting agar laboratorium dapat berkembang sesuai kebutuhan masa depan dengan modul partisi yang dapat disesuaikan.

Pascalis (2018) menjelaskan bahwa laboratorium berperan sebagai sarana untuk menunjang aktivitas akademik pada bidang ilmu tertentu.

Laboratorium dapat digunakan untuk kegiatan praktikum, penelitian di bidang sains dan teknologi, serta pelayanan kepada masyarakat yang berkaitan dengan bidang keilmuan tersebut. Agar fungsi tersebut berjalan optimal, perancangannya perlu mempertimbangkan aspek keselamatan, kenyamanan, sirkulasi, utilitas, pencahayaan, dan penghawaan sebagai bagian dari dukungan terhadap pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi.

Herlambang (2025) menyatakan bahwa laboratorium penelitian berperan sebagai fasilitas yang menunjang proses pendidikan dan riset, mulai dari kegiatan pembelajaran hingga pelaksanaan penelitian. Lingkungan laboratorium dapat dirancang lebih nyaman melalui penerapan prinsip arsitektur *biofilik*, seperti penataan ruang yang terorganisasi, penyediaan area hijau, pemanfaatan cahaya alami, dan optimalisasi sirkulasi udara. Penerapan elemen tersebut dapat menciptakan ruang yang lebih sehat serta membantu meningkatkan fokus dan mendukung aktivitas penelitian pengguna.



Gambar 2. 4 Alur/Proses Desain Lab.School
Sumber: (Herlambang, 2025)

Dalam studi Pradipta et al. (2020), perencanaan dan perancangan laboratorium, studio, dan workshop mengedepankan konsep *Green Architecture* yang menekankan konservasi energi, penyesuaian terhadap iklim, dan kenyamanan serta keamanan pengguna. Fasilitas laboratorium harus memperhatikan orientasi bangunan, sistem ventilasi silang dan stack ventilation untuk mendukung sirkulasi udara, penggunaan sumber energi terbarukan seperti panel surya, serta penyediaan pencahayaan alami yang optimal. Selain itu, area laboratorium dirancang dengan perhitungan kapasitas ruang yang sesuai jumlah pengguna, serta menyediakan fasilitas penunjang seperti ruang penyimpanan alat, ruang laboran, dan akses yang

terintegrasi agar aktivitas riset berjalan efektif dan efisien. Pendekatan ini membuktikan bahwa desain laboratorium yang berwawasan lingkungan tidak hanya mampu menjaga kualitas lingkungan kampus, namun juga meningkatkan kenyamanan dan produktivitas pengguna di dalamnya.

2.1.2 Proses Terjadinya Ruang

Secara umum, ruang terdiri dari tiga elemen utama pembentuknya, yakni bidang alas atau lantai (*the base plane*), bidang vertical yang berfungsi sebagai dinding atas pembatas (*the vertical space divider*), dan bidang atas seperti langit-langit atau atap (*the overhead plane*).

Tabel 2. 1 Hubungan Penentu Ketercakupan dengan Kualitas Ruang

Penentu Keterangkuman	Kualitas Ruang
Dimensi	• Proporsi • Skala
Wujud	Bentuk
Konfigurasi	Definisi
Permukaan	Warna
Sisi-sisi	• Tekstur • Pola
Bukaan	• Tingkat ketertutupan • Cahaya • Pandangan

Sumber: (Surasetja, 2007)

Dalam *A Pattern Language*, Alexander, (1977) menegaskan bahwa proses terjadinya ruang bukan sekadar hasil aturan teknis atau formal, melainkan berkembang dari pola-pola kebutuhan manusiawi yang berulang serta kontekstual. Setiap pola mewakili masalah desain yang umum, lengkap dengan solusi yang bisa diterapkan berulang kali namun tetap unik sesuai konteks. Alexander menulis bahwa pola-pola tersebut menjadi unsur utama yang saling memperkuat sehingga membentuk ruang yang hidup, nyaman, dan syarat makna yang menghubungkan fungsi fisik dengan pengalaman dengan hubungan sosial pengguna. Pendekatan ini menempatkan manusia sebagai pusat desain, menghasilkan ruang yang harmonis secara fungsional, psikologis, dan estetis serta relevan dari skala kota hingga detail interior.

Menurut Ching (2007) dalam bukunya *ARCHITECTURE Form, Space, & Order Third Edition*, sebuah ruang arsitektur terbentuk ketika bidang tiga dimensi seperti dinding, lantai, dan langit-langit disusun untuk membentuk volume yang dapat mengakomodasi aktivitas manusia.

Manipulasi elemen-elemen planar dinding, lantai, dan atap menyelubungi dan memberi bentuk pada ruang, sedangkan tingkat artikulasi dan relasi antar bidang tersebut menentukan kualitas serta kejelasan ruang yang dihasilkannya. Enclosure oleh bidang vertikal dan horizontal menciptakan pengalaman spasial yang dapat dimodifikasi melalui berbagai aspek seperti artikulasi, warna, material, dan bukaan sehingga mendefinisikan dan memperkaya karakter suatu ruang arsitektur.

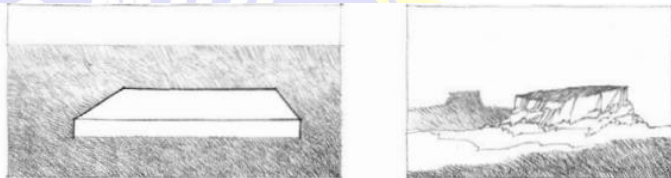
Base Plane

A horizontal plane laying as a figure on a contrasting background defines a simple field of space. This field can be visually reinforced in the following ways.



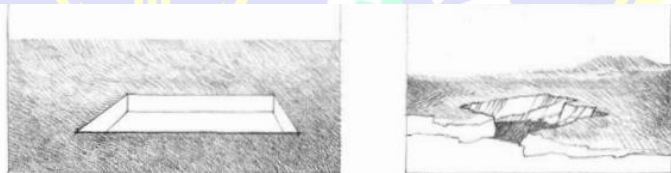
Elevated Base Plane

A horizontal plane elevated above the ground plane establishes vertical surfaces along its edges that reinforce the visual separation between its field and the surrounding ground.



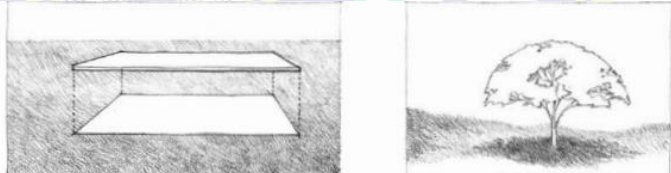
Depressed Base Plane

A horizontal plane depressed into the ground plane utilizes the vertical surfaces of the lowered area to define a volume of space.



Overhead Plane

A horizontal plane located overhead defines a volume of space between itself and the ground plane.



Gambar 2. 5 Elemen proses terbentuknya ruang

Sumber: (Ching, 2007)

2.1.3 Sirkulasi Pusat Penelitian

2.1.3.1 Sirkulasi

Sistem sirkulasi bangunan merupakan pola pergerakan pengguna yang menghubungkan akses dari luar menuju ruang-ruang di dalam bangunan. Berdasarkan arah pergerakannya, sirkulasi dibedakan menjadi horizontal dan vertikal. Sirkulasi horizontal umumnya berupa koridor yang menghubungkan ruang pada satu lantai, sedangkan sirkulasi vertikal menghubungkan antar lantai melalui elemen seperti tangga dan lift (Pynkyawati et al., 2016). Selain berfungsi sebagai jalur penghubung, sirkulasi perlu dirancang

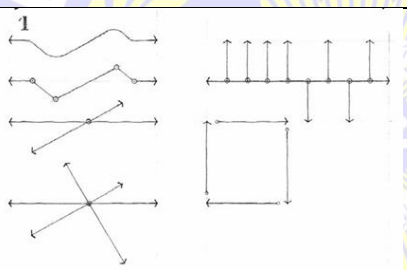
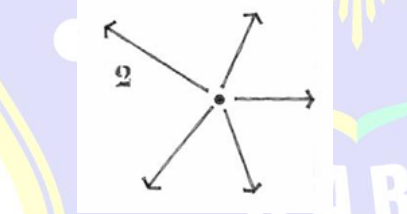
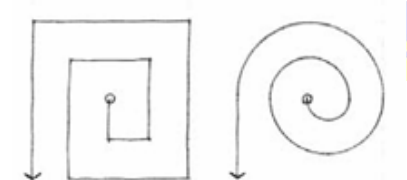
untuk mengakomodasi aktivitas pengguna, termasuk berjalan, berhenti, beristirahat, maupun menikmati lingkungan di sepanjang jalur tersebut (Thamrin et al., 2021).

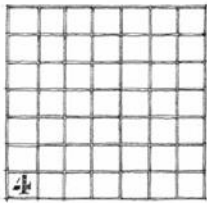
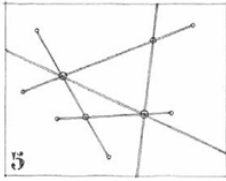
(Ching, 2007) dalam bukunya *ARCHITECTURE Form, Space, & Order Third Edition*, menjelaskan bahwa sirkulasi merupakan elemen ruang yang mengatur pergerakan pengguna dari satu ruang ke ruang lainnya. Jalur ini berperan dalam menghubungkan dan memberikan akses antarruang sehingga perpindahan pengguna dalam suatu bangunan dapat berlangsung secara terarah.

2.1.3.2 Pola Sirkulasi

Dalam bukunya *ARCHITECTURE Form, Space, & Order Third Edition*, Francis D.K.Ching mengatakan bahwa ada beberapa jenis pola sirkulasi. Beberapa pola yang dimaksud yaitu, pola linier, radial, spiral, grid dan jaringan (Ching, 2007).

Tabel 2. 2 Jenis-jenis pola sirkulasi

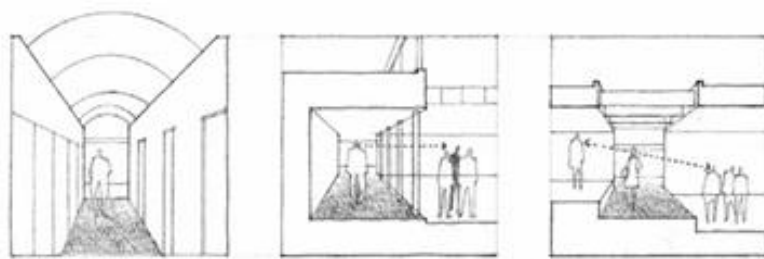
No.	Pola Sirkulasi	Keterangan
1		Pola pergerakan mengikuti satu jalur utama yang dapat berbentuk lurus, melengkung, terputus, bercabang, maupun berbalik arah.
2		Jalur sirkulasi berorientasi pada satu titik pusat, dengan beberapa jalur yang memanjang menuju atau berasal dari pusat tersebut.
3		Jalur sirkulasi berlangsung secara kontinu dengan pola melingkar yang berkembang dari atau mengarah menuju titik pusat.

4		Pola terbentuk dari beberapa jalur yang saling berpotongan secara teratur sehingga menghasilkan bidang berbentuk persegi atau persegi panjang.
5		Sirkulasi tersusun dari sejumlah jalur yang saling terhubung dan menghubungkan berbagai titik dalam suatu ruang.

Sumber: (Ching, 2007)

2.1.3.3 Sistem Sirkulasi

Menurut Ching (2007) dalam bukunya *ARCHITECTURE Form, Space, & Order Third Edition*, secara fisik, terdapat tiga sistem sirkulasi, yaitu tertutup penuh, terbuka satu sisi, dan terbuka pada kedua sisi.



Gambar 2. 6 Sistem Sirkulasi Ruang

Sumber : Ching, (2007)

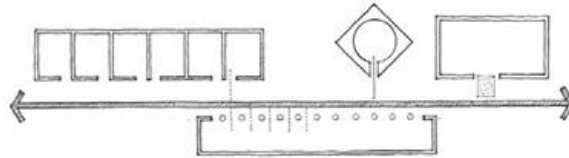
Sirkulasi dapat menjadi jalur penghubung antar ruang yang dapat dikaitkan dengan ruangan-ruangan yang dihubungkan untuk mempermudah mencapai suatu ruangan melalui beberapa cara (gambar 2.5).

2.1.3.4 Hubungan Sirkulasi

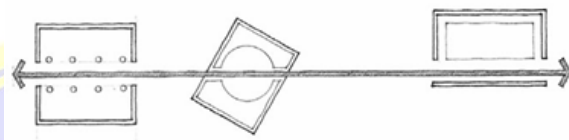
Hubungan ruang terbagi menjadi 3 jenis, yaitu melewati ruang, menembus ruang, dan sirkulasi berakhir dalam ruang. 1) Melewati ruang, yaitu pola ketika suatu ruang berfungsi sebagai area perantara yang menghubungkan jalur sirkulasi dengan ruang lainnya. 2) Menembus ruang, yaitu pola pergerakan yang melewati suatu ruang untuk menghubungkan dua ruang atau lebih yang berbeda. Di dalam ruang, jalur menciptakan pola peristirahatan dan pergerakan. 3) Sirkulasi berakhir dalam

ruang, yang berarti jalur ini digunakan untuk memasuki area yang dianggap penting (Ching, 2007).

1. Melewati ruang



2. Menembus ruang



3. Sirkulasi berakhir dalam ruang



Gambar 2. 7 Jenis-jenis Hubungan Sirkulasi Ruang
Sumber: Ching, (2007)

Dalam buku *How Designers Think: The Design Process Demystified* oleh Lawson (2005), menjelaskan bahwa sirkulasi dalam laboratorium merupakan jalur pergerakan yang sangat penting untuk memastikan efisiensi dan keamanan proses kerja. Sirkulasi ini harus dirancang agar mendukung keterhubungan fungsional antar area penelitian, meminimalkan risiko kontaminasi, serta memungkinkan alur kerja yang logis dan efisien antar staf dan peralatan.

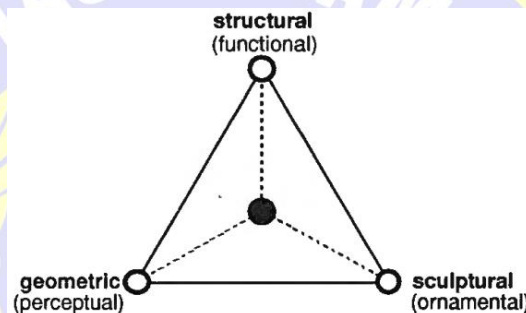
Lawson menekankan pentingnya mendesain sirkulasi yang fleksibel untuk mengakomodasi perubahan kebutuhan riset tanpa harus merombak struktur ruang secara besar-besaran. Sirkulasi ini juga membantu menciptakan zonasi fungsional dengan membatasi akses ke area tertentu sesuai dengan tingkat kebersihan atau bahaya yang terkait, sehingga sirkulasi tidak hanya sebagai jalur pergerakan, melainkan juga elemen pengendali tata ruang laboratorium untuk kualitas, keamanan, dan produktivitas maksimum.

2.2 Kajian Bentuk Arsitektur

2.2.1 Pengertian Bentuk

Menurut Madrazo (1995) dalam disertasinya *The Concept of Type in Architecture: An Inquiry into the Nature of Architectural Form*, bentuk arsitektural dipahami sebagai entitas kompleks yang merupakan hasil dari interaksi berbagai dimensi yakni, struktural (fungsional), geometrik (perseptual), dan skulptural (ornamental). Madrazo menyimpulkan, bentuk tidak bisa direduksi hanya pada geometri atau tampilan fisik, melainkan harus dipahami sebagai sistem relasi internal (*type*) yang mampu mengorganisasi ruang, fungsi, estetika, serta memberikan makna dalam konteks arsitektur.

Madrazo menegaskan bahwa “bentuk” menurut teori Vitruvius, bentuk arsitektural memiliki tiga jenis utama:



Gambar 2. 8 Tiga Jenis Bentuk Arsitektural; hasil elaborasi Madrazo dari uraian Vitruvius dalam *De Architectura Libri Decem*, Buku IV
Sumber : Madrazo, (1995:81)

1. **Struktural (fungsional):** bentuk sebagai ekspresi struktur dan fungsi internal bangunan.
2. **Geometrik (perseptual):** bentuk sebagai hasil persepsi manusia, keterbacaan pola, dan tatanan geometri ruang.
3. **Skulptural (ornamental):** bentuk sebagai ekspresi visual dan nilai estetika atau ornamen.

Menurut Hillier & Hanson (1984) dalam *The Social Logic of Space*, bentuk dalam arsitektur tidak hanya dilihat sebagai entitas fisik atau visual, tetapi sebagai konfigurasi ruang yang memiliki struktur sosial serta memediasi interaksi dan perilaku manusia. Bentuk sebuah ruang atau bangunan merupakan hasil dari organisasi dan keterhubungan antar ruang yang berfungsi untuk memfasilitasi pola gerak, penggunaan, dan relasi sosial dalam konteks lingkungan binaan.

Bentuk adalah wujud yang tampak dari sesuatu sebagai hasil gagasan dalam proses penciptaan, dan dalam ranah arsitektur, bentuk hadir sebagai media visual ekspresi gagasan arsitek, sekaligus memuat nilai fungsi dan makna sesuai konteks serta kebutuhan ruang (Ashadi, 2021).

2.2.2 Komposisi Bentuk

1. Tipe Dasar Bentuk

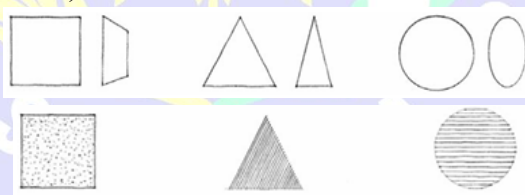
Krier membahas tipe dasar sebagai bentuk geometris murni seperti segiempat (persegi, persegi panjang), lingkaran, segitiga, dan poligon lain, yang berfungsi sebagai modul atau blok bangunan yang dapat dimodifikasi, digabung atau diulang untuk membentuk struktur lebih kompleks. Bentuk-bentuk dasar ini diterapkan pada skala urban maupun arsitektural untuk menciptakan pola dan keteraturan dalam tata ruang dan denah bangunan (Krier, 1996;18).



Gambar 2. 9 Tipe Dasar Bentuk

Sumber : (Krier, 1996)

Ching mengidentifikasi tipe dasar geometri sebagai titik, garis, bidang, dan volume. Keteraturan dan kemurnian bentuk-bentuk geometris seperti lingkaran, segitiga, dan persegi berfungsi sebagai kosakata dasar komposisi arsitektur. Bentuk-bentuk ini mudah dipahami, dimanipulasi, dan diorganisasikan ke dalam rangkaian atau jaringan yang menyusun tatanan ruang (Ching, 2007;18).



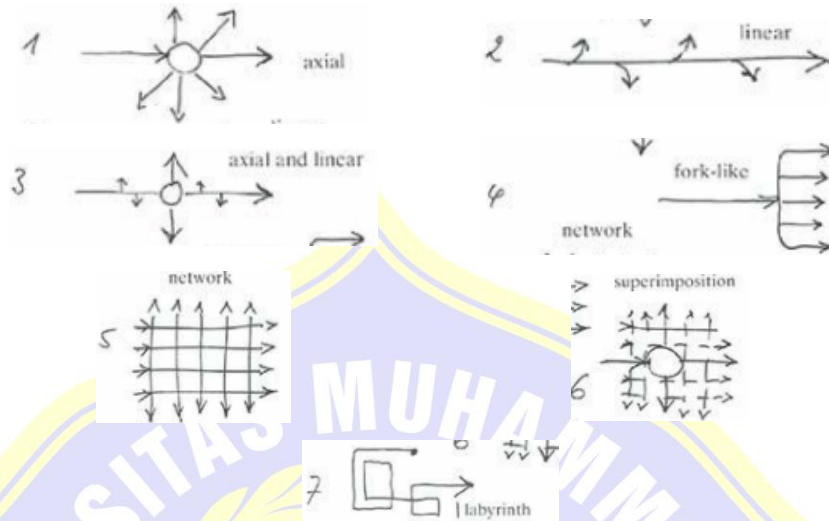
Gambar 2. 10 Tipe Dasar Bentuk

Sumber : (Ching, 2007)

2. Prinsip Pengorganisasian Bentuk

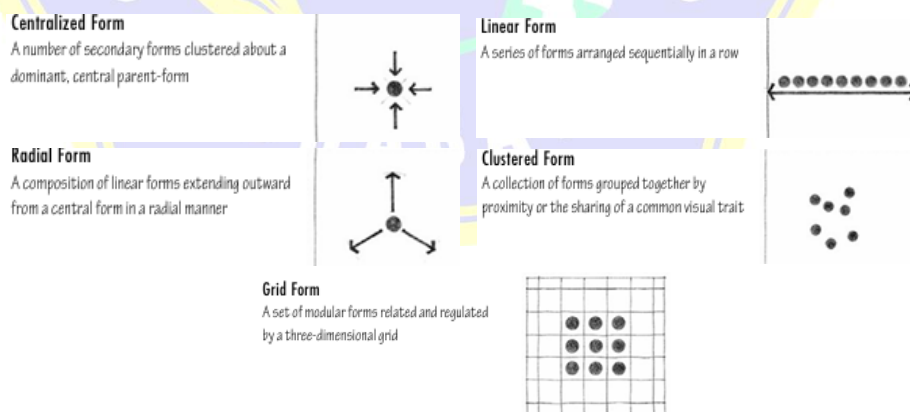
Organisasi spasial dalam arsitektur tidak semata-mata ditentukan oleh bentuk-bentuk dasar, melainkan bagaimana bentuk-bentuk tersebut diatur dan dihubungkan melalui pola atau sistem tertentu. Jenis pengorganisasian meliputi: pola aksial, linier, kombinasi aksial dan linier, pola percabangan (*fork-like*), jaringan (*network*), superimposisi, dan labirin.

Setiap pola menghasilkan karakter sirkulasi, orientasi, dan keterbacaan ruang yang berbeda, serta dapat diterapkan baik pada perencanaan kota maupun arsitektur bangunan (Krier, 1996;18).



Gambar 2. 11 Urutan Pengorganisasian
Sumber : (Krier, 1996)

Lima cara utama pengorganisasian bentuk dan ruang dalam arsitektur adalah: terpusat, linier, radial, berkelompok, dan grid. Masing-masing pola pengorganisasian ini memiliki karakteristik dan kualitas spasial yang berbeda, yang memengaruhi persepsi, fungsi, dan hierarki dalam komposisi arsitektur. Pilihan pengorganisasian ini memengaruhi sirkulasi, konektivitas, dan bagaimana setiap bagian berhubungan dengan keseluruhan (Ching, 2007;59).



Gambar 2. 12 Urutan Pengorganisasian
Sumber : (Ching, 2007)

2.2.3 Pendekatan Bentuk

Pendekatan bentuk menurut Ostwald & Vaughan (2016) dalam buku *The Fractal Dimension of Architecture* adalah penggunaan analisis dimensi fraktal (*fractal dimension*) untuk mengukur, membandingkan, dan memahami kompleksitas bentuk arsitektur secara kuantitatif dan sistematis, terdapat pokok-pokok pendekatan.

1. *Fractal Dimension* sebagai Ukuran Kompleksitas, bahwa dimensi fraktal merupakan indikator matematis yang digunakan untuk menilai tingkat kerumitan, kepadatan, serta variasi geometris pada bentuk arsitektur, baik pada rencana maupun tampak bangunan. Pendekatan ini memungkinkan analisis objektif terhadap seberapa kaya informasi visual yang terkandung dalam suatu elemen bentuk.
2. Metode Kuantitatif dan Standard (*Box Counting*), yaitu prosedur yang membagi gambar arsitektur ke dalam grid berukuran tertentu untuk mengukur dimensi fraktalnya. Melalui metode ini, karakter seperti kekasaran (*roughness*), repetisi pola, dan tingkat keteraturan bentuk arsitektur dapat dihitung dan dibandingkan antar gaya maupun periode.
3. Pembedaan antara Fraktal Geometri dan Fraktal Dimensi, bahwa bangunan nyata tidak pernah sepenuhnya mengikuti pola fraktal ideal seperti dalam matematika. Namun, setiap bentuk arsitektur tetap memiliki nilai dimensi fraktal yang menggambarkan sifat visualnya, termasuk pola repetitif, tekstur, dan struktur formal pada berbagai skala. Hal ini menjadikan dimensi fraktal alat analisis yang sah dan relevan untuk kajian arsitektur.
4. Analisis Lintas Gaya, Arsitek, dan Zaman, penelitian yang dilakukan terhadap berbagai bangunan ikonik dari era modern, post-modern, organik, hingga regionalis, menunjukkan bagaimana kompleksitas formal berkembang sejalan dengan perubahan sosial, estetika, dan teknologi dalam arsitektur abad ke-20. Dengan demikian, pendekatan fraktal mampu mengidentifikasi pola visual dan konsistensi desain yang tidak dapat dijelaskan hanya dengan analisis kualitatif.
5. Implikasi terhadap Kompleksitas dan Identitas Desain, pengukuran dimensi fraktal memungkinkan identifikasi ciri-ciri khas dari gaya seorang arsitek, membedakan tipologi bentuk antarperiode, serta menilai hubungan antara fungsi, ornamen, dan komposisi visual keseluruhan. Pendekatan ini membuka perspektif baru dalam memahami bagaimana detail-detail kecil berkontribusi terhadap karakter fasad dan ruang secara keseluruhan.

Sedangkan pendekatan bentuk menurut Mahmoodi (2001) dalam bukunya *The Design Process in Architecture: A Pedagogic Approach Using Interactive Thinking*, menekankan model proses desain interaktif sebagai respon terhadap kelemahan pendekatan linier atau tahapan-tahapan yang umumnya diajarkan di arsitektur.

1. Model Proses Desain Interaktif, bahwa model desain konvensional yang bersifat linier mulai dari (analisis, sintesis, hingga evaluasi) tidak menggambarkan proses kerja perancang yang sesungguhnya. Ia menegaskan bahwa aktivitas desain berlangsung secara dinamis, di mana analisis, pengembangan ide, dan evaluasi selalu terjadi secara bersamaan dan saling memengaruhi pada setiap tahap, sehingga proses pembentukan bentuk tidak mengikuti alur satu arah.
2. Tiga Tahapan Inti: Memahami, Mengidealkan, dan Menyajikan
 - *Understanding* merupakan tahap pendalaman masalah melalui identifikasi kebutuhan, analisis konteks, evaluasi gagasan awal, pengumpulan informasi, dan pembentukan konsep.
 - *Idealising* mengarah pada pengembangan berbagai alternatif desain, analisis opsi, seleksi solusi, serta eksplorasi bentuk melalui proses eksperimen berulang hingga ditemukan alternatif terbaik.
 - *Presenting* mencakup perincian desain, penyampaian solusi, pelaksanaan dan pengawasan, serta revisi dan evaluasi setelah implementasi. Ketiga tahap ini tetap fleksibel karena dapat kembali ke fase sebelumnya bila diperlukan.
3. Konteks dan Faktor Desain, bahwa bentuk arsitektur dibentuk oleh beragam faktor konteks yang saling berinteraksi, seperti karakter ruang dan pengguna, iklim, sosial budaya, material dan konstruksi, lingkungan alam dan buatan, sistem bangunan, sistem sensorik, peraturan, waktu dan anggaran. Semua faktor ini tidak berdiri sendiri, tetapi saling berelasi dan menjadi “latar” yang dinamis dalam proses menentukan bentuk.
4. Berpikir Visual dan Interaksi Kognitif, Ia juga menekankan pentingnya berpikir visual serta kemampuan menggabungkan pemikiran kreatif, analitis, intuitif, dan divergent convergent secara bersamaan. Proses menggambar cepat, membuat sketsa eksploratif, dan visualisasi menjadi bagian penting dalam menemukan dan mengembangkan bentuk arsitektur.

2.2.4 Pengolahan Bentuk

Menurut Ching, Francis D. K. (2014). *Architecture: Form, Space, and Order*. 4th Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. Bahwa bentuk arsitektur dikenali melalui sejumlah ciri visual utama, seperti wujud, dimensi, warna, tekstur, posisi, orientasi, serta inersia visual. Dalam perancangan bangunan seperti *marine research center*, pengolahan bentuk harus memperhatikan skala dan proporsi agar setiap elemen sesuai dengan fungsi, kebutuhan pengguna, dan komposisi tapak secara menyeluruh. Pemilihan tekstur dan warna berperan dalam memperkuat identitas visual dan meningkatkan kualitas pengalaman ruang, sementara posisi dan orientasi bentuk menentukan kualitas pencahayaan alami, kenyamanan termal, dan hubungan dengan lingkungan sekitar.

Selain itu, konsep inersia visual memastikan setiap bentuk yang dihadirkan mudah dikenali secara spasial serta berfungsi sebagai penanda arsitektur. Pentingnya integrasi antara bentuk dan lingkungan, sehingga desain tidak hanya indah secara estetika, namun selaras dan responsif terhadap konteks ekosistem serta kehidupan sekitarnya. Oleh karena itu, pengolahan bentuk dalam arsitektur harus memperhatikan seluruh karakter visual, aspek fungsional, konteks tapak, dan pengalaman pengguna, agar setiap elemen bangunan mampu menciptakan kejelasan, harmoni, dan kualitas ruang secara menyeluruh sesuai prinsip-prinsip arsitektur.

2.3 Kajian Objek Rancangan

2.3.1 Perancangan Secara Umum

Perancangan bangunan merupakan proses sistematis yang mengintegrasikan berbagai aspek mulai dari fungsi, struktur, estetika, keamanan, hingga efisiensi ekonomi untuk menghasilkan desain bangunan yang kuat, aman, nyaman, serta sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan sekitar (Purnamasari, 2019). Proses ini tidak hanya berfokus pada aspek struktural, melainkan memerlukan perpaduan yang menyeluruh agar dapat memenuhi semua kebutuhan teknis dan estetis bangunan.

Perancangan merupakan tahap penting dalam proses pembangunan yang melibatkan analisis kebutuhan, pengembangan konsep, dan penyusunan gambar teknis untuk memastikan pembangunan bangunan berjalan optimal dan berkelanjutan (Maulana, 2007).

Perancangan arsitektur adalah proses kreatif dan analitis yang menghubungkan antara kebutuhan fungsional dengan visi estetika, yang

dirumuskan dalam bentuk rancangan detail serta gambar kerja yang siap diwujudkan menjadi bangunan nyata (Paryoko, 2022).

Beberapa pendapat tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa perancangan merupakan proses sistematis dan kreatif yang menggabungkan aspek fungsi, estetika, dan keberlanjutan untuk menghasilkan rancangan bangunan yang aman, nyaman, dan sesuai dengan kebutuhan serta kondisi lingkungan.

2.3.2 Perancangan Dalam Islam

Dalam perancangan arsitektur yang mengintegrasikan nilai-nilai keislaman, pendekatan Islam memandang bahwa bangunan tidak hanya memiliki fungsi fisik, tetapi juga memiliki peran dalam memperkaya kehidupan spiritual dan sosial umat. Prinsip-prinsip dalam Al-Qur'an dan Hadits mengajarkan pentingnya harmoni antara manusia, lingkungan, dan Sang Pencipta, yang dapat diinterpretasikan dalam konsep arsitektur Berkelanjutan melalui simbolisme dan makna mendalam dalam desain. Perancangan *Marine Research Center* dengan pendekatan arsitektur Berkelanjutan di Paciran dapat diintegrasikan dengan nilai-nilai Islam melalui beberapa konsep kunci, seperti keseimbangan, kesederhanaan, penghormatan terhadap lingkungan, dan refleksi terhadap kekuasaan Allah dalam menciptakan alam semesta.

1. Keseimbangan dan Keselarasan dengan Lingkungan

Nilai Islam menganjurkan keseimbangan dalam segala aspek kehidupan, termasuk dalam perancangan bangunan. Firman Allah dalam Surah Ar-Rahman (55:7 - 8),

وَالسَّمَاءَ رَفَعَهَا وَوَضَعَ الْمِيزَانَ ۖ
أَلَّا تَطْغَوْا فِي الْمِيزَانِ ۝

“Dan Allah meninggikan langit dan Dia meletakkan neraca (keseimbangan), supaya kamu jangan melampaui batas (merusak) tentang neraca (keseimbangan) itu”, mengajarkan pentingnya keseimbangan dan harmoni dalam segala ciptaan. Dalam konteks perancangan *Marine Research Center*, arsitek dapat menerapkan prinsip ini dengan merancang bangunan yang selaras dengan alam, menggunakan elemen-elemen Berkelanjutan yang mencerminkan kehidupan laut, serta menjaga ekosistem sekitar dengan teknik yang ramah lingkungan. Misalnya, bentuk-bentuk organik yang terinspirasi dari makhluk laut atau struktur bangunan yang memungkinkan cahaya dan udara alami masuk dapat menciptakan keselarasan antara manusia

dan alam.

2. Kesederhanaan dan Fungsi sebagai Refleksi Kehambaan

Kesederhanaan dalam Islam adalah nilai penting, sebagaimana tercermin dalam Hadits yang diriwayatkan oleh Al-Bukhari: “Sesungguhnya kesederhanaan itu bagian dari iman.” Dalam arsitektur *Marine Research Center* yang berkonsep Berkelanjutan, kesederhanaan bisa diwujudkan melalui desain yang tidak berlebihan, tetapi tetap mampu mengomunikasikan pesan yang mendalam tentang kebesaran Allah dan pentingnya menjaga alam. Misalnya, desain interior dan eksterior yang terinspirasi dari laut, seperti dinding yang menyerupai gelombang, dapat menciptakan suasana yang mendukung perenungan dan kekaguman terhadap ciptaan Allah.

3. Penghormatan terhadap Lingkungan dan Tanggung Jawab Manusia sebagai Khalifah

Dalam Al-Qur'an, manusia diberi tugas sebagai khalifah di bumi (Surah Al- Baqarah: 30).

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَن يُفْسِدُ فِيهَا
وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ ۝ ٣٠

“Dan (ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah di bumi”. Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sungguh, Aku mengetahui apa yang tidak kalian ketahui”.

Ini menekankan pentingnya menjaga dan melestarikan lingkungan dalam setiap aspek kehidupan, termasuk dalam desain arsitektur. Sebagai *Marine Research Center* yang bertujuan untuk pendidikan dan konservasi laut, bangunan ini dapat dirancang dengan memanfaatkan teknologi ramah lingkungan dan bahan bangunan berkelanjutan. Hal ini juga menjadi bentuk penghormatan terhadap ciptaan Allah dan wujud tanggung jawab manusia sebagai penjaga lingkungan.

4. Penggunaan Simbolisme dalam Desain yang Mengajak pada Refleksi
Pendekatan arsitektur Berkelanjutan sangat relevan dengan prinsip

Islam, di mana elemen-elemen simbolis dalam bangunan dapat dirancang untuk mengajak pengguna merenungi kebesaran Sang Pencipta. Ayat-ayat Al-Qur'an sering kali menggunakan Biomimikri untuk menjelaskan makna spiritual yang mendalam, seperti laut yang luas sebagai tanda kebesaran Allah (Surah Al- Kahfi: 109).

قُلْ لَوْ كَانَ الْبَحْرُ مِدادًا لَكَلِمَتِ رَبِّي لَنَفِدَ الْبَحْرُ قَبْلَ أَنْ تَنفَدَ كَلِمَتُ رَبِّي وَلَوْ جِئْنَا بِمِثْلِهِ مَدَدًا
١٠٩

“Katakanlah (Muhammad), “Seandainya lautan menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, maka pasti habislah lautan itu sebelum selesai (penulisan) kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun Kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula)”.

Dalam *Marine Research Center*, arsitek dapat mengaplikasikan simbolisme ini dengan menampilkan bentuk atau ruang yang menyerupai kedalaman laut atau keindahan terumbu karang, mengajak pengunjung untuk merenungi kekuasaan Allah dan pentingnya menjaga keindahan alam yang dititipkan kepada manusia.

Secara keseluruhan, arsitektur *Marine Research Center* yang dirancang dengan pendekatan Berkelanjutan dan dilandasi nilai-nilai Islam mampu menciptakan ruang yang tidak hanya berfungsi sebagai pusat penelitian, tetapi juga sebagai sarana edukasi, refleksi spiritual, dan peningkatan kesadaran lingkungan. Dengan mengintegrasikan elemen-elemen ini, arsitek dapat menciptakan ruang yang memperkaya pengalaman dan mendorong pengguna untuk menghargai serta menjaga kelestarian alam sebagai wujud ketaatan dan rasa syukur kepada Sang Pencipta.

2.3.3 Paciran

Secara geografis, Kecamatan Paciran merupakan wilayah pesisir di bagian utara Kabupaten Lamongan yang berhadapan langsung dengan Laut Jawa. Letak tersebut memberikan karakter pesisir yang kuat sekaligus mendukung aktivitas wisata bahari, salah satunya Wisata Bahari Lamongan (WBL). Wilayah Paciran memiliki luas kurang lebih 58,22 km² atau setara dengan 5.822 Ha dan secara administratif terbagi menjadi 17 desa/kelurahan, 34 dusun, serta 202 RT.

Penggunaan lahan di Kecamatan Paciran sebagian besar berupa tegalan dengan luas sekitar 3.984 Ha dan sawah seluas 392 Ha. Selebihnya dimanfaatkan sebagai hutan, waduk, pekarangan, dan fungsi lainnya. Pada tahun 2012, jumlah penduduk Paciran tercatat sebanyak 90.604 jiwa dengan tingkat kepadatan sekitar 1.892 jiwa/km² berdasarkan data BPS Kabupaten

Lamongan. Adapun batas wilayahnya meliputi Kecamatan Brondong di bagian barat, Kecamatan Solokuro di selatan, dan Kabupaten Gresik di sebelah timur.



Gambar 2. 13 Batasan Wilayah Kec. Paciran
Sumber : <http://lamongan.freeservers.com/DEMOGRAFI> (2014)



Gambar 2. 14 Kawasan Pesisir Kec. Paciran
Sumber :
<https://www.kompasiana.com/amilaturrohma/61e6dd2e06310e09ce011ab2> (2022)

Kecamatan Paciran memiliki posisi penting dalam sistem penataan ruang karena berada dalam cakupan Pusat Kegiatan Nasional (PKN) dan Kawasan Strategis Nasional (KSN) Gerbang kertokusila. Wilayah ini juga termasuk dalam RTR Pulau Jawa-Bali serta RTRW Provinsi Jawa Timur yang mengarahkan Paciran sebagai bagian dari kawasan ekonomi unggulan Gresik-Lamongan, terutama pada sektor agroindustri. Dalam RTRW Kabupaten Lamongan, Paciran ditetapkan sebagai WP 2 dengan fungsi pengembangan industri skala besar dan menjadi bagian dari kawasan pertumbuhan Tuban-Lamongan-Bojonegoro.

Peningkatan kegiatan perkotaan dan industri di Paciran berpotensi menyebabkan perkembangan kawasan yang tidak terarah (*urban sprawl*). Oleh sebab itu, pemanfaatan ruang perlu ditinjau secara berkala agar selaras dengan kebijakan tata ruang dan dapat mengakomodasi dinamika perkembangan wilayah yang belum sepenuhnya tercermin dalam RTRW Kabupaten Lamongan 2011-2031 (Perda Kabupaten Lamongan No. 15

Tahun 2011, RTRW Provinsi Jawa Timur; RTR Pulau Jawa-Bali) (Herlin Sukmarini, 2011).

2.3.4 *Marine*

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), istilah *marine* merujuk pada segala sesuatu yang berkaitan dengan laut atau samudera. Secara umum, *marine* banyak digunakan untuk menggambarkan unsur-unsur dan kondisi yang ada di lingkungan laut, termasuk organisme serta ekosistemnya yang sifatnya unik dan berbeda dari ekosistem darat. Kata *marine* mengacu pada dimensi geografis dan biologis yang berhubungan erat dengan wilayah perairan laut.

Menurut (Buchan et al., 2024) dalam jurnal *People and Nature*, *marine* didefinisikan sebagai lingkungan laut yang mencakup ekosistem, proses fisik, biota, serta hubungan sosial dan budaya manusia dengan laut. *Marine identity* diartikan sebagai keterkaitan kompleks antara manusia dengan laut yang membentuk rasa keterikatan, tanggung jawab, dan identitas sosial terkait kelautan.

Istilah *marine* merujuk pada lingkungan laut yang mencakup sekitar 70% permukaan bumi dan memiliki peran penting bagi keberlangsungan kehidupan manusia. Lingkungan ini terdiri atas berbagai ekosistem, seperti *mangrove*, terumbu karang, dan padang lamun yang menyediakan habitat serta sumber nutrisi bagi berbagai organisme laut. Sebagai ekosistem terbesar di bumi dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, wilayah laut menjadi bagian penting dalam menjaga keseimbangan *ekologis* dan keberlanjutan kehidupan manusia (Halim, 2020).

Menurut kajian jurnal internasional dalam artikel *Maritime and marine: Synonyms, solitudes or schizophrenia?* Oleh (Schröder-Hinrichs, 2014), istilah "*marine research*" didefinisikan sebagai cabang ilmu bumi yang mempelajari lautan dan laut, termasuk *flora* dan *fauna*, serta interaksinya dengan wilayah pesisir dan atmosfer. Dengan demikian dalam konteks riset kelautan, "*marine*" mencakup aspek ekosistem laut, dinamika laut, biota laut, arus-laut dan pengaruh manusia terhadap sistem tersebut.

Berdasarkan definisi *marine* dari berbagai sumber tersebut, dapat disimpulkan bahwa *marine* merupakan istilah yang berkaitan dengan segala hal tentang laut, mencakup aspek geografis, biologis, dan ekologis yang meliputi ekosistem laut serta interaksinya dengan lingkungan pesisir dan atmosfer. Secara umum, *marine* berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem bumi dan menjadi fokus utama dalam kajian serta perancangan yang berkaitan dengan lingkungan kelautan berkelanjutan.

2.3.5 Research

Penelitian atau *research* (re= mengulang; *search*= mencari) yang berarti “pencarian berulang untuk menemukan kembali kebenaran” dilakukan dengan menggunakan dua buah paradigma besar, yaitu *positivism* (positivisme) dan *post positivism* (post-positivisme).

Dalam penelitian modern, positivisme dan post-positivisme memiliki dasar pandangan yang berbeda. Positivisme menilai kebenaran berdasarkan ukuran kuantitatif dan probabilitas dengan mengutamakan fakta yang dapat diamati secara empiris. Sementara itu, post-positivisme memandang kebenaran berdasarkan hakikat objek secara lebih menyeluruh, dengan mempertimbangkan tidak hanya fakta yang dapat diamati, tetapi juga fenomena yang berada di baliknya (Indrawan & Yaniawati dalam Boari, 2024)

Menurut KBBI (2023), penelitian merupakan kegiatan yang dilakukan secara sistematis dan objektif melalui proses pengumpulan, pengolahan, analisis, serta penyajian data untuk menyelesaikan masalah, menguji hipotesis, dan mengembangkan pengetahuan. Yoseph dalam Alfani, (2015) memandang penelitian sebagai perpaduan antara art dan science dalam memperoleh jawaban atas suatu permasalahan. Pandangan tersebut menunjukkan bahwa penelitian memiliki ruang untuk menggunakan pendekatan yang beragam sesuai dengan permasalahan yang dikaji.

Secara umum, penelitian merupakan proses sistematis untuk memperoleh fakta atau pengetahuan melalui pengumpulan dan analisis data secara teliti serta dapat dipertanggungjawabkan (Alfaozan, 2022). Melalui proses tersebut, penelitian dapat menghasilkan temuan dan pengetahuan baru yang berkontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan.

2.3.6 Center

Menurut KBBI, pusat /pu-sat/ dapat dimaknai sebagai bagian tengah atau titik utama suatu tempat, serta sesuatu yang menjadi pokok atau tumpuan dalam berbagai urusan (Lupitasari, 2016). Dalam pengertian lain, pusat merupakan tempat yang menjadi titik utama berlangsungnya suatu kegiatan dan memiliki aktivitas yang mampu menarik perhatian atau pergerakan dari wilayah di sekitarnya (Poerdimanto dalam Rismansyah, 2014).

Menurut (Alfaozan, 2022), pusat (*center*) dalam konteks penelitian memiliki fungsi sebagai tempat aktif di mana proses investigasi dan pengembangan pengetahuan dilakukan secara sistematis, dengan tujuan menemukan, menafsirkan, dan merevisi fakta-fakta secara

berkesinambungan. Pusat penelitian juga harus memiliki karakteristik ilmiah, berkesinambungan, menyediakan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan, serta dilakukan dengan metode yang dapat dipertanggungjawabkan secara objektif.

Dalam konteks kelautan, pusat dapat dipahami sebagai wadah utama untuk menjalankan kegiatan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan kehidupan laut, baik biota maupun ekosistemnya. Kegiatan tersebut mencakup pengumpulan, pengolahan, analisis, dan penyajian data secara sistematis untuk menghasilkan pemecahan masalah serta memberikan manfaat bagi kebutuhan saat ini dan masa mendatang (Muthia, 2021).

2.3.7 *Research Center*

Definisi *Research Center* menurut KBBI secara langsung tidak tersedia sebagai satu istilah, namun dapat diuraikan dari makna kata penyusunnya: "*research*" berarti penelitian atau penyelidikan secara sistematis dan ilmiah, sedangkan "*center*" berarti pusat, tempat fokus suatu kegiatan. Jadi, *Research Center* dapat dimaknai sebagai pusat kegiatan penelitian ilmiah yang terorganisir secara sistematis. *Research center* merupakan lembaga atau organisasi yang mengkoordinasi dan memfasilitasi penelitian ilmiah dalam bidang tertentu, dengan tujuan menghasilkan inovasi dan solusi dari hasil kajian ilmiah (Ishtiaq, 2019).

Research center adalah unit organisasi yang menyediakan sumber daya, fasilitas, dan dukungan kolaboratif bagi penelitian terpusat yang mendorong perkembangan ilmu dan teknologi secara multidisiplin (Rubin, 2015). Sedangkan dalam arti lain *Research center* didefinisikan sebagai institusi atau ruang kolaboratif yang berperan sebagai platform transdisipliner untuk pengembangan penelitian, inovasi, dan penyelesaian masalah kompleks dengan menggabungkan berbagai disiplin ilmu dan stakeholder terkait. *Research center* mendukung lahirnya identitas ilmiah dan kolaborasi untuk konservasi serta kebijakan berbasis bukti di bidang kelautan dan lingkungan (Buchan et al., 2024).

Dari berbagai definisi yang telah dibahas diatas dapat disimpulkan bahwa, *Research Center* merupakan fasilitas kelembagaan yang berperan dalam mengarahkan dan mengelola aktivitas penelitian secara terstruktur. Keberadaannya tidak hanya menyediakan tempat untuk melakukan riset, tetapi juga mendukung kerja sama antar disiplin dalam menghasilkan pengetahuan, inovasi, dan pemecahan masalah. Melalui penyediaan fasilitas, sumber daya, serta sistem koordinasi yang memadai, *Research*

Center dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sesuai dengan sasaran penelitian.

2.4 Tinjauan Umum *Marine Research Center*

2.4.1 Pengertian *Marine Research Center*

Marine Research Center atau Pusat Penelitian Kelautan merupakan fasilitas ilmiah yang berfungsi sebagai tempat pengembangan ilmu pengetahuan dan penelitian terhadap sumber daya laut, biota laut, serta kondisi ekosistem pesisir. Menurut Fadil & Setyowati pusat penelitian kelautan dirancang untuk menjadi sarana riset, edukasi, dan konservasi yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan laut (Fadil and Setyowati, 2023).

Sementara Kusuma berpendapat bahwa dalam *Proses Penentuan Zonasi dalam Konsep Arsitektur Simbiosis pada Kasus Perencanaan Marine Research Centre dan Oceanarium di Kuta Bali* menjelaskan bahwa *Marine Research Center* juga berperan sebagai pusat informasi dan interaksi antara manusia dengan lingkungan laut yang diwujudkan melalui pendekatan arsitektur pesisir yang adaptif (Di and Bali, 2022). *Marine Research Center* adalah wadah kegiatan penelitian, pengembangan ilmu pengetahuan, serta sarana pembelajaran masyarakat yang berorientasi pada pelestarian ekosistem laut dan pengelolaan sumber daya pesisir secara berkelanjutan (Dwiyanti, Rijal and Hidayat, 2022).

Berdasarkan beberapa pendapat tersebut *Marine Research Center* merupakan fasilitas riset dan edukasi kelautan yang berfungsi sebagai pusat pengembangan ilmu pengetahuan, penelitian, serta pelestarian ekosistem laut dan pesisir. Pusat ini tidak hanya berperan dalam kegiatan ilmiah, tetapi juga sebagai sarana interaksi manusia dengan lingkungan laut melalui pendekatan arsitektur yang adaptif dan berkelanjutan, guna mendukung pengelolaan sumber daya laut secara bijak serta meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya keberlanjutan lingkungan pesisir.

2.4.2 Fungsi *Marine Research Center*

1. Fungsi Penelitian Ilmiah

Secara umum, penelitian ilmiah dapat dipahami sebagai proses yang sistematis untuk memperoleh dan mengembangkan pengetahuan melalui pengujian hipotesis serta penyusunan teori yang dapat digunakan untuk memahami berbagai fenomena alam dan sosial. Penelitian ilmiah berkontribusi pada kemajuan ilmu

pengetahuan, inovasi teknologi, serta solusi atas permasalahan kehidupan nyata. Fungsi utamanya meliputi eksplorasi, eksplanasi, prediksi, dan pengendalian dalam berbagai bidang studi (Çaparlar CÖ, 2016).

Penelitian ilmiah juga digunakan untuk mengembangkan metode baru, memperbaiki teori yang ada, dan menghasilkan data yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan (Vinayagam, 2016). Tujuan riset mencakup:

- Memperluas pengetahuan dasar (basic research)
- Pemecahan masalah praktis (applied research)
- Inovasi dan pengembangan teknologi atau kebijakan
- Evaluasi efektivitas intervensi atau program (PMC, NIH, 2016).

2. Fungsi Edukatif

Selain sebagai tempat penelitian, Marine Research Center juga memiliki fungsi edukatif yang berorientasi pada pengembangan pengetahuan dan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pelestarian lingkungan laut. Fasilitas ini menjadi wadah pelatihan dan pembelajaran bagi mahasiswa, peneliti, serta masyarakat pesisir untuk memahami ekosistem laut secara ilmiah dan praktis. Menurut (Fadil and Setyowati, 2023), dalam penelitiannya di Marine Education Center and Research Laboratory, bangunan riset kelautan dirancang untuk mendukung pendidikan kelautan serta menjadi sarana pembelajaran publik tentang keberlanjutan ekosistem laut.

3. Fungsi Konservasi

Fungsi konservasi Marine Research Center berkaitan erat dengan upaya perlindungan, pengelolaan, dan rehabilitasi ekosistem laut. Melalui kegiatan monitoring dan penelitian biodiversitas, pusat ini membantu menjaga keseimbangan biota laut serta mengembangkan inovasi dalam konservasi sumber daya alam laut. Fasilitas penelitian kelautan berperan penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan menjadi bagian dari strategi konservasi berbasis riset ilmiah (Dwiyanti, Rijal and Hidayat, 2022).

4. Fungsi Sosial dan Pariwisata Ilmiah

Marine Research Center memiliki fungsi sosial penting dalam mengedukasi masyarakat dan mendorong keterlibatan aktif dalam konservasi laut. Selain itu, pariwisata ilmiah (*scientific tourism*) yang difasilitasi oleh pusat riset ini menggabungkan rekreasi dengan

kegiatan ilmiah yang mendidik dan meningkatkan kesadaran lingkungan. Studi oleh (S. Lucrezi et al., 2025), menunjukkan bahwa partisipasi wisatawan dalam aktivitas ilmiah memperkuat keterlibatan emosional dan kognitif, meningkatkan pengetahuan serta motivasi untuk menjaga kelestarian laut.

2.4.3 Klasifikasi *Marine Research Center*

2.4.3.1 Berdasarkan Bidang Kajian *Marine*

Bidang kajian marine atau kelautan adalah pembagian paling dasar yang umum digunakan dalam penelitian kelautan, dan terbagi menjadi empat cabang utama ilmu kelautan. Setiap cabang memiliki fokus dan cakupan penelitiannya sendiri, penting untuk memahami berbagai aspek lingkungan laut secara holistik (Knauss, 1985).

1. *Oseanografi Fisika (Physical Oceanography)*

Oseanografi fisika merupakan cabang ilmu kelautan yang mengkaji berbagai fenomena dan kondisi fisik perairan, meliputi pergerakan arus, karakteristik gelombang, suhu permukaan laut, pasang surut, serta keterkaitan antara laut dan atmosfer. Pemahaman terhadap aspek tersebut diperlukan untuk menganalisis dinamika perairan sekaligus mendukung kajian mengenai kondisi cuaca dan perubahan iklim di wilayah tertentu. Untuk menunjang proses penelitian, laboratorium dapat menyediakan fasilitas berupa ruang simulasi arus, ruang analisis data satelit, serta area observasi dan pengukuran gelombang yang dilengkapi instrumen oseanografi fisik (Leblond & MYSAK, 1978).

2. *Oseanografi Kimia (Chemical Oceanography)*

Bidang ini meneliti komposisi kimia air laut, siklus nutrisi, tingkat pencemaran laut, dan proses biogeokimia yang mempengaruhi keberlanjutan ekosistem laut. Studi kimia laut sangat penting dalam menjaga kualitas lingkungan laut dan mendukung upaya konservasi di wilayah pesisir untuk pemahaman perubahan kualitas air laut dan dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem laut (Dickson et al., 2007). Teknik analisis dan studi laboratorium terhadap sampel air dan sedimen sangat penting untuk penilaian dan pemantauan lingkungan yang akurat.

3. *Oseanografi Biologi (Biological Oceanography)*

Oseanografi biologi menyelidiki interaksi antara organisme laut dan lingkungan fisiknya, yang mencakup pola produktivitas biologis, interaksi spesies, dan dinamika ekosistem. Bidang ini mengkaji variabilitas spasial dan temporal populasi plankton, sistem terumbu karang, dan organisme laut penting lainnya untuk memahami fungsi dan ketahanan ekosistem. Penelitian yang efektif dalam oseanografi biologi memerlukan integrasi studi laboratorium, termasuk kultur plankton dan mikroskopi tingkat lanjut, dengan observasi lapangan yang ekstensif untuk menangkap proses ekologi pada berbagai skala (Ainley, 2007).

4. *Oseanografi Geologi (Marine Geology)*

Bidang *oseanografi* geologi mencakup studi tentang dasar laut, sedimentasi, proses tektonik lempeng, serta sejarah geologis lautan. Analisis stratigrafi dan sedimen mengungkap deposisi berulang di lingkungan laut dangkal hingga tengah, dengan perpindahan sedimen dan perubahan kestabilan muka laut sebagai faktor utama. Studi ini juga mengidentifikasi potensi sistem petroleum melalui pemetaan batuan sumber, *reservoir*, dan perangkat *stratigrafi* serta struktural dalam lapisan sedimen. Laboratorium geoteknik diperlukan untuk analisis sedimen dan batuan, penyimpanan sampel mineral, dan pemrosesan peta batimetri (Njoh and Taku, 2016).

2.4.3.2 Berdasarkan Fokus Penelitian Secara Umum

Kegiatan penelitian di Pusat Penelitian Kelautan difokuskan untuk menjawab tantangan nasional di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi kelautan. Dengan pengelompokan berdasarkan fokus riset, program kerja dapat disusun lebih tepat sasaran sesuai kebutuhan ilmiah dan penerapannya di lapangan. Kegiatan-kegiatan tersebut meliputi:

1. Keberlanjutan Pangan dan Perikanan

Pengelolaan yang berkelanjutan memperhatikan aspek ekologis, ekonomi, dan sosial dengan memanfaatkan teknologi modern seperti sistem pemantauan kapal (VMS) serta pendekatan berbasis komunitas untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan dan kesejahteraan nelayan. Regulasi berbasis data stok ikan sangat penting untuk mencegah overfishing dan mendukung keberlanjutan sumber daya perikanan. Sinergi antara teknologi, kebijakan, dan partisipasi

masyarakat lokal menjadi kunci keberhasilan pengelolaan perikanan berkelanjutan (Narwadan *et al.*, 2024)

Penelitian fokus pada pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan, peningkatan produktivitas perikanan, konservasi habitat ikan dan ekosistem laut. Bertujuan menjaga kestabilan stok ikan dan mendukung ketahanan pangan nasional di tengah perubahan iklim dan tekanan antropogenik. Contohnya riset teknologi budidaya, rehabilitasi terumbu karang, dan monitoring populasi ikan (BRIN, 2023).

2. Pertahanan dan Keamanan

Penelitian pada bidang ini mencakup pengembangan teknologi pengawasan laut, deteksi dini ancaman keamanan maritim (seperti perompakan, penyelundupan), dan mitigasi bencana kelautan. Sistem pengawasan yang terintegrasi memanfaatkan sensor radar, komunikasi data, dan analisis keamanan untuk mendeteksi dan merespon kejadian maritim yang mencurigakan. Ini sangat krusial dalam menjaga wilayah maritim dan mencegah aktivitas ilegal (Yılmaz, 2023).

Dalam konteks operasional, penguatan sistem pengawasan menggunakan radar maritim dan pengoptimalan sistem deteksi dini sangat vital untuk merespon secara cepat dan efektif terhadap berbagai ancaman. Integrasi teknologi ini dengan pusat komando memungkinkan pengawasan yang real-time dan koordinasi pertahanan yang lebih efisien, sehingga menjaga keamanan wilayah laut secara optimal dan berkelanjutan (Dahsan *et al.*, 2024).

3. Energi Laut Terbarukan

Energi terbarukan kelautan memanfaatkan kekuatan gelombang laut, pasang surut, arus, dan gradien termal untuk menyediakan sumber energi yang berkelanjutan dan andal. Teknologi ini semakin dioptimalkan untuk aplikasi kepulauan dan pesisir, mengintegrasikan berbagai sumber energi untuk meningkatkan efisiensi. Meskipun menghadapi tantangan biaya dan dampak lingkungan, energi terbarukan kelautan merupakan komponen vital bagi transisi energi global dan mitigasi perubahan iklim (Zhao *et al.*, 2025).

Tidal stream dan ocean current turbins merupakan teknologi terkini dalam pemanfaatan energi laut terbarukan yang memanfaatkan kekuatan arus laut untuk menghasilkan

listrik. Meski teknologi ini telah menunjukkan kemajuan signifikan dalam hal efisiensi dan desain, tantangan seperti pengaruh lingkungan, biaya operasional, serta integrasi ke dalam sistem energi nasional masih menjadi fokus penelitian penting. Pengembangan keberlanjutan dari teknologi ini penting dalam mendukung transisi global ke energi bersih dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Boretti and Castelletto, 2025).

4. Transportasi Air

Penelitian diarahkan pada pengembangan teknologi transportasi air yang efisien dan ramah lingkungan, seperti kapal berbahan bakar alternatif, sistem navigasi pintar, dan logistik maritim yang terintegrasi. *International Maritime Organization* (IMO) memberlakukan regulasi yang semakin ketat untuk menggantikan penggunaan bahan bakar berat dengan bahan bakar yang lebih bersih seperti LNG (gas alam cair), hidrogen, dan amonia. Studi ini mencakup kelayakan dan dimensi lingkungan dari bahan bakar alternatif tersebut, serta optimalisasi rantai pasok mulai dari produksi sampai distribusi. Permintaan bahan bakar bersih terus meningkat seiring sektor transportasi dengan bantuan lingkungan yang ketat (Al-enazi *et al.*, 2021).

5. Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Siregar, 2019) menunjukkan bahwa Kepulauan Tiworo memiliki potensi lahan sekitar 198,94 ha dengan pemanfaatan 31,45 ha. Beberapa pulau telah mengalami tekanan daya dukung akibat pertumbuhan penduduk dan degradasi lahan. Peningkatan pemanfaatan lahan juga berpotensi meningkatkan rasio amonia hingga 0,086-0,550, yang menunjukkan keterbatasan badan air dalam mengasimilasi limbah domestik.

Selain memiliki fungsi ekologis, wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil menyediakan sumber daya laut yang perlu dikelola secara terpadu agar pemanfaatannya berkelanjutan. Pengelolaan tersebut juga perlu memperhatikan hak ekonomi dan keterlibatan masyarakat tradisional sebagaimana diatur dalam UU No. 27 Tahun 2007 yang diperbarui melalui UU No. 1 Tahun 2014 (Chikmawati, 2013).

6. Sumber Daya Laut yang Tidak Terbarukan

Penelitian pada eksplorasi dan pengelolaan sumber daya mineral laut dalam dan hidrokarbon harus mempertimbangkan dampak ekologis akibat ekstraksi yang berpotensi merusak habitat. Pendekatan berkelanjutan diperlukan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan sambil memanfaatkan sumber daya tersebut secara optimal bagi pembangunan ekonomi dan ketahanan energi nasional (Latuconsina et al., 2023).

Ekstraksi sumber daya laut tidak terbarukan, termasuk mineral laut dalam dan hidrokarbon, harus dilakukan dengan memperhatikan dampak ekologis yang signifikan. Pengelolaan sumber daya ini memerlukan regulasi yang ketat untuk memastikan pemanfaatan berkelanjutan dan meminimalkan kerusakan lingkungan laut, guna menjaga fungsi ekosistem yang vital bagi kelangsungan sumber daya tersebut (Washburn et al., 2019).

2.4.3.3 Berdasarkan Skala dan Jangkauan *Research Center*

1. *Regional Research Center*

Regional Research Center merupakan pusat penelitian kelautan yang memiliki fokus utama pada kajian kondisi perairan dan ekosistem di tingkat lokal atau regional. Pusat ini berfungsi untuk mengumpulkan dan menganalisis data ilmiah yang relevan untuk mendukung konservasi dan pengelolaan sumber daya laut regional, sekaligus sebagai pusat edukasi dan pelatihan bagi masyarakat pesisir dan ilmuwan muda. Misalnya, dalam wilayah Indo-Pasifik, jaringan *Regional Training and Research Centres* (RTRC) yang didukung oleh UNESCO-IOC berperan penting dalam membangun kapasitas riset regional serta menyediakan pelatihan yang berkelanjutan dalam bidang oseanografi dan dinamika iklim laut (*Intergovernmental Oceanographic Commission*) (IOC-UNESCO, 2015).

Pusat-pusat regional ini mengedepankan kolaborasi antarnegara anggota untuk menangani isu-isu maritim yang bersifat lintas batas, termasuk perubahan iklim, biodiversitas laut, dan keamanan pesisir. Dukungan pemerintah dan organisasi internasional sangat vital untuk menjaga keberlangsungan kegiatan riset serta pengembangan kapasitas ilmiah di tingkat regional. WESTPAC (IOC Sub-Commission

for the Western Pacific) merupakan contoh nyata jaringan pusat riset regional yang berhasil menumbuhkan kerjasama multilateral dalam pengembangan ilmu kelautan dan pengelolaan sumber daya pesisir.

2. National Research Center

National Research Center berperan sebagai fasilitas riset berskala nasional yang mendukung kebutuhan penelitian dan penyediaan informasi bagi instansi pemerintah, termasuk BRIN dan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Data dan hasil kajian yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk mendukung perumusan kebijakan serta pengelolaan sumber daya kelautan secara berkelanjutan. Selain menghubungkan kegiatan riset dan data dari berbagai daerah, fasilitas ini juga mendukung peningkatan kompetensi tenaga ahli dan pengembangan teknologi kelautan melalui kegiatan pelatihan, analisis, dan eksperimen (KKP, 2023).

3. International Research Collaboration Center

Pusat riset dengan jaringan internasional berperan penting dalam kolaborasi riset global, terutama untuk isu perubahan iklim, konservasi keanekaragaman hayati, dan teknologi energi kelautan terbarukan. Selain menjadi pusat riset, kolaborasi internasional ini berfungsi sebagai simpul riset regional di Asia Tenggara dan kawasan lainnya, meningkatkan pertukaran ilmiah, sumber daya, dan standarisasi metodologi riset kelautan. Mereka memiliki fasilitas konferensi internasional, laboratorium kolaboratif, pusat data global, dan teknologi komunikasi modern (UNEP, 2022).

2.4.3.4 Berdasarkan Kepemilikan dan Pengelola

1. Pusat Penelitian Pemerintah / Publik

Dikelola oleh lembaga negara seperti kementerian atau badan penelitian pemerintah, atau perguruan tinggi negeri. Pusat penelitian ini memiliki fokus utama pada penelitian akademik dan kebijakan publik yang mendukung pengelolaan sumber daya laut nasional. Contohnya adalah BRIN, LIPI, dan Balai Riset Perikanan Laut (BRPL) yang berada di bawah Kementerian Kelautan dan Perikanan dan berperan dalam penelitian kelautan untuk kebijakan dan pengembangan IPTEK kelautan.

2. Pusat Penelitian Akademis / Universitas

Biasanya berafiliasi dengan perguruan tinggi dan dirancang untuk mendukung kegiatan pembelajaran, penelitian dasar dan terapan, serta publikasi ilmiah. Pusat ini biasanya menjadi tempat pelatihan profesional muda dan menjadi garda terdepan dalam inovasi ilmu kelautan. Kegiatan dan penelitian akademik dieksplorasi secara kolaboratif antara mahasiswa, dosen, dan peneliti.

3. Pusat Penelitian Swasta / Industri

Dibangun dan dikelola oleh perusahaan atau industri, fokus utamanya adalah pengembangan teknologi kelautan, energi laut, bioteknologi, dan produk komersial lainnya. Pusat ini mendukung inovasi teknologi yang dapat langsung diimplementasikan dalam sektor kelautan dan perikanan.

4. Kemitraan (Pemerintah-Swasta)

Kolaborasi antara pemerintah, sejarawan, dan industri dalam bentuk triple helix. Kemitraan ini bertujuan memadukan sumber daya, pengetahuan, dan fasilitas untuk mempercepat inovasi dan pengembangan penelitian kelautan yang relevan serta aplikatif.

5. LSM / Nirlaba

Dikelola oleh lembaga swadaya masyarakat yang fokus pada konservasi laut, advokasi kebijakan lingkungan, dan edukasi masyarakat. Mereka sering berperan sebagai pengawas lingkungan dan pelaku advokasi perlindungan ekosistem laut yang berkelanjutan.

2.4.4 Tujuan Marine Research Center

Marine Research Center memiliki tujuan utama untuk meningkatkan kapasitas dan kompetensi sumber daya riset kelautan yang mandiri serta mendukung penelitian, inovasi, dan kolaborasi di bidang kelautan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya riset serta memahami dan mengelola potensi laut secara berkelanjutan. Pusat ini menghasilkan data dan informasi ilmiah mengenai ekosistem serta keanekaragaman hayati yang dapat menjadi dasar perencanaan, penyusunan kebijakan, dan pengelolaan sumber daya laut, termasuk dalam menghadapi perubahan iklim dan tekanan aktivitas manusia. Selain itu, fasilitas ini mendorong pengembangan IPTEK melalui rekayasa kelautan, bioteknologi, teknologi konservasi, serta kegiatan edukasi guna mendukung pemanfaatan sumber daya laut secara efektif dan bertanggung jawab (LAHUO, 2019).

2.4.5 Peran dalam Konteks Pesisir dan Kelautan

Marine Research Center merupakan fasilitas kelautan yang mendukung upaya pelestarian wilayah pesisir dan laut melalui integrasi kegiatan riset, konservasi, edukasi, dan partisipasi masyarakat. Keberadaannya tidak hanya ditujukan untuk mempelajari biota serta kondisi ekosistem perairan, tetapi juga untuk menghubungkan hasil penelitian dengan kebutuhan pengelolaan lingkungan dan masyarakat pesisir. Kegiatan penelitian dan edukasi yang dilaksanakan dapat mendorong peningkatan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya menjaga keberlangsungan ekosistem laut. Penerapan prinsip arsitektur berkelanjutan selanjutnya mendukung fungsi fasilitas sebagai wadah penerapan pengetahuan dan teknologi dalam menjaga kualitas lingkungan pesisir dan laut (Fadil and Setyowati, 2023).

Selain sebagai lembaga riset dan pendidikan, *Marine Research Center* juga berperan dalam pengelolaan sumber daya alam pesisir. Keberadaan pusat penelitian kelautan berkontribusi terhadap penyusunan kebijakan tata ruang laut, pengelolaan perikanan berkelanjutan, serta pengembangan teknologi konservasi yang adaptif terhadap perubahan iklim. Pusat riset ini juga mendukung kegiatan pemetaan potensi sumber daya laut serta mendorong inovasi dalam pemanfaatan energi terbarukan di kawasan pesisir (LAHUO, 2019).

Kegiatan pusat penelitian laut seperti pelatihan budidaya laut, konservasi terumbu karang, dan ekowisata ilmiah dapat menciptakan peluang ekonomi baru bagi masyarakat setempat sekaligus menumbuhkan kesadaran ekologis. Pusat riset menjadi jembatan antara sains dan masyarakat dalam membangun hubungan yang harmonis dengan lingkungan laut.

Dengan demikian, *Marine Research Center* berperan sebagai pusat integrasi antara ilmu pengetahuan, konservasi lingkungan, dan pemberdayaan masyarakat pesisir. Melalui riset berkelanjutan dan desain arsitektur adaptif, lembaga ini membantu menciptakan keseimbangan antara pemanfaatan dan pelestarian sumber daya laut, sekaligus mendukung pembangunan kawasan pesisir yang memiliki ketahanan terhadap perubahan iklim.

2.5 Tinjauan Arsitektur

2.5.1 Arsitektur Berkelanjutan

Arsitektur berkelanjutan merupakan pendekatan perancangan yang mempertimbangkan keterkaitan antara aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi dalam menghasilkan bangunan yang hemat sumber daya,

responsif terhadap kondisi lingkungan, serta mampu memberikan kenyamanan dan kesejahteraan bagi penggunanya (McCullen *et al.*, 2019). Pendekatan ini berupaya mengurangi dampak pembangunan terhadap lingkungan melalui penggunaan energi dan sumber daya secara efisien, pemilihan material yang lebih ramah lingkungan, pengelolaan limbah, serta penyesuaian desain terhadap kondisi iklim dan karakteristik lokal (McKinley *et al.*, 2020).

Menurut Sassi, (2006) dalam bukunya “*Strategies for Sustainable Architecture*”, menjelaskan bahwa keberlanjutan berangkat dari gagasan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengurangi kesempatan generasi berikutnya dalam memenuhi kebutuhannya. Konsep tersebut berkembang dari perhatian terhadap hubungan manusia dengan lingkungan dan kemudian diterapkan melalui prinsip *triple bottom line* yang mencakup dimensi *ekologis*, sosial, dan ekonomi. Dalam bidang arsitektur, penerapannya tidak hanya diarahkan pada pengurangan dampak lingkungan selama siklus hidup bangunan, tetapi juga pada penciptaan ruang yang sehat, nyaman, dan berkualitas. Oleh karena itu, efisiensi energi dan air perlu berjalan bersama dengan pertimbangan kenyamanan, estetika, serta kualitas lingkungan agar keberlanjutan dapat diterapkan secara menyeluruh.

Prinsip Utama *Sustainable* menurut Sassi (2006), prinsip perancangan berkelanjutan dikelompokkan ke dalam enam bidang utama yang diarahkan untuk membentuk lingkungan yang kuat secara ekonomi, inklusif secara sosial, dan stabil, sekaligus mengurangi dampak pembangunan terhadap lingkungan.

1. *Site and Land Use* (Lahan dan Penggunaan Tanah), Pemilihan lokasi dengan bijak, meminimalkan dampak pada ekologi, memanfaatkan lahan bekas atau *brownfield*, mempertimbangkan akses transportasi umum dan pejalan kaki, melindungi dan memperbaiki habitat lokal, serta memaksimalkan efisiensi penggunaan lahan. Konsep “*ecological footprint*”, yaitu menghitung seberapa luas lahan yang diperlukan untuk menopang kehidupan, energi, makanan, dan pengolahan limbah bagi satu populasi atau bangunan.
2. *Community* (Komunitas dan Sosial), Mendorong partisipasi komunitas dalam perancangan, menyediakan perumahan yang layak dan inklusif untuk semua elemen masyarakat, menciptakan peluang pekerjaan dan pelatihan, dan meningkatkan kualitas hidup komunitas lokal. Pengembangan tata ruang kota yang padat

(*compact cities*) untuk mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi, memaksimalkan ruang terbuka hijau, dan memperkuat kehidupan sosial masyarakat.

3. *Health and Well-being* (Kesehatan dan Kesejahteraan), mengutamakan desain bangunan yang nyaman bagi penggunaannya. Hal ini meliputi penggunaan pencahayaan alami yang optimal dan ventilasi yang sehat. Pemilihan bahan bangunan juga harus memperhatikan aspek kesehatan, menjauhi zat berbahaya seperti VOC dan asbestos. Lingkungan sekitar bangunan pun diupayakan untuk bersifat restoratif, memberikan tempat di mana penghuni dapat memulihkan kesehatan fisik dan mental mereka. Selain itu, desain yang mendukung identitas serta kemandirian individu juga menjadi bagian dari prinsip ini.
4. *Materials* (Material Bangunan), penggunaan bahan yang tahan lama dan dapat didaur ulang. Sumber material yang digunakan harus dikelola secara berkelanjutan dan memiliki energi terembodiment (terwujud) yang rendah, artinya proses produksi dan penggunaannya tidak banyak mengonsumsi energi. Dalam proses konstruksi dan pembongkaran, segregasi limbah material penting untuk mempermudah daur ulang. Selain itu, pemilihan material lokal dianjurkan guna mengurangi jejak karbon akibat transportasi, dan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) diterapkan untuk menilai dampak lingkungan dari material sepanjang siklus hidupnya, meliputi polusi, energi, dan penggunaan air.
5. *Energy* (Energi), pengurangan kebutuhan energi melalui desain bangunan yang efisien secara pasif. Hal ini meliputi orientasi optimal bangunan, insulasi yang baik, serta pemanfaatan pencahayaan dan ventilasi alami. Pemakaian sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan *biofuel* sangat dianjurkan. Selain itu, penerapan sistem manajemen energi yang ramah pengguna membantu mengoptimalkan konsumsi energi, dan standar efisiensi tinggi harus diterapkan pada seluruh aspek bangunan untuk meminimalisasi emisi karbon dan konsumsi energi.
6. *Water* (Air), pengelolaan air ditujukan pada efisiensi penggunaan air melalui pemasangan alat-alat hemat air dan pemanfaatan air hujan serta *greywater*. Minimasi pembuangan air ke saluran utama juga diupayakan agar tekanan pada sistem pengolahan air berkurang. Desain sistem drainase yang berkelanjutan dan penggunaan sumber

air alternatif mendukung fungsi efisien dari penggunaan air sekaligus menjaga kelestarian ekosistem lokal.

Menurut Mumovic & Santamouris (2019) dalam bukunya yang berjudul *“A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering, Second Edition”*, Arsitektur berkelanjutan merupakan pendekatan holistik yang mengintegrasikan desain dan rekayasa bangunan untuk mencapai efisiensi energi, kesehatan penghuni, serta kinerja operasional yang optimal. Arsitektur ini menanggapi tantangan iklim dan perubahan lingkungan dengan mengadaptasi bangunan agar tahan terhadap perubahan iklim, sekaligus menciptakan lingkungan yang sehat, nyaman, dan aman. Bangunan berkelanjutan berfokus pada pengurangan penggunaan energi fosil, peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya, dan pengurangan dampak ekologis selama siklus hidup bangunan.

Prinsip-prinsip arsitektur berkelanjutan menurut Mumovic & Santamouris (2019) meliputi aspek:

1. Pendekatan Terpadu, menggabungkan energi, kesehatan, dan kinerja operasional sebagai fokus utama untuk mendesain bangunan yang benar-benar berkelanjutan dan berdaya guna tinggi.
2. Efisiensi Energi dan Penggunaan Teknologi Terbarukan, mendesain bangunan dengan efisiensi energi tinggi, menggunakan teknologi terbarukan, dan mengurangi penggunaan energi dari sumber fosil.
3. Adaptasi terhadap Perubahan Iklim, memastikan bangunan mampu menyesuaikan diri dan merespons kondisi iklim yang berubah, baik melalui desain pasif maupun teknologi aktif yang adaptif.
4. Kesejahteraan Penghuni, menekankan pentingnya kualitas udara dalam ruangan, kenyamanan termal, pencahayaan alami, dan kesehatan penghuni sebagai bagian dari desain.
5. Pengelolaan Siklus Hidup Bangunan, menggunakan analisis siklus hidup (*Life Cycle Assessment*) untuk memahami dan mengurangi dampak lingkungan bangunan dari fase konstruksi hingga pembongkaran.
6. Masterplan Lingkungan yang Terintegrasi, memperhatikan konteks urban dan lingkungan sekitar melalui perencanaan lingkungan yang menyeluruh, yang meliputi pengelolaan mikroklimat, kualitas udara, dan pengurangan efek pulau panas perkotaan.
7. Kolaborasi Multidisipliner, mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu seperti arsitektur, teknik, *ekologi*, dan ilmu sosial

untuk menciptakan solusi bangunan berkelanjutan yang komprehensif.

Berdasarkan hasil kajian terhadap sejumlah pendapat ahli, arsitektur berkelanjutan dapat dimaknai sebagai pendekatan perancangan yang menempatkan aspek ekologis, sosial, dan ekonomi sebagai satu kesatuan. Penerapannya bertujuan menghemat penggunaan sumber daya, membatasi dampak pembangunan terhadap lingkungan, menyesuaikan bangunan dengan perubahan iklim, serta menciptakan ruang yang mendukung kesehatan dan kenyamanan pengguna. Berbagai pandangan tersebut memiliki fokus yang beragam, seperti penghematan energi, pemilihan material, pengelolaan bangunan sepanjang masa penggunaan, dan keterlibatan masyarakat. Namun, keberlanjutan tidak hanya berkaitan dengan aspek lingkungan, melainkan juga mencakup kualitas ruang, kesejahteraan pengguna, manfaat jangka panjang, serta hubungan yang seimbang antara manusia dan alam. Oleh karena itu, penerapan arsitektur berkelanjutan perlu dilakukan secara terpadu untuk memenuhi kebutuhan masa kini sekaligus menjaga kualitas lingkungan bagi generasi yang akan datang.

2.5.2 Penerapan Prinsip-Prinsip Arsitektur Berkelanjutan

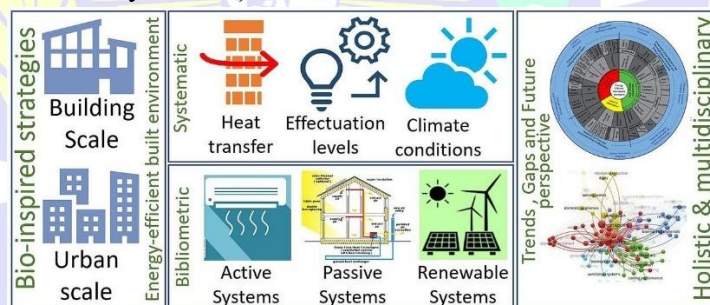
Perumusan prinsip arsitektur berkelanjutan pada penerapan rancangan dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai aspek yang mendukung keberlanjutan dalam desain bangunan. Menurut Sassi (2006), penerapan arsitektur berkelanjutan mencakup beberapa aspek utama, antara lain pemanfaatan tapak dan lahan (*site and land use*), kehidupan bermasyarakat (*community*), kesehatan dan kenyamanan pengguna (*health and well-being*), material, energi, serta air. Di sisi lain, Mumovic & Santamouris (2019) menyoroti bahwa pentingnya kinerja bangunan, penghematan energi, pemanfaatan sumber energi terbarukan, kenyamanan termal, kesehatan pengguna, serta kemampuan bangunan dalam merespons kondisi iklim dan lingkungan sekitarnya. Dengan mengacu pada kedua sumber tersebut, prinsip perancangan kemudian dirumuskan melalui penyesuaian terhadap karakteristik kawasan pesisir khususnya kondisi iklim, lingkungan laut, dan keberadaan ekosistem pesisir yang menjadi bagian penting dari konteks tapak.

Dari hasil kajian tersebut menjadi dasar dalam menentukan arah perancangan yang mencakup penghematan dan efisiensi energi, penggunaan sumber energi terbarukan, pengurangan serta pengolahan limbah, pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan, pemilihan

material yang lebih ramah lingkungan, penyesuaian bangunan terhadap karakteristik iklim pesisir, upaya menjaga ekosistem pesisir, peningkatan kenyamanan termal dan kesehatan pengguna, serta penguatan aspek sosial melalui kegiatan edukasi. Prinsip-prinsip tersebut kemudian dikembangkan menjadi strategi perancangan yang disesuaikan dengan kondisi tapak, lingkungan, dan kebutuhan pengguna. Penerapannya dijelaskan melalui beberapa aspek berikut:

1. Efisiensi Energi

Efisiensi energi dalam bangunan bertujuan menekan konsumsi energi dengan tetap mempertahankan fungsi dan kenyamanan pengguna melalui penerapan teknologi hemat energi serta strategi desain pasif. Penerapannya dapat dilakukan dengan mengatur orientasi bangunan terhadap arah matahari dan angin laut, mengoptimalkan bukaan untuk memperoleh pencahayaan serta penghawaan alami, dan menggunakan *shading* maupun *secondary skin* untuk mengurangi paparan panas matahari. Integrasi strategi tersebut dengan pemilihan material, pengolahan selubung bangunan, dan penataan lanskap dapat membantu menekan kebutuhan energi operasional pada iklim tropis sekaligus mendukung prinsip arsitektur berkelanjutan serta pencapaian SDG 7 (*Affordable and Clean Energy*) dan SDG 13 (*Climate Action*) (Sholanke and Ganya, 2024).



Gambar 2. 15 Kerangka Strategi Desain *Bio-inspired* untuk Efisiensi Energi pada Bangunan

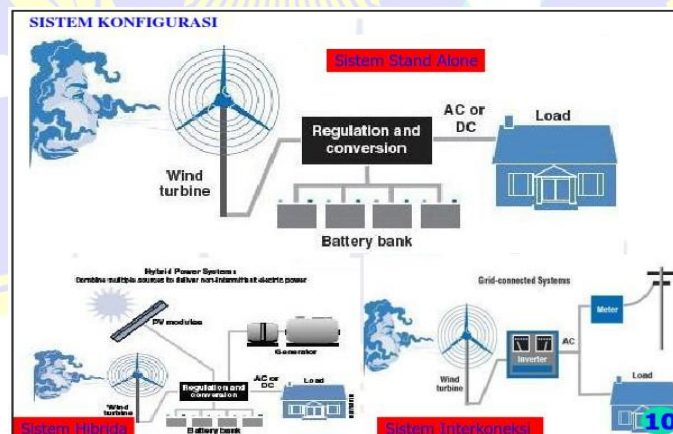
Sumber : (Shashwat et al., 2023)

Konsep efisiensi energi berlandaskan pada prinsip termodinamika dan rekayasa energi yang berfokus pada penggunaan energi secara optimal dalam bangunan. Penerapannya dapat dilakukan melalui peningkatan kualitas insulasi termal, penggunaan selubung bangunan yang memiliki kinerja baik, pemilihan sistem HVAC yang efisien, serta penggunaan lampu dan peralatan listrik dengan konsumsi energi rendah. Strategi tersebut tidak hanya membantu mengurangi dampak terhadap

lingkungan, tetapi juga dapat menekan kebutuhan biaya operasional bangunan dalam jangka panjang. Selain itu, penerapan teknologi *smart building* dapat meningkatkan efisiensi melalui sistem otomatis yang mengatur penggunaan energi berdasarkan kebutuhan dan aktivitas pengguna.

2. Pemanfaatan Energi Terbarukan

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi strategi krusial untuk kemandirian energi pada bangunan yang akan dirancang, dengan potensi sinar matahari tinggi (4-5 kWh/m²/hari) dan angin laut stabil (5-7 m/s) yang mendukung panel surya *rooftop* monokristalin (efisiensi 15-20%) serta turbin angin vertikal *low-speed* sebagai cadangan. (Tawfik *et al.*, 2023) dalam studi *green port* Mesir menunjukkan sistem *hybrid* surya dan angin pada bangunan pelabuhan dengan panel surya *onsite* dan *array* turbin angin mampu memasok kebutuhan listrik bangunan melalui integrasi kontroler pintar, mencapai kestabilan pasokan siang-malam via *Pareto optimality analysis*, efisiensi sistem >80%, serta pengurangan emisi CO₂ signifikan yang divalidasi *design builder* dan *CFD simulation*. Di Paciran, adaptasi strategi ini dengan inverter *hybrid*, baterai storage, dan monitoring IoT memenuhi 70-100% kebutuhan fasilitas 100-200 kW (4.000-5.000 kWh/tahun) pada *levelized cost of energy* rendah dibanding diesel generator, selaras SDG 7 dan SDG 9, menjadikan bangunan *net-zero energy resilient* melalui orientasi atap optimal PV dan turbin minim noise.



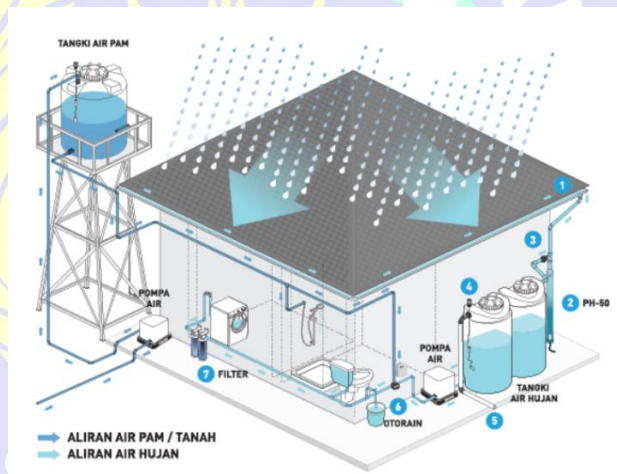
Gambar 2. 16 Sistem Konfigurasi Pemanfaatan Energi Terbarukan
Sumber : (Ramdani, 2016)

3. Pengelolaan Air & Limbah Berkelanjutan

Penerapan pengelolaan air berkelanjutan dilakukan dengan mengoptimalkan penggunaan air melalui konservasi, pemanfaatan kembali air yang telah digunakan, serta pengolahan limbah sebelum dibuang ke pembuangan akhir. Pendekatan ini diarahkan untuk mengurangi konsumsi air, menekan potensi pencemaran, dan menjaga kualitas sumber daya perairan, sekaligus mendukung pencapaian SDG 6 (*Clean Water and Sanitation*) dan SDG 14 (*Life Below Water*).

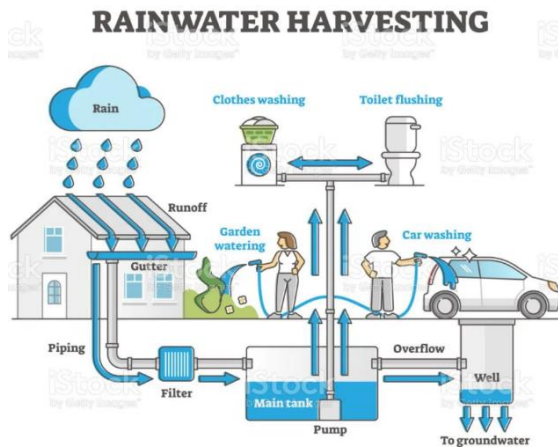
1. Konservasi Air

Konservasi air pada bangunan hijau melibatkan pengurangan konsumsi dan pemborosan melalui fitting hemat seperti toilet *low-flush* serta shower *low-flow* (hemat hingga 50%), pemanenan air hujan dari atap untuk irigasi, pengolahan air bekas guna pemakaian non-minum, dan target penghematan >20% berdasarkan rating LEED/BREEAM, demi melestarikan 3% air tawar Bumi dari krisis akibat meningkatnya populasi hingga 2050 (R. Sivasankar *et Al.*, 2016).



Gambar 2. 17 Pemanenan air hujan, pengelolaan sumber air

Sumber : <https://penguin.id/tips/cara-kerja-sistem-penampungan-air-hujan/> (2021)



Gambar 2. 18 Pemanenan air hujan, pengelolaan sumber air
Sumber : <https://halojatim.com/read/kemarau-panjang-di-depan-mata-pemerintah-tawarkan-solusi-tampung-air-hujan-dengan-cara-ini> (2023)

2. Pengelolaan Air Bekas

Sistem pengelolaan *greywater* mencakup pengumpulan air limbah domestik dari wastafel, kamar mandi, serta mesin cuci yang mencapai 75% total limbah rumah tangga tanpa mencampur air dari toilet. Air tersebut mengandung bahan organik mudah terurai (rasio BOD5/COD 0,31-0,71), nutrisi, sabun, serta kuman, sehingga butuh proses bertingkat: pra-pengolahan (saringan kasar), primer (pengendapan), sekunder (biologis seperti RBC yang hilangkan 88-99% bakteri atau MBR hingga 99% TSS), dan tersier (sterilisasi). Air hasil olahan bisa dipakai untuk irigasi atau siram toilet non-minum, dengan metode alam seperti biji *Moringa oleifera* atau arang aktif yang kurangi hingga 97% BOD5 secara hemat biaya (Halwani *et al.*, 2018).



Gambar 2. 19 Pemanfaatan air bekas

Sumber : https://issuu.com/arcaka/docs/arcaka_issue_11-_architourism/s/10663520 (2020)

Pengumpulan greywater pakai pipa terpisah untuk cegah pencemaran blackwater, lalu disimpan sementara agar tidak rusak secara kimia. Pengolahan fisik-kimia (filtrasi pasir/kayu pinus) tekan TSS 53-93% dan keruh, sementara biologis (wetland buatan, SBR) fokus BOD5 hingga 99% plus nutrisi (N/P) (Halwani *et al.*, 2018).



Gambar 2. 20 Pemanfaatan air bekas

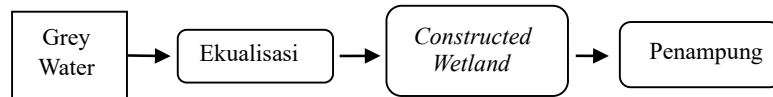
Sumber : <https://www.asramuhendislik.com/wastewater-recovery/> (2024)

Pemanfaatan greywater yang telah diolah untuk irigasi bawah tanah atau penyiraman toilet, sebagaimana diterapkan di wilayah kering seperti Afrika dan Timur Tengah dengan potensi 14-161 liter per orang per hari melalui sistem pengolahan seperti UASB atau sistem campuran, mampu mengurangi ketergantungan pada air bersih PDAM dan menjaga cadangan air tanah pesisir, serta umumnya diterima masyarakat untuk keperluan non-konsumsi meskipun masih terdapat kekhawatiran terhadap aspek kesehatan jika digunakan sebagai air minum (Halwani *et al.*, 2018).

3. Sistem Pengolahan Limbah

Sistem pengolahan limbah cair pada bangunan penelitian menggunakan IPAL terintegrasi yang mencakup penyaringan (bar screen), pengendapan (*grease trap*), pengolahan biologis (aerasi lumpur aktif), dan filtrasi (karbon aktif) untuk menurunkan BOD, COD, serta TSS hingga memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke laut. Limbah padat dikelola melalui *incinerator* berfilter,

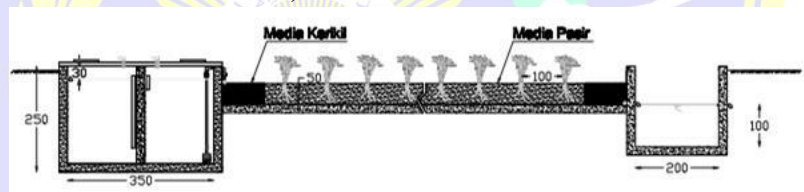
komposter organik, dan pemilahan sampah guna mencegah pencemaran pantai, sementara limbah laboratorium mematuhi 3R (*reduce, reuse, recycle*) serta penyimpanan terpisah untuk zat berbahaya (Sappewali *et al.*, 2024).



Gambar 2. 21 Sistem pengelolaan limbah

Sumber : (Ahmad Safrodin, 2016)

Proses pengolahan limbah cair dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu penyaringan awal, ekualisasi, pengolahan biologis, klarifikasi, dan evaluasi. Rangkaian tersebut mampu menurunkan nilai COD dari 9.861 mg/L menjadi 96,5 mg/L dan TSS dari 251 mg/L menjadi 21,6 mg/L, serta menghasilkan pH sebesar 7,5 yang memenuhi ketentuan Peraturan Menteri LH No. 5 Tahun 2014. Selain itu, penerapan biofilter berupa *constructed wetland* tipe SSFCW dengan tanaman *Cyperus alternifolius* menghasilkan kadar BOD sebesar 25 mg/L, COD 48 mg/L, dan TSS 12 mg/L (Ahmad Safrodin, 2016).



Gambar 2. 22 Perencanaan Unit *Subsurface Flow Constructed Wetland*

Sumber : (Ahmad Safrodin, 2016)

Penerapan IPAL dengan metode biofilter pada *Marine Research Center* Paciran menjadi salah satu upaya untuk mengintegrasikan pengelolaan limbah ke dalam konsep perancangan kawasan pesisir. Air limbah dari kegiatan bangunan diolah terlebih dahulu untuk menekan kandungan pencemar sebelum dilepas ke lingkungan maupun dimanfaatkan kembali. Proses tersebut dapat mengurangi kebutuhan air bersih sekaligus membantu mempertahankan kualitas perairan dan ekosistem pesisir. Limbah yang berasal dari kegiatan laboratorium juga dikelola dengan menerapkan prinsip 3R serta sistem manajemen lingkungan berdasarkan ISO 14001 guna meminimalkan potensi dampaknya. Dengan penerapan tersebut, sistem IPAL biofilter

dapat menjadi bagian dari strategi pengelolaan lingkungan yang mendukung efisiensi sumber daya dan perlindungan kawasan pesisir Lamongan.

4. Penggunaan Material Ramah Lingkungan

Pemilihan material dalam arsitektur berkelanjutan perlu mempertimbangkan dampak lingkungan selama seluruh masa penggunaan bahan, mulai dari proses produksi hingga tahap akhir pemanfaatannya. Bahan seperti bambu, beton dengan kandungan karbon rendah, dan baja daur ulang dapat menjadi alternatif karena berpotensi mengurangi penggunaan energi dan sumber daya. Untuk bangunan yang berada di kawasan pesisir, material juga harus memiliki ketahanan terhadap kelembapan, garam, dan salinitas guna mengurangi risiko kerusakan serta memperpanjang masa pakai bangunan. Pemanfaatan material lokal, termasuk bambu dan agregat hasil daur ulang, dapat turut menekan limbah dan emisi akibat distribusi bahan dari lokasi yang jauh (Panchal, 2025). Penerapan strategi tersebut berkaitan dengan SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*) dan SDG 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), dengan tetap memperhatikan faktor ketersediaan, biaya, dan ketahanan material dalam jangka panjang pada lingkungan pesisir.

Tabel 2. 3 Kinerja Material Berkelanjutan pada Bangunan di Area Pesisir

Jenis Material	Ketahanan Lingkungan	Keunggulan Daya Tahan	Keterbatasan
Beton Fly Ash / GGBS	Sangat baik terhadap penetrasi klorida	Permeabilitas lebih rendah dan ketahanan sulfat yang lebih baik	Memerlukan kontrol campuran beton yang ketat
Beton Geopolimer	Ketahanan tinggi terhadap bahan kimia dan korosi	Susut minimal serta jejak karbon (CO ₂) lebih rendah	Data penerapan lapangan skala besar masih terbatas
Polimer Bertulang Serat (FRP)	Ketahanan baik terhadap sinar UV dan kelembaban	Kuat tarik tinggi dan kebutuhan perawatan rendah	Sensitif terhadap kondisi suhu ekstrem
Komposit Berbasis Hayati (Bio-based Composites)	Ketahanan sedang terhadap garam dan radiasi UV	Ringan dan bersifat biodegradable	Rentan terhadap degradasi biologis tanpa perlakuan khusus

Beton Agregat Daur Ulang	Daya tahan sedang dengan desain campuran yang tepat	Berkelanjutan dan mengurangi beban limbah ke TPA	Risiko ketidakkonsistenan kualitas akibat variasi sumber material
---------------------------------	---	--	---

Sumber : (Panchal, 2025)

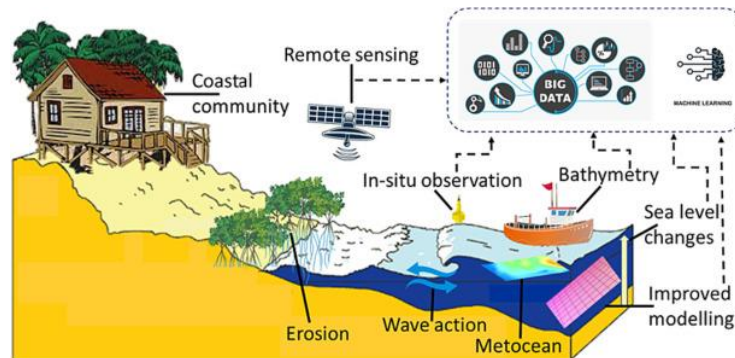


Gambar 2. 23 Material ramah lingkungan

Sumber : <https://www.smsperkasa.com/blog/material-bangunan-ramah-lingkungan-untuk-proyek> , (2025)

5. Adaptasi terhadap Iklim Pesisir

Adaptasi iklim di wilayah pesisir dapat dilakukan dengan meningkatkan kemampuan masyarakat dan lingkungan dalam menghadapi risiko kenaikan muka air laut, cuaca ekstrem, serta abrasi. Upaya tersebut dapat diwujudkan melalui penyediaan infrastruktur yang adaptif terhadap bencana, pemulihan ekosistem pesisir seperti mangrove sebagai perlindungan alami, serta pengembangan alternatif mata pencaharian untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya laut. Strategi adaptasi juga mencakup penerapan sistem peringatan dini, drainase yang mampu menyesuaikan kondisi lingkungan, peningkatan kapasitas masyarakat melalui pelatihan, dukungan ekonomi, serta penguatan kerja sama antara pemerintah dan masyarakat melalui kebijakan dan pembiayaan yang mendukung ketahanan iklim. Pendekatan yang melibatkan berbagai pihak secara terpadu diperlukan untuk mengurangi kerentanan masyarakat pesisir, meskipun pelaksanaannya masih menghadapi kendala dalam koordinasi antar-pihak dan keberlanjutan pendanaan (Silalahi, 2024).

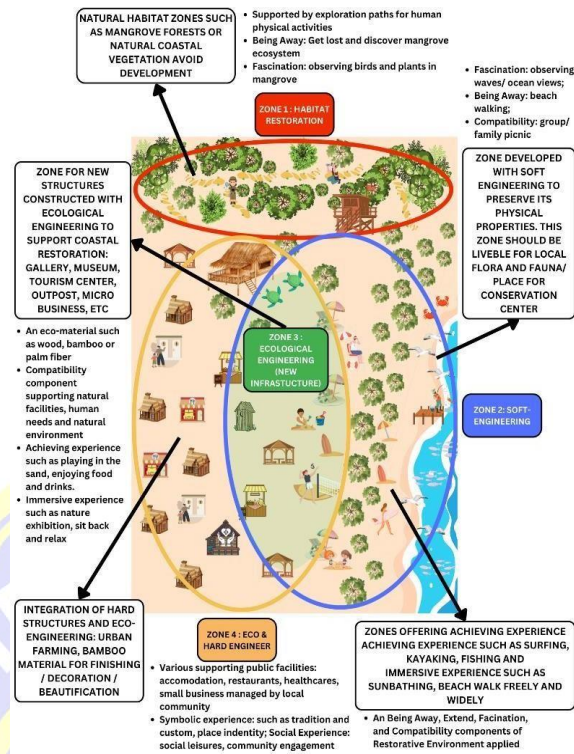


Gambar 2. 24 Interaksi dengan alam dan intervensi manusia di area pesisir
Sumber : (Chowdhury et al., 2023).

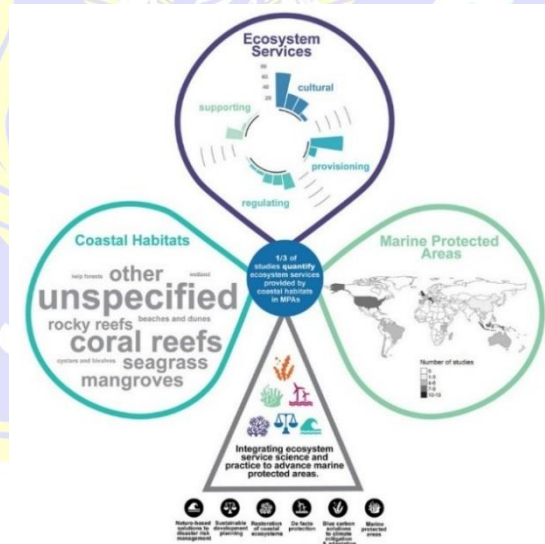
Gambar tersebut menggambarkan bahwa upaya adaptasi terhadap kondisi iklim pesisir memerlukan dukungan data hasil pemantauan dan pemodelan lingkungan secara terpadu. Data mengenai gelombang, arus, pasang surut, batimetri, dan perubahan muka air laut dapat diperoleh melalui teknologi *remote sensing* serta pengukuran langsung di lapangan (*in-situ*). Selanjutnya, data tersebut dianalisis dengan memanfaatkan teknologi *big data* dan *machine learning* untuk menghasilkan pemodelan kondisi pesisir yang lebih akurat (Chowdhury et al., 2023). Hasil analisis dapat digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara proses erosi, karakteristik gelombang, dan dinamika *metocean*, sehingga menjadi dasar dalam menentukan strategi adaptasi berupa perlindungan pantai, pengaturan tata ruang, dan sistem peringatan dini guna meningkatkan ketahanan kawasan pesisir terhadap perubahan iklim.

6. Konservasi Ekosistem Pesisir

Konservasi ekosistem dalam perancangan pusat penelitian pesisir diarahkan untuk mengurangi dampak pembangunan sekaligus mempertahankan fungsi ekologis kawasan. Upaya tersebut dapat dilakukan melalui penetapan zonasi konservasi, pembatasan luas tapak, penggunaan struktur panggung pada area rawa atau pesisir, serta penyediaan koridor hijau yang menghubungkan ekosistem mangrove, padang lamun, dan terumbu karang. Keterhubungan antarekosistem tersebut berperan dalam menjaga aliran air, pergerakan sedimen, serta aktivitas biota, sekaligus membantu meredam energi gelombang dan mengurangi risiko erosi. Dengan demikian, keberadaan bangunan dapat terintegrasi dengan sistem perlindungan alami sehingga turut mendukung ketahanan kawasan pesisir terhadap badai dan kenaikan muka air laut (Hasim, 2021).



Gambar 2. 25 Konsep desain lingkungan restoratif
Sumber : (Kirana & Sunarya, 2024)



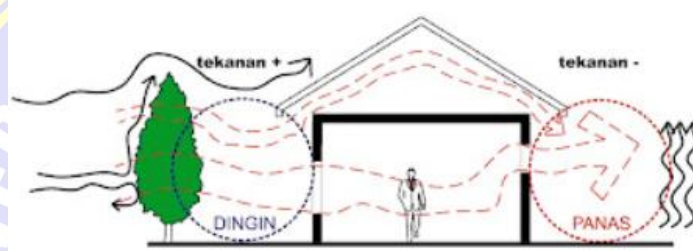
Gambar 2. 26 Konsep desain lingkungan restoratif
Sumber : (Arkema et al., 2024)

Secara ekologis, pusat penelitian diarahkan untuk menjaga fungsi *self-purification* melalui perlindungan dan pemulihan mangrove, lamun, serta terumbu karang yang membantu menyaring sedimen dan polutan

serta menyimpan karbon biru. Integrasi kegiatan penelitian, pemantauan kualitas air, konservasi biota, dan edukasi lingkungan dapat mendukung keseimbangan ekosistem sekaligus memperkuat pengelolaan kawasan pesisir yang adaptif terhadap perubahan iklim (Arkema *et al.*, 2024).

7. Kenyamanan Termal dan Sirkulasi Udara

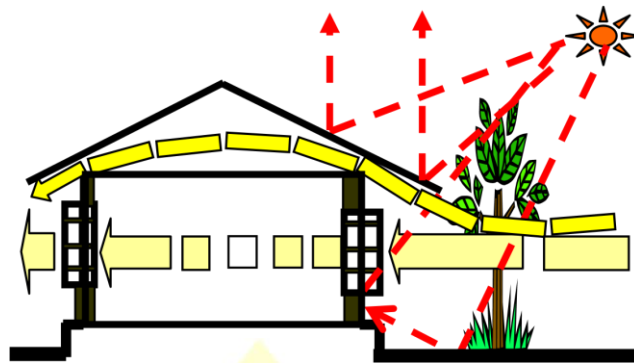
Kenyamanan termal pada bangunan di kawasan pesisir tropis dapat dicapai dengan memaksimalkan ventilasi alami untuk menjaga suhu, kelembapan, dan pergerakan udara dalam kondisi yang nyaman bagi pengguna. Strategi desain dapat dilakukan dengan mengurangi masuknya panas melalui orientasi bangunan, penggunaan *shading*, atap dengan daya pantul tinggi, dan insulasi, serta mengoptimalkan ventilasi silang dan *stack effect* untuk menjaga pergantian udara secara berkelanjutan pada area aktivitas (Boyer, 2006).



Gambar 2. 27 Kenyamanan termal pada bangunan

Sumber : <https://dayumiranda.blogspot.com/2016/02/kenyamanan-termal.html>
, (2016)

Penerapan ventilasi alami pada bangunan di iklim tropis dapat dioptimalkan melalui pengaturan posisi dan luas bukaan serta tata ruang yang mendukung kelancaran aliran udara. Pada lingkungan pesisir, keberadaan angin laut (*sea breeze*) dapat dimanfaatkan sebagai media pendinginan pasif dengan mengarahkan bangunan ke sumber angin, menyediakan bukaan yang cukup luas, dan menerapkan koridor terbuka. Strategi tersebut dapat membantu mengurangi panas dalam bangunan sekaligus menciptakan kondisi termal yang lebih nyaman bagi pengguna (Arrar *et al.*, 2022).



Gambar 2. 28 Kenyamanan termal dan sirkulasi pada bangunan
Sumber : (Talarosha, 2005)

Berdasarkan gambar tersebut, kenyamanan termal pada bangunan di wilayah tropis dapat didukung melalui strategi desain yang menyesuaikan kondisi iklim setempat. Upaya tersebut meliputi penggunaan teritis dengan dimensi yang memadai, pemilihan warna terang pada selubung bangunan, penerapan ventilasi silang, serta pemberian perlindungan pada atap dan dinding dari radiasi matahari. Selain itu, elemen peneduh dapat digunakan untuk mengurangi paparan sinar matahari secara langsung sehingga panas dan silau yang masuk ke dalam ruang dapat diminimalkan (Talarosha, 2005).

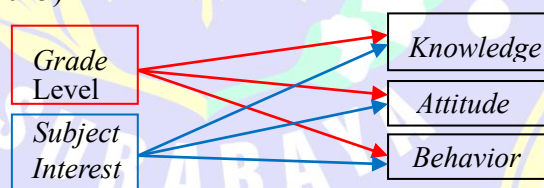


Gambar 2. 29 Alur sirkulasi udara didalam bangunan
Sumber : <https://share.google/images/pL5tly8ZOx9eT4lV>, (2022)

Hasil kajian terhadap hunian beriklim tropis di Indonesia menunjukkan bahwa kenyamanan termal dapat didukung melalui penggunaan atap dengan ruang yang tinggi, ventilasi pada bagian atas bangunan seperti jalusi, *rooster*, dan *singap* (bidai), serta penerapan lantai panggung dan bukaan pada sisi yang berlawanan. Strategi tersebut membantu memperlancar pertukaran udara dan menjaga kondisi ruang tetap nyaman pada lingkungan dengan suhu serta kelembapan yang tinggi. Pada kawasan pesisir, penataan orientasi massa, ketinggian bangunan, dan jarak antarbangunan juga berperan dalam mengoptimalkan masuknya angin dominan sehingga sirkulasi udara alami dapat berlangsung lebih baik (Iqbal *et al.*, 2022).

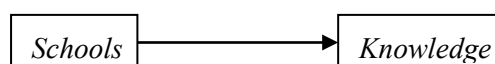
8. Keberlanjutan Sosial & Edukasi

Penguatan keberlanjutan sosial di kawasan pesisir dapat dilakukan dengan mempertahankan nilai budaya serta mempererat interaksi dan solidaritas masyarakat untuk meningkatkan kemampuan menghadapi tekanan sosial ekonomi dan perubahan iklim. Implementasinya dapat dilakukan melalui pendidikan berbasis *Education for Peace and Sustainable Development* (EPSD), seperti pemanfaatan tradisi Nadran dalam pembelajaran di masyarakat pesisir Cirebon. Melalui pendekatan tersebut, nilai gotong royong, pemanfaatan sumber daya kelautan secara bijak, serta pemahaman mengenai mitigasi konflik dan bencana dapat ditanamkan kepada generasi muda. Dengan demikian, laut dipahami tidak hanya sebagai sumber daya alam, tetapi juga sebagai bagian dari identitas budaya dan ekosistem yang perlu dijaga keberlangsungannya (Utami *et al.*, 2025).



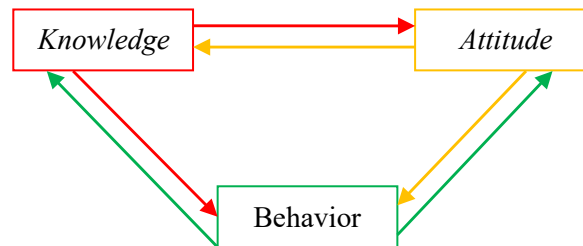
Gambar 2. 30 Desain penelitian tentang tiga aspek literasi kelautan berdasarkan tingkat kelas dan minat mata pelajaran.

Sumber : (Hindrasti, 2021)



Gambar 2. 31 Desain Penelitian tentang Berbagai Tes Pengetahuan Kelautan Antara Sekolah Swasta dan Sekolah Negeri

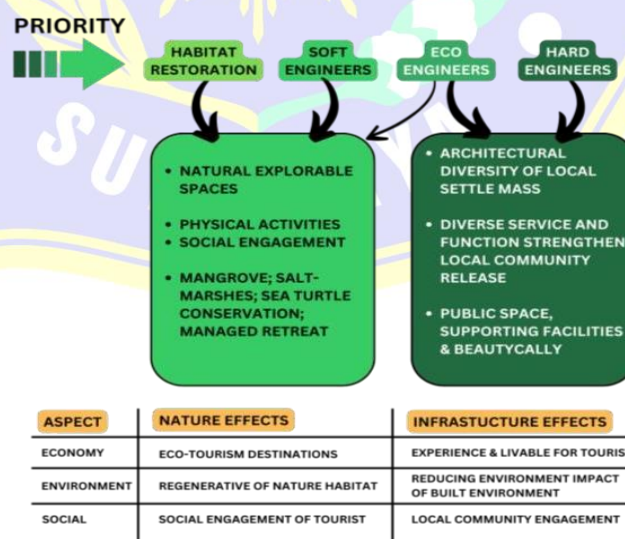
Sumber : (Hindrasti, 2021)



Gambar 2. 32 Desain Penelitian untuk Uji Korelasi Tiga Aspek Literasi Kelautan

Sumber : (Hindrasti, 2021)

Pendidikan memiliki peran penting dalam meningkatkan literasi kelautan dengan mengintegrasikan pengetahuan, sikap, dan perilaku peduli lingkungan pada generasi muda di wilayah pesisir. Penelitian yang dilakukan (Hindrasti, 2021) pada siswa SMA di Tanjung pinang menunjukkan bahwa tingkat pemahaman tentang kelautan tergolong sedang, sedangkan kepedulian terhadap lingkungan berada pada kategori tinggi dan penerapan perilaku lingkungan masih cukup. Keterkaitan antara aspek pengetahuan, sikap, dan perilaku menunjukkan perlunya pembelajaran yang mengacu pada kondisi nyata di sekitar peserta didik, seperti observasi langsung di wilayah pesisir dan kegiatan lingkungan di luar pembelajaran formal. Pendekatan EPSD dengan landasan konstruktivisme dan *social learning* dapat mendukung proses tersebut melalui pengalaman langsung serta interaksi dengan lingkungan sosial, sehingga membantu membentuk perilaku yang lebih peduli dan sesuai dengan karakteristik kawasan pesisir.



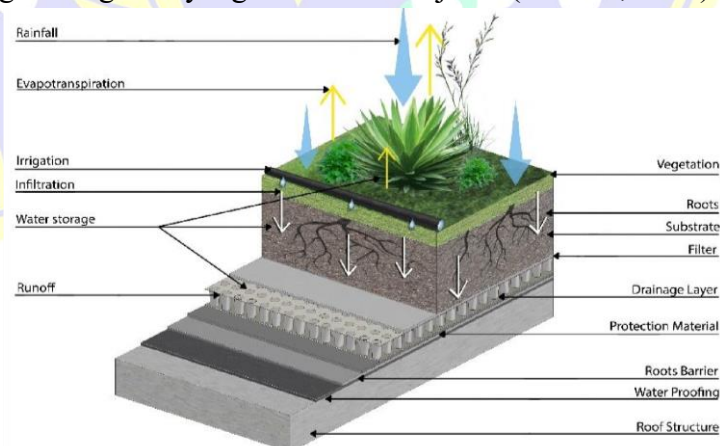
Gambar 2. 33 Penetapan Zona Prioritas dalam Implementasi Infrastruktur di Daerah Pesisir dan Dampaknya pada Beberapa Aspek

Sumber : (Kirana & Sunarya, 2024)

Pemberdayaan ekonomi melalui wisata bahari berkelanjutan dapat dilakukan dengan melibatkan masyarakat dalam pengembangan potensi alam dan budaya setempat tanpa mengabaikan kelestarian ekosistem. Upaya tersebut dapat diwujudkan melalui wisata edukasi, pelatihan usaha seperti *homestay* dan kuliner, serta pembentukan kelompok sadar wisata (POKDARWIS) dengan dukungan pemerintah, akademisi, dan lembaga terkait. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekaligus mempertahankan nilai budaya dan kelestarian lingkungan pesisir (Hamzah *et al.*, 2024).

9. *Rooftop Garden*

Rooftop garden merupakan bentuk pemanfaatan atap bangunan sebagai ruang hijau yang dapat menjadi solusi terhadap keterbatasan lahan sekaligus memberikan fungsi ekologis. Vegetasi pada atap dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman, memperbaiki kualitas udara, menyerap karbon, meningkatkan nilai visual, dan membantu menekan peningkatan suhu bangunan. Penerapannya membutuhkan beberapa lapisan pendukung, seperti membran kedap air, sistem penyaringan, media tanam, drainase, serta pengairan yang dirancang secara terintegrasi. Selain berfungsi dalam menahan sebagian air hujan dan mengurangi panas yang diterima bangunan, vegetasi atap juga dapat menyediakan habitat bagi berbagai jenis serangga dan burung. Oleh karena itu, *rooftop garden* dapat diterapkan sebagai salah satu strategi desain yang mengoptimalkan ruang sekaligus mendukung terciptanya lingkungan bangunan yang lebih berkelanjutan (Barreca, 2016).



Gambar 2. 34 Lapisan Green Roof

Sumber : (Abuseif, 2023)

Tabel 2. 4 Penerapan Prinsip Arsitektur Berkelanjutan pada *Marine Research Center* di Paciran

Prinsip Arsitektur Berkelanjutan	Strategi Desain	Penerapan pada Marine Research Center Paciran	Keterkaitan SDGs
Efisiensi Energi	Desain pasif dan optimasi energi alami	Orientasi bangunan mengikuti arah angin laut Paciran, ventilasi silang, pencahayaan alami, shading fasad untuk mengurangi panas matahari	SDG 7 (<i>Affordable and Clean Energy</i>), SDG 13 (<i>Climate Action</i>)
Pemanfaatan Energi Terbarukan	Integrasi energi bersih	Pemasangan panel surya pada atap bangunan dan potensi pemanfaatan energi angin pesisir untuk suplai listrik laboratorium	SDG 7, SDG 9 (<i>Industry, Innovation and Infrastructure</i>)
Pemanfaatan Limbah	Pengelolaan dan daur ulang limbah terpadu (<i>reduce, reuse, recycle</i>) serta <i>waste to energy</i>	Pengolahan limbah organik menjadi biogas, daur ulang limbah plastik laut menjadi elemen fasad atau interior, serta pengolahan limbah cair (<i>greywater</i> & air akuarium) untuk digunakan kembali pada <i>flushing</i> dan irigasi	SDG 6 (<i>Clean Water and Sanitation</i>), SDG 7 (<i>Affordable and Clean Energy</i>), SDG 12 (<i>Responsible Consumption and Production</i>), SDG 14 (<i>Life Below Water</i>)
Pengelolaan Air Berkelanjutan	Konservasi dan daur ulang air	Sistem rainwater harvesting, IPAL berbasis biofilter, dan reuse <i>greywater</i> untuk lanskap pesisir Paciran	SDG 6 (<i>Clean Water and Sanitation</i>), SDG 14 (<i>Life Below Water</i>)
Material Ramah Lingkungan	Material lokal dan tahan iklim pesisir	Penggunaan material lokal Lamongan, beton tahan korosi, baja anti karat, serta material rendah emisi karbon	SDG 12 (<i>Responsible Consumption and Production</i>), SDG 9
Adaptasi terhadap Iklim Pesisir	Desain responsif risiko lingkungan	Elevasi bangunan untukantisipasi banjir rob, struktur panggung, sistem drainase alami terhadap abrasi pantai Paciran	SDG 11 (<i>Sustainable Cities and Communities</i>), SDG 13
Konservasi Ekosistem Pesisir	Integrasi bangunan dengan alam	Pelestarian vegetasi eksisting, penanaman mangrove dan tanaman pantai sebagai buffer ekologis dan penahan abrasi	SDG 14, SDG 15 (<i>Life on Land</i>)
Kenyamanan Termal & Kesehatan	Kualitas lingkungan dalam ruang	Penghawaan alami, secondary skin, material low-VOC untuk mendukung kenyamanan peneliti dan pengunjung	SDG 3 (<i>Good Health and Well-being</i>)

Keberlanjutan Sosial & Edukasi	Bangunan inklusif dan edukatif	Penyediaan fasilitas edukasi kelautan, laboratorium terbuka, serta jalur interpretasi yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat pesisir Paciran.	SDG 4 (<i>Quality Education</i>), SDG 11
---	--------------------------------	--	--

Sumber : (Abuseif, 2023)

2.5.3 Penerapan Aspek teknis Akuarium Biota Laut

Perancangan akuarium laut membutuhkan perhatian terhadap aspek teknis tertentu karena air laut memiliki karakteristik dan massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan air tawar. Perbedaan tersebut menyebabkan tekanan hidrostatik yang diterima oleh struktur akuarium menjadi lebih besar. Oleh sebab itu, perencanaan dan konstruksi akuarium perlu mempertimbangkan beberapa aspek teknis sebagai berikut:

1. Dimensi akuarium

Massa jenis air laut yang lebih tinggi menyebabkan beban air yang ditampung akuarium lebih besar dibandingkan air tawar. Satu liter air laut memiliki berat sekitar 1,03 kg, sedangkan satu liter air tawar memiliki berat sekitar 1 kg. Sebagai gambaran, volume air sebesar 400 liter memiliki berat sekitar 400 kg untuk air tawar dan sekitar 412 kg untuk air laut. Beban tersebut dapat bertambah karena akuarium laut umumnya dilengkapi dengan batuan karang sebagai bagian dari elemen habitat. Oleh karena itu, ukuran akuarium perlu disesuaikan dengan kapasitas struktur, sementara material dan sistem konstruksinya harus mampu menahan tekanan air serta beban tambahan yang terdapat di dalam akuarium.

Tabel 2. 5 Ketebalan *Acrylic* Untuk Akuarium Air Laut

Dimensi akuarium			Tebal minimal (mm)
Panjang	Lebar	Tinggi	
70	55	45	6
90	55	45	8
130	55	55	10
150	55	60	10
180	60	60	15
240	120	80	20

Sumber: (Kuncoro, 2004)

Tabel 2. 6 Ketebalan Kaca *Tempered Glass* Untuk Akuarium Air Laut

Dimensi akuarium			Tebal minimal (mm)
Panjang	Lebar	Tinggi	

60	30	30	5
80	30	30	7
80	45	45	7
90	45	45	8
100	50	50	8
130	50	50	10
200	75	75	15

Sumber: (Kuncoro, 2004)

2. Bentuk Akuarium

Pada awal perkembangannya, akuarium banyak menggunakan bentuk lonjong. Sejalan dengan kemajuan teknologi, perkembangan desain, dan teknik konstruksi, bentuk akuarium mengalami diversifikasi menjadi berbagai konfigurasi, salah satunya berbentuk persegi dengan penggunaan beberapa panel kaca. Konfigurasi tersebut memungkinkan kapasitas akuarium menjadi lebih besar sekaligus memberikan bidang pandang yang lebih luas bagi pengunjung untuk mengamati kehidupan di dalamnya.

Secara umum, akuarium berbentuk persegi panjang dapat dibedakan berdasarkan perbandingan dimensi tinggi dan lebarnya menjadi dua tipe, yaitu tipe tinggi dan tipe pendek. Tipe tinggi memiliki dimensi vertikal yang lebih dominan dibandingkan lebarnya, sedangkan tipe pendek memiliki dimensi horizontal yang lebih besar daripada tinggi. Proporsi yang lebih pendek menghasilkan luas permukaan air yang lebih besar sehingga dapat mendukung ruang gerak ikan. Sementara itu, penambahan kedalaman pada akuarium tipe tinggi belum tentu memberikan manfaat yang signifikan bagi ikan laut karena aktivitas berenanganya lebih banyak berlangsung pada arah horizontal dibandingkan vertikal. Atas dasar karakteristik tersebut, bentuk akuarium dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut:

- Bentuk bulat: Permukaan kaca yang melengkung dapat menyebabkan distorsi pada objek yang berada di dalam akuarium. Akibatnya, ikan dapat terlihat lebih besar atau lebih kecil dibandingkan ukuran sebenarnya ketika diamati dari luar.
- Bentuk memanjang ke atas: Dimensi akuarium yang lebih tinggi menyebabkan tekanan air pada dinding kaca meningkat. Oleh karena itu, diperlukan kaca dengan ketebalan dan kekuatan yang sesuai untuk menahan tekanan tersebut.

- Bentuk lonjong/silinder: Bentuk ini memiliki kelebihan dalam kemudahan perawatan dan pembersihan. Namun, bidang kaca yang melengkung dapat menyebabkan perubahan persepsi visual sehingga objek di dalam akuarium terlihat mengalami distorsi.
- Bentuk diorama: Akuarium dirancang menyatu dengan dinding dan umumnya memiliki bidang pengamatan hanya pada satu sisi. Penerapannya membutuhkan biaya konstruksi dan perawatan yang relatif tinggi. Meskipun demikian, bentuk ini mampu memberikan pengalaman visual yang menyerupai pengamatan langsung terhadap kehidupan di bawah laut.
- Bentuk kubus: Bentuk kubus relatif sederhana dalam proses perancangan dan pembuatannya karena memiliki geometri yang teratur. Konstruksinya dapat menggunakan berbagai jenis material sebagai elemen rangka, antara lain:
 - Besi: Memiliki perawatan yang relatif mudah dan sederhana sehingga dapat digunakan sebagai salah satu pilihan material rangka akuarium.
 - Aluminium: Tersedia dalam berbagai pilihan ukuran, baik dari segi ketebalan maupun panjang. Namun, proses pengerjaan dan pemasangannya memerlukan tenaga yang memiliki keterampilan khusus sehingga biaya konstruksinya cenderung lebih tinggi.
 - Kaca *tempered glass*: Memiliki proses pemasangan yang relatif mudah serta dapat digunakan sebagai material pembentuk bidang akuarium.
 - Plastik: Memiliki kelemahan berupa permukaan yang relatif mudah tergores dan material yang berpotensi mengalami keretakan apabila terkena benturan atau tekanan tertentu.

3. Jenis-jenis akuarium Biota Laut

Akuarium dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran dan kapasitas tampungnya, mulai dari wadah berukuran kecil berbentuk mangkuk yang digunakan untuk memelihara satu atau beberapa ikan berukuran kecil, hingga akuarium berskala besar yang mampu menampung berbagai jenis biota laut beserta lingkungan hidup yang menyerupai habitat alaminya. Berikut klasifikasi akuarium berdasarkan ukuran dijelaskan sebagai berikut :

a) Berdasarkan ukuran: Mengacu pada *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, akuarium dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori berdasarkan ukuran, yaitu:

1. *Home Aquarium*, umumnya digunakan sebagai elemen dekoratif pada berbagai bangunan, seperti rumah, kantor, hotel, dan pertokoan. Namun, apabila ditempatkan pada lingkungan pendidikan seperti sekolah atau perguruan tinggi, fungsi akuarium dapat berkembang menjadi sarana pembelajaran, pengamatan, dan penelitian.



Gambar 2. 35 *Home Aquarium*

Sumber : <https://id.pinterest.com/pin/535506211914096992/?lp=true> ,
(2020)

2. *Public Aquarium*, dirancang sebagai fasilitas untuk menampilkan berbagai jenis biota air kepada masyarakat. Ukurannya umumnya lebih besar sehingga dapat menampung spesies dengan ukuran yang lebih beragam, sekaligus memberikan pengalaman rekreasi dan edukasi bagi pengunjung.



Gambar 2. 36 *Public Aquarium*

Sumber : Google.com, (2019)

b) Berdasarkan salinitas, akuarium dapat dikelompokkan

menurut tingkat kadar garam yang terdapat dalam air menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Akuarium air tawar, dimana di dalamnya dipelihara jenis-jenis ikan, hewan, dan tumbuhan yang berasal dari lingkungan perairan tawar. Jenis akuarium ini banyak digunakan karena sistem pemeliharaannya relatif sederhana dan biaya pengadaan maupun perawatannya cenderung lebih rendah.



Gambar 2. 37 Akuarium air tawar
Sumber : Google.com, (2020)

2. Akuarium air laut, dimana di dalamnya diperuntukkan bagi pemeliharaan biota yang berasal dari ekosistem laut, baik berupa ikan, tumbuhan, maupun organisme lainnya. Dibandingkan akuarium air tawar, sistem ini membutuhkan peralatan, pengelolaan, dan perawatan yang lebih kompleks sehingga biaya penerapannya relatif lebih tinggi. Akuarium air laut juga dapat menampilkan berbagai jenis invertebrata sebagai bagian dari ekosistem yang dipelihara (Dakin & Nick, 1992).



Gambar 2. 38 Akuarium air laut
Sumber : Google.com,(2020)

3. Akuarium air payau, merupakan wadah pemeliharaan yang menggunakan air dengan salinitas lebih tinggi daripada air

tawar, tetapi lebih rendah dibandingkan air laut. Karakteristik perairan ini banyak dijumpai pada kawasan peralihan antara daratan dan laut, seperti muara sungai serta ekosistem mangrove. Penerapan akuarium air payau dimaksudkan untuk merepresentasikan kondisi perairan dengan perpaduan karakteristik air tawar dan air laut dalam lingkungan buatan.



Gambar 2. 39 Akuarium air payau

Sumber : <http://arafahaquarium.blogspot.com/2014/01/jual-ikan-hias-air-payau-kerapu-mas.html>, (2014)

c) Berdasarkan spesies, pengelompokan akuarium dilakukan berdasarkan jenis biota yang dipelihara dan dibedakan menjadi dua kategori, yaitu:

1. Akuarium tropis, jenis akuarium ini dibuat untuk merepresentasikan kondisi perairan di wilayah tropis dengan menampilkan berbagai jenis biota yang sesuai dengan lingkungan tersebut. Keanekaragaman bentuk dan warna biota yang ditampilkan menjadikan akuarium tropis memiliki daya tarik visual bagi *aquarist*.



Gambar 2. 40 Akuarium tropis

Sumber : Google.com, (2019)

2. Akuarium *coldwater*, jenis akuarium ini menggunakan lingkungan perairan dengan suhu relatif rendah dan umum digunakan untuk pemeliharaan ikan seperti *goldfish*. Selain itu, penggunaannya dapat mencakup berbagai spesies yang

berasal dari kawasan beriklim sedang maupun organisme hasil penangkaran dari berbagai wilayah.



Gambar 2. 41 Aquarium *coldwater*

Sumber : <https://www.wisklik.com/2019/04/merawat-ikan-mas-koki.html>, (2019)

- d) Berdasarkan temperatur, akuarium diklasifikasikan berdasarkan kondisi suhu air yang digunakan menjadi tiga jenis, yaitu:
1. *Community tank*, jenis akuarium yang memungkinkan beberapa spesies ikan dipelihara dalam satu wadah. Biota yang dipilih umumnya memiliki sifat tidak agresif dan mampu beradaptasi untuk hidup secara bersama dalam lingkungan yang sama.



Gambar 2. 42 *Community tank*

Sumber : <http://www.reynoldspolymer.com>, (2025)

2. *Aquarium aggressive tank*, akuarium yang diperuntukkan bagi ikan dengan perilaku agresif, teritorial, atau memiliki kecenderungan hidup sendiri. Oleh karena itu, jenis ikan tersebut umumnya tidak ditempatkan bersama spesies lain untuk menghindari gangguan maupun konflik antar biota (Sanford, 1999).



Gambar 2. 43 *Aquarium aggressive tank*

Sumber : <https://www.aquarium-larochelle.com>, (2025)

3. *Ekotype, ecotope, atau biotope aquarium*, merupakan jenis akuarium yang mengacu pada karakteristik habitat alami suatu kelompok biota. Penataannya dilakukan dengan menyesuaikan jenis spesies, elemen habitat, dekorasi, serta parameter kualitas air dengan kondisi ekosistem asalnya sehingga dapat menggambarkan lingkungan alami secara lebih representatif (Sanford, 1999).



Gambar 2. 44 *Ekotype, ecotope, atau biotope* Aquarium

Sumber : <https://en.wikipedia.org/wiki/Aquarium>, (2026)

Dengan mempertimbangkan kebutuhan teknis pemeliharaan biota laut, karakteristik lingkungan pesisir Paciran, serta fungsi bangunan sebagai fasilitas penelitian kelautan, jenis akuarium yang dapat diterapkan dalam perancangan terdiri atas:

- *Public Aquarium* skala besar, yang berfungsi sebagai sarana edukasi, informasi, dan pengenalan keanekaragaman biota laut kepada masyarakat.

- *Research Aquarium* tipe *biotope/ecotope*, yang digunakan untuk menunjang kegiatan penelitian, observasi, dan pengkajian kondisi ekosistem laut.
- *Community tank*, yang berfungsi menampilkan beberapa spesies dengan karakteristik dan kebutuhan habitat yang kompatibel dalam satu sistem pemeliharaan.

Public aquarium berfungsi sebagai fasilitas publik yang menggabungkan kegiatan edukasi dan pameran untuk memberikan pemahaman kepada masyarakat mengenai ekosistem pesisir dan terumbu karang di Jawa Timur. Keberadaannya juga dapat menjadi media untuk menumbuhkan kesadaran dalam menjaga kelestarian lingkungan laut. Pada kegiatan penelitian, *research aquarium* tipe *biotope/ecotope* digunakan untuk merekonstruksi kondisi habitat laut tertentu melalui pengaturan parameter lingkungan yang disesuaikan dengan karakteristik perairan paciran. Sementara itu, *community tank* diperuntukkan bagi beberapa jenis biota yang memiliki sifat kompatibel dan tidak agresif, sehingga pemeliharaannya dapat dilakukan secara bersama dalam satu wadah dengan pengelolaan ruang dan energi yang lebih efektif. Integrasi ketiga jenis akuarium tersebut dapat menunjang keterpaduan fungsi edukasi, penelitian, dan konservasi serta mendukung pengelolaan fasilitas yang efisien dan berorientasi pada keberlanjutan ekosistem laut.

2.5.4 Jenis-Jenis Biota Laut yang akan dikembangkan

Wilayah pesisir Paciran, Lamongan memiliki sejumlah biota laut yang berpotensi dikembangkan sebagai komoditas perikanan, di antaranya rajungan, ikan manyung, ikan sembilang, dan lobster. Biota tersebut memiliki nilai ekonomi yang mendukung aktivitas masyarakat pesisir serta dapat menjadi objek dalam kegiatan penelitian dan edukasi kelautan. Dari aspek gizi, beberapa jenis biota tersebut juga mengandung protein dan asam lemak omega-3 yang bermanfaat bagi tubuh. Keberadaan berbagai biota tersebut menunjukkan adanya potensi keanekaragaman hayati laut di kawasan Paciran yang perlu dimanfaatkan secara bijaksana dengan tetap menjaga kelestarian habitatnya. Pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan selanjutnya dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam perancangan *Marine Research Center* untuk mendukung kegiatan penelitian, edukasi, dan konservasi lingkungan laut.

Beberapa jenis biota laut yang memiliki potensi untuk dikembangkan serta memberikan manfaat bagi masyarakat pesisir Paciran dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Rajungan (*Blue Swimming Crab*)

Rajungan (*Portunus pelagicus*) merupakan kelompok kepiting yang mampu berenang dan termasuk ke dalam famili *Portunidae*. Spesies ini umumnya hidup pada kawasan perairan relatif dangkal dengan kedalaman mencapai kurang lebih 50 meter. Ciri fisiknya ditandai oleh capit berukuran besar serta tubuh yang memiliki warna biru sampai biru kehijauan. Olahan rajungan tidak hanya dimanfaatkan untuk bahan pangan, tetapi juga mempunyai nilai ekonomi bagi masyarakat pesisir karena dagingnya dapat menjadi komoditas perikanan, sementara bagian cangkangnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan. Kandungan nutrisi pada 100 gram daging rajungan mencakup sekitar 18 gram protein serta sejumlah mineral, seperti zat besi dan kalsium. Dengan kandungan lemak jenuh yang relatif rendah, rajungan juga dapat menjadi salah satu sumber pangan yang mendukung pemenuhan kebutuhan gizi masyarakat.



Gambar 2. 45 Rajungan

Sumber : <https://suhana.web.id/2020/02/20/melihat-kepiting-rajungan-di-pasar-usa/>, (2022)

2. Ikan Manyung (*Snoek Fish*)

Ikan manyung (*Scomberomorus commerson*) merupakan anggota famili *Scombridae* yang dikenal sebagai ikan dengan kemampuan berenang aktif dan cepat. Habitatnya mencakup wilayah perairan sekitar muara hingga laut terbuka. Secara morfologis, ikan ini memiliki bentuk tubuh yang relatif ramping dan memanjang dengan warna tubuh keperakan yang cenderung kebiruan. Bagi masyarakat nelayan di kawasan pesisir, ikan manyung dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber pangan yang berperan dalam memenuhi kebutuhan protein dan mendukung ketahanan pangan. Selain pemanfaatan sebagai bahan pangan, spesies ini juga berpotensi menjadi objek penelitian untuk

mengkaji keanekaragaman biota perairan di wilayah Paciran. Kandungan gizi ikan manyung mencakup sekitar 20 gram protein dalam setiap 100 gram, serta sejumlah nutrisi lain seperti DHA dan EPA, vitamin D, dan selenium. Berbagai kandungan tersebut berkontribusi terhadap pemeliharaan fungsi tubuh, terutama dalam menunjang kesehatan jantung, otak, kulit, dan sistem imun.



Gambar 2. 46 Ikan Manyung

Sumber : <https://mediatani.co/ikan-manyung-salah-satu-jenis-ikan-laut-ekonomi-penting-di-indonesia/> (2022)

3. Ikan Sembilang (*Sea Catfish*)

Ikan sembilang (*Sea catfish*) atau *Eel-tailed catfish* (*Plotosus lineatus*) merupakan ikan laut dari famili *Plotosidae* yang umumnya hidup di perairan dangkal, seperti kawasan pesisir, muara, dan estuari berlumpur. Ikan ini memiliki tubuh memanjang tanpa sisik, dilengkapi *barbel* sebagai alat sensorik serta tiga patil beracun sebagai pertahanan diri. Ciri khas lainnya adalah sirip punggung, ekor, dan anus yang menyatu sehingga bentuk tubuh bagian belakang menyerupai sidat. Secara ekologis, ikan sembilang termasuk predator dasar perairan yang memakan ikan kecil, moluska, gastropoda, dan krustasea serta dapat hidup soliter maupun berkelompok dalam jumlah kecil.



Gambar 2. 47 Ikan Sembilang

Sumber: (Burhanul F, 2020)

Ikan sembilang memiliki kandungan protein sekitar 17 g per 100 g daging serta asam lemak omega-3 dan omega-6 yang berperan dalam mendukung kesehatan jantung, tekanan darah, dan fungsi otak. Kandungan fosfor, kalsium, zat besi, dan vitamin B12 turut membantu memenuhi kebutuhan nutrisi tubuh, termasuk menjaga kesehatan tulang, mencegah anemia, dan mendukung metabolisme energi. Dalam pemanfaatan tradisional masyarakat nelayan, ikan sembilang juga dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan, seperti membantu pencernaan dan menjaga kesehatan jantung. Secara ekologis, ikan ini berperan sebagai predator dasar perairan yang membantu mengendalikan populasi organisme kecil sehingga turut menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan estuari.

4. Lobster (*Panulirus spp.*)

Lobster merupakan kelompok udang karang yang termasuk dalam famili *Palinuridae*. Biota ini tidak memiliki capit dan memiliki antena berukuran panjang, serta umumnya menempati celah-celah karang pada perairan dangkal di wilayah tropis, termasuk kawasan Paciran, hingga kedalaman sekitar 60 meter. Selain memiliki nilai ekonomi sebagai komoditas perikanan dan ekspor, lobster juga berpotensi menjadi objek penelitian dalam upaya konservasi ekosistem terumbu karang. Dari aspek gizi, sekitar 100 gram lobster mengandung 22 gram protein, asam amino esensial, vitamin B12, dan mineral seperti tembaga. Kandungan tersebut mendukung pembentukan jaringan tubuh, fungsi saraf, serta pemenuhan kebutuhan nutrisi dengan kandungan kalori yang relatif rendah.



Gambar 2. 48 Lobster
Sumber : (Idris, 2020)

Di Indonesia, beberapa spesies lobster yang dikenal memiliki nilai ekonomi cukup tinggi antara lain Lobster Mutiara (*Panulirus ornatus*), Lobster Bambu (*Panulirus versicolor*), dan Lobster Pakistan (*Panulirus*

polyphagus). Di antara jenis tersebut, Lobster Mutiara termasuk komoditas dengan nilai jual tinggi yang harganya dapat mencapai jutaan rupiah untuk setiap kilogram. Besarnya nilai ekonomi lobster dipengaruhi oleh berbagai faktor, meliputi ketersediaan populasi di habitat alami, ukuran lobster, permintaan pasar, serta biaya distribusi. Komponen distribusi menjadi salah satu faktor penting karena lobster perlu dipertahankan dalam kondisi hidup selama proses pengiriman hingga sampai ke lokasi tujuan.



Gambar 2. 49 Lobster
Sumber : (Y Akmal, 2023)

Jenis-Jenis Lobster Bernilai Ekonomi Tinggi di Indonesia

Beberapa jenis lobster yang dikenal memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia antara lain:

- 1) Lobster Mutiara (*Panulirus ornatus*) yang juga dikenal dengan sebutan lobster ketangan atau cemara, memiliki karakteristik berupa duri berukuran besar pada bagian karapas. Spesies ini memiliki nilai ekonomi yang tinggi dengan harga jual yang dapat mencapai jutaan rupiah per kilogram, sehingga kerap menjadi salah satu bahan pangan yang disajikan di restoran kelas atas.
- 2) Lobster Bambu (*Panulirus versicolor*) Lobster Bambu memiliki ciri khas berupa pola garis berwarna putih pada bagian kaki. Jenis ini termasuk lobster dengan nilai ekonomi tinggi dan dapat memiliki harga sekitar Rp750.000 per kilogram.
- 3) Lobster Pasir (*Panulirus homarus*) yang sering disebut sebagai lobster hijau, memiliki ciri khas berupa warna tubuh yang menjadi salah satu karakteristik pembeda dari jenis lobster lainnya. Selain memiliki karakteristik tersebut, spesies ini juga mempunyai nilai ekonomi yang relatif tinggi, dengan harga pasar sekitar Rp700.000 per kilogram.

- 4) Lobster Batu Hitam (*Panulirus longipes*) juga dikenal dengan nama udang bunga atau raja udang. Spesies ini termasuk dalam kelompok komoditas perikanan yang memiliki nilai ekonomi relatif tinggi.
- 5) Lobster Batik (*Panulirus femoristriga*) memiliki ciri khas berupa pola pada bagian tubuh yang menjadi karakteristik pembeda dari jenis lobster lainnya. Keunikan tampilannya juga menjadikan spesies ini memiliki daya tarik tersendiri serta termasuk dalam jenis lobster dengan nilai ekonomi yang relatif tinggi.

5. Tanaman Mangrove

Mangrove merupakan kelompok vegetasi yang tumbuh dan berkembang pada ekosistem pesisir, terutama pada wilayah *intertidal* yang dipengaruhi oleh siklus pasang surut air laut. Kemampuannya beradaptasi terhadap lingkungan dengan kadar salinitas tinggi, kondisi tanah berlumpur dan minim oksigen, serta paparan gelombang menjadikan mangrove memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan dan kelestarian kawasan pantai, khususnya pada wilayah beriklim tropis seperti Indonesia.



Gambar 2. 50 Ekosistem Hutan Mangrove

Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Hutan_mangrove (2026)

Mangrove merupakan vegetasi pesisir yang mampu hidup pada lingkungan dengan salinitas tinggi, substrat berlumpur, serta kondisi oksigen yang rendah. Tumbuhan ini memiliki berbagai bentuk adaptasi, seperti akar napas (*pneumatophore*) pada *Avicennia* dan *Sonneratia*, akar tunjang pada *Rhizophora*, serta mekanisme pengeluaran garam melalui daun. Di Indonesia, beberapa jenis mangrove yang umum dijumpai antara lain *Rhizophora*, *Avicennia*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Xylocarpus*, *Lumnitzera*, dan *Nypa*.

Penyebaran mangrove membentuk zonasi yang dipengaruhi oleh salinitas, kondisi substrat, dan pasang surut. Keberadaannya memiliki fungsi penting dalam melindungi kawasan pesisir dengan meredam gelombang, mengurangi abrasi dan intrusi air laut, serta menyediakan

habitat dan tempat pembesaran bagi berbagai biota. Selain fungsi ekologis, mangrove berperan dalam menyimpan karbon dan mendukung kehidupan masyarakat melalui hasil perikanan, bahan kayu, pemanfaatan tradisional, serta pengembangan wisata pesisir.

6. Rumput laut (*seaweed*)

Rumput laut (*seaweed*) merupakan kelompok makroalga yang banyak ditemukan di perairan laut dangkal, terutama pada wilayah pesisir beriklim tropis seperti Indonesia. Organisme ini tidak digolongkan sebagai tumbuhan sejati karena struktur tubuhnya tidak memiliki akar, batang, maupun daun. Tubuh rumput laut berupa *thallus* sederhana yang mengandung klorofil sehingga mampu menghasilkan energi melalui proses fotosintesis. Berbeda dengan lamun yang termasuk tumbuhan berbunga atau *angiospermae*, rumput laut merupakan organisme alga multiseluler yang hidup dan berkembang dalam kondisi terendam di lingkungan laut.

Pengelompokan rumput laut dapat dilakukan berdasarkan kandungan pigmen serta ciri biologis yang dimilikinya. Secara umum, organisme ini terdiri atas tiga kelompok utama, yaitu *Chlorophyta* sebagai alga hijau, *Phaeophyta* sebagai alga coklat, dan *Rhodophyta* sebagai alga merah. Beberapa contoh yang termasuk di dalamnya adalah *Caulerpa*, *Sargassum*, *Gracilaria*, dan *Eucheuma*. Di antara ketiga kelompok tersebut, *Rhodophyta* memiliki keanekaragaman jenis yang cukup tinggi dan mengandung pigmen *fikoeritrin* yang berfungsi menyerap spektrum cahaya biru di lingkungan perairan. Selain berperan dalam ekosistem, berbagai jenis rumput laut juga memiliki potensi ekonomi dan telah dimanfaatkan oleh masyarakat di Indonesia.



Gambar 2. 51 Ekosistem Rumput Laut

Sumber: <https://seaweednetwork.id/10-jenis-jenis-rumput-laut-di-indonesia-dan-gambarnya> (2024)

Rumput laut memiliki bentuk *thallus* yang bervariasi, mulai dari pipih, bulat, silindris, hingga bercabang seperti rambut. Bagian *holdfast* berfungsi untuk melekatkan tubuh rumput laut pada substrat dan bukan sebagai organ penyerap nutrisi. Pertumbuhan rumput laut dapat berlangsung optimal pada kedalaman sekitar 20-30 m, suhu 20-30°C, salinitas 28-34 ppt, arus sedang, serta kondisi pencahayaan yang memadai. Penyerapan nutrisi berlangsung secara langsung dari air melalui mekanisme difusi. Perkembangbiakannya dapat terjadi melalui fragmentasi secara vegetatif, pembentukan *zoospora* secara aseksual, maupun reproduksi seksual. Pada sebagian besar jenis, siklus hidup *haplodiplontik* menjadi salah satu mekanisme yang mendukung kemampuan beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan.



Gambar 2. 52 Ekosistem Rumput Laut

Sumber: <https://seaweednetwork.id/tips-penanganan-rumput-laut-yang-tepat-agar-menghasilkan-alginat> (2024)

Pada umumnya rumput laut berkembang pada perairan yang jernih, memiliki pencahayaan memadai, suhu relatif hangat, serta kondisi arus yang tidak terlalu kuat, sebagaimana karakteristik perairan pesisir Paciran, Lamongan. Indonesia termasuk salah satu negara penghasil rumput laut utama di dunia. Keberadaan rumput laut memberikan manfaat ekologis melalui penyerapan karbon, penyediaan habitat bagi berbagai biota, dan membantu menjaga kualitas lingkungan perairan. Selain itu, rumput laut memiliki nilai ekonomi yang luas karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan, farmasi, kosmetik, dan pupuk serta mendukung pendapatan masyarakat pesisir.

2.6 Persyaratan dan Standard Perancangan

Acuan dalam penyusunan persyaratan perancangan Paciran *Marine Research Center* didasarkan pada peraturan perundang-undangan yang berlaku serta standar kebutuhan ruang yang ditetapkan oleh pemerintah.

2.6.1 Persyaratan Perancangan Bangunan di Pesisir

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2021 mengenai Kajian Pengalihfungsian Bangunan dan Instalasi di Laut memberikan pedoman mengenai tahapan dan persyaratan yang harus diperhatikan dalam proses perubahan fungsi bangunan maupun instalasi yang terdapat di wilayah laut. Ketentuan tersebut ditujukan untuk mengatur bangunan atau instalasi yang sudah tidak dimanfaatkan agar dapat dialihfungsikan berdasarkan hasil kajian dan tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan serta ekosistem laut. Proses pengalihfungsian dilakukan dengan mempertimbangkan keberlanjutan aktivitas perikanan, kesesuaian pemanfaatan ruang laut terhadap rencana tata ruang, ketentuan perizinan, dan aspek perlindungan lingkungan. Adapun beberapa ketentuan yang menjadi bagian penting dalam peraturan tersebut antara lain:

1. Pengalih fungsian bangunan dan instalasi di laut dapat dilakukan jika bangunan tersebut tidak terpakai lagi, izin pemanfaatannya habis atau dicabut, dan tidak ada aktivitas selama dua tahun.
2. Proses pengalihfungsian harus melalui kajian teknis yang meliputi kajian pembongkaran, kesesuaian ruang, kelayakan lingkungan, fungsi baru bangunan, dan analisis penguatan struktur serta perubahan desain bangunan sesuai fungsi baru.
3. Kajian kesesuaian ruang harus mempertimbangkan rencana tata ruang laut, daya dukung lingkungan, wilayah penangkapan ikan, dan akses masyarakat.
4. Kajian teknis meliputi analisis penguatan struktur bangunan atau instalasi, perubahan desain, serta biaya pembongkaran atau rehabilitasi apabila diperlukan.
5. Pengalih fungsi di laut untuk kegiatan kelautan dan perikanan seperti pembudidayaan ikan, pengawasan sumber daya, atau pusat penelitian harus memperhatikan kelayakan teknis dan lingkungan.
6. Pembiayaan kegiatan kajian dapat berasal dari anggaran negara maupun sumber pendanaan lainnya yang sah, tidak mengikat, dan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Peraturan ini memberikan kerangka regulasi yang jelas bagi pemanfaatan kembali bangunan dan instalasi di laut, termasuk untuk pengembangan pusat penelitian kelautan di Paciran, agar penggunaan fasilitas tersebut tidak merusak lingkungan laut dan sesuai dengan peruntukan tata ruang yang berlaku.

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 48/PERMEN-KP/2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Kelautan dan Perikanan mengatur susunan kelembagaan, mekanisme kerja, serta tugas dan kewenangan setiap unit kerja yang berada di bawah Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Ketentuan tersebut juga menjadi dasar dalam pelaksanaan fungsi penelitian dan pengembangan pada bidang kelautan. Dalam konteks perancangan pusat penelitian di Paciran, peraturan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menyesuaikan pengelolaan fasilitas dengan struktur organisasi dan pembagian fungsi yang telah ditetapkan, sehingga aktivitas penelitian dapat berlangsung secara terstruktur dan mendukung tujuan fasilitas.

Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Kelautan, PP ini mengatur pengelolaan dan pembangunan fasilitas kelautan yang memperhatikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dalam pembangunan pusat penelitian kelautan di Paciran, regulasi ini menuntut perencanaan yang ekonomis dan ramah lingkungan, serta harus mampu mendukung keberlanjutan pemanfaatan sumber daya alam laut secara berkelanjutan dan bertanggung jawab secara sosial.

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 2 Tahun 2025. Mengatur organisasi dan tata kerja terbaru Kementerian Kelautan dan Perikanan, termasuk struktur unit riset dan pengembangan kelautan agar lebih efektif dan adaptif terhadap kebutuhan riset terkini. Hal ini menjadi landasan organisasi pengelolaan pusat penelitian kelautan di tingkat kementerian dan daerah.

Keputusan Kepala Badan Pengendalian dan Pengawasan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan Nomor 30 Tahun 2025. Menetapkan laboratorium acuan dan pengujian dalam rangka kontrol mutu hasil kelautan dan perikanan. Ini penting sebagai standar bagi laboratorium pusat penelitian kelautan untuk memastikan kualitas dan akurasi pengujian hasil riset serta produk kelautan.

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 7 Tahun 2025 tentang Pemanfaatan Kawasan Konservasi, regulasi ini memberikan petunjuk terbaru dalam pemanfaatan kawasan konservasi, relevan untuk perencanaan dan pembangunan pusat riset yang berada dekat kawasan pesisir atau konservasi, sehingga pembangunan harus menjaga keberlanjutan lingkungan.

Peraturan Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 8 Tahun 2025 mengatur tentang tugas, fungsi, dan struktur organisasi Riset Kebumihan dan Maritim. Peraturan ini menetapkan bahwa organisasi riset di bidang

kebumian dan maritim memiliki kedudukan khusus dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Tugas utamanya meliputi pelaksanaan penelitian dan pengembangan di bidang kebumian dan maritim, termasuk aspek geologi, oseanologi, iklim, limnologi, serta sumber daya geologi dan laut dalam. Fungsi organisasi ini meliputi penyusunan kebijakan teknis, koordinasi riset, pengelolaan sumber daya penelitian, dan fasilitasi kolaborasi riset antara lembaga terkait. Struktur organisasi terdiri dari beberapa pusat riset spesifik yang menangani berbagai aspek kebumian dan maritim secara terintegrasi untuk mendukung pengembangan ilmu pengetahuan dan inovasi yang aplikatif bagi pengelolaan sumber daya laut dan kelautan nasional.

Berdasarkan dokumen RPJPD Kabupaten Lamongan Tahun 2005-2025 dan RPJMD Kabupaten Lamongan Tahun 2021 - 2026, berikut adalah ringkasan peraturan terkait pembangunan di kawasan pesisir Kandang Semangkon Paciran:

1. Kawasan Pesisir Kandang Semangkon di Kecamatan Paciran termasuk dalam wilayah pesisir utara Kabupaten Lamongan yang memiliki nilai strategis untuk pengembangan sektor perikanan, pelabuhan, dan industri pengolahan ikan. Pesisir ini juga termasuk daerah rawan gelombang pasang dan abrasi pantai sehingga memerlukan perhatian desain pengembangan yang berkelanjutan dan mitigasi bencana.
2. Pengembangan Kawasan Pesisir dengan memperhatikan beberapa poin berikut:
 - Pengembangan pelabuhan skala nasional dan kawasan industri nasional-internasional di Kecamatan Paciran, termasuk pengembangan pelabuhan perikanan dan industri galangan kapal.
 - Perbaikan jaringan jalan di wilayah pesisir dan akses menuju kawasan pesisir.
 - Pemanfaatan untuk pariwisata dengan tetap mengedepankan pelestarian lingkungan.
 - Pengembangan permukiman secara terbatas, menyesuaikan skala pelayanan permukiman dan dominasi kegiatan daerah.
3. Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
 - Pesisir harus dilindungi untuk melestarikan ekosistem pesisir dan mencegah degradasi lingkungan dari aktivitas pembangunan.

- Pengelolaan limbah dan bangunan harus mengikuti ketentuan lingkungan hidup dan memerhatikan risiko bencana alam khususnya gelombang pasang dan abrasi.
- 4. Rawannya Wilayah terhadap gelombang pasang
 - Wilayah pesisir Paciran termasuk kawasan rawan gelombang pasang dan abrasi pantai yang harus diantisipasi dalam perencanaan pembangunan.
 - Penerapan pembangunan harus mempertimbangkan mitigasi risiko dan pengelolaan bencana agar tahan terhadap dampak alam dan perubahan iklim.
- 5. Pembangunan yang sejalan dengan Pembangunan Daerah
 - Pengembangan kawasan ini juga sejalan dengan pengembangan ekonomi daerah yang menonjolkan sektor perikanan, industri pengolahan hasil laut, dan pariwisata bahari.
 - Kepentingan pengembangan kawasan pesisir Paciran diselaraskan dengan pengembangan infrastruktur dan kemudahan akses menuju kawasan tersebut.

2.6.2 Peraturan Batas Sempadan Pantai

Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2016 Tentang Batas Sempadan Pantai, menyebutkan bahwa :

1. Sempadan pantai merupakan kawasan daratan yang berada di sepanjang garis pantai dengan lebar yang disesuaikan berdasarkan karakteristik dan kondisi fisik pantai. Batas minimumnya ditetapkan sebesar 100 (seratus) meter yang diukur dari titik pasang tertinggi menuju ke arah daratan.
2. Berdasarkan Pasal 19, penentuan batas sempadan pantai dilakukan dengan mengacu pada batas terluar ekosistem pesisir yang berada di sisi daratan.

Kawasan sempadan pantai di Kabupaten Lamongan memiliki luas kurang lebih 44 ha dan mencakup wilayah Kecamatan Paciran serta Kecamatan Brondong. Pengelolaan kawasan tersebut diarahkan melalui beberapa ketentuan sebagai berikut:

- a. Mempertahankan fungsi perlindungan pada area sempadan pantai sekurang-kurangnya 100 meter dari titik pasang tertinggi serta mencegah perubahan fungsi yang dapat menurunkan kualitas lingkungan pantai.

- b. Melindungi kawasan sempadan dan wilayah pesisir yang memiliki ekosistem penting, seperti *mangrove*, terumbu karang, padang lamun, dan estuari, dari berbagai bentuk kerusakan.
- c. Mengarahkan kembali pola pembangunan pada kawasan permukiman, baik perdesaan maupun perkotaan, dengan menjadikan pantai dan laut sebagai bagian dari orientasi kawasan.
- d. Melakukan penanaman *mangrove* pada lokasi yang memiliki potensi untuk memperluas tutupan vegetasi *mangrove*.
- e. Mengatur pemanfaatan kawasan pantai yang termasuk dalam kawasan lindung agar tetap mengacu pada rencana tata ruang kawasan pesisir.
- f. Menyediakan sistem peringatan dini sebagai upaya untuk meningkatkan kesiapsiagaan terhadap potensi bencana pesisir.
- g. Memperkuat fungsi perlindungan pada wilayah daratan sebagai bagian dari upaya mempertahankan kelestarian kawasan pantai.
- h. Menempatkan bangunan di luar area sempadan pantai, kecuali bangunan tertentu yang berdasarkan fungsi dan kebutuhannya harus berada di dalam kawasan sempadan.
- i. Menetapkan kawasan lindung di sepanjang pantai yang memiliki nilai ekologis sebagai bagian dari potensi pengembangan kegiatan wisata dan penelitian.

Tabel 2. 7 Garis Sempadan Pantai

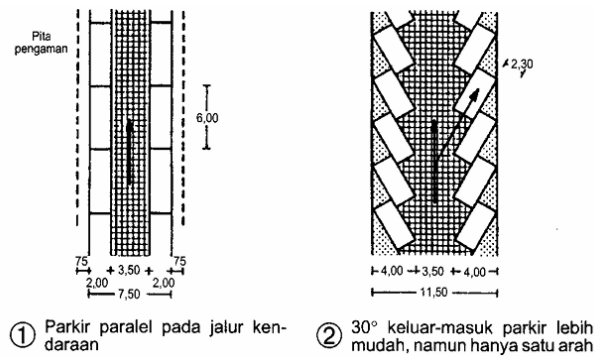
Jenis Kawasan	GSS/GSP
(Sempadan Pantai) Kawasan dengan nilai ekologis dapat dimanfaatkan sebagai wisata dan penelitian	Minimal 100 meter dari titik pasang tertinggi ke arah darat.
	Batas ditentukan berdasarkan batas akhir keberadaan ekosistem pesisir ke arah darat
	Bangunan diarahkan di luar sempadan pantai, kecuali bangunan yang harus berada di dalam sempadan pantai
	Melindungi ekosistem bakau, terumbu karang, padang lamun, dan estuaria
	Pemanfaatan kawasan disesuaikan dengan rencana tata ruang kawasan pesisir

Sumber: (RTRW Kabupaten Lamongan sesuai Perpres RI No. 51 Tahun 2016 tentang Batas Sempadan Pantai)

2.6.3 Standard Fasilitas *Marine Research Center*

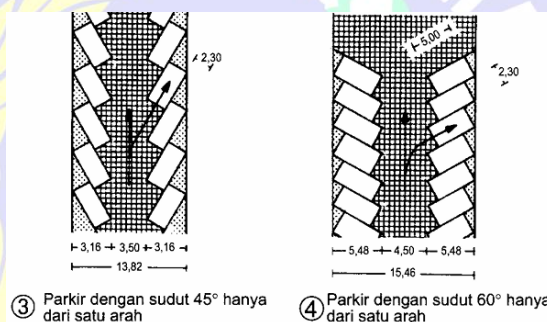
Standard yang akan dijadikan panduan dalam perancangan paciran *marine research center* dengan pendekatan arsitektur berkelanjutan, sebagai berikut :

1. Standar Parkir



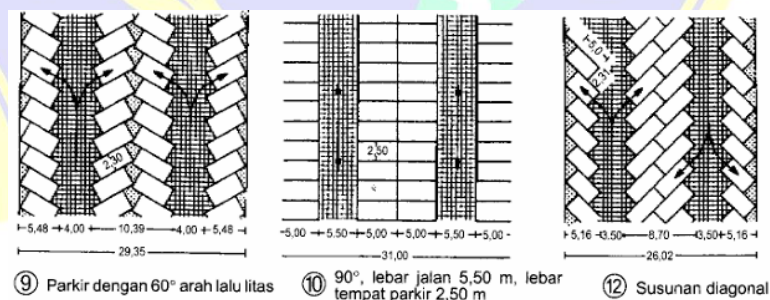
Gambar 2. 53 Standard Parkir Neufert Jilid 2 (1)

Sumber : (Neufert, et al. 2003)



Gambar 2. 54 Standard Parkir Neufert Jilid 2 (2)

Sumber : (Neufert, et al. 2003)



Gambar 2. 55 Standard Parkir Neufert Jilid 2 (3)

Sumber : (Neufert, et al. 2003)

2. Standar Dimensi Manusia, Kendaraan, dan *Furniture*

- Standar dimensi manusia

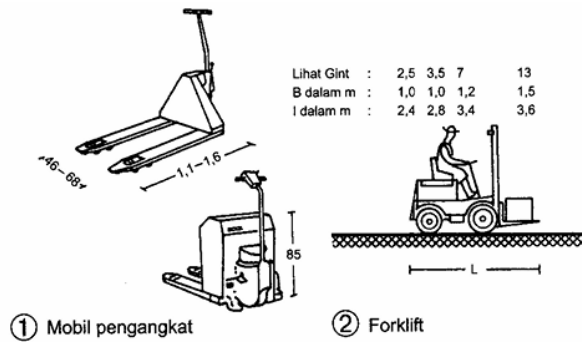


- The diagram illustrates the layout of a road race track with various dimensions for different vehicle categories:

 - ① Sepeda (Bicycle):** The width of the track for bicycles is 1.70 meters. The height of the starting line is 1.05 meters.
 - ② Motor (Motorcycle):** The width of the track for motorcycles is 2.25 meters. The height of the starting line is 1.80 meters.
 - ④ Mobil Amerika (American Car):** The width of the track for American cars is 5.7 meters. The height of the starting line is 1.45 meters.

Additional dimensions shown include a 60-meter distance between the start lines, a 75-meter distance between the start lines, and a 2.0-meter distance between the start lines. A 2.2m distance is also indicated for the American car category.

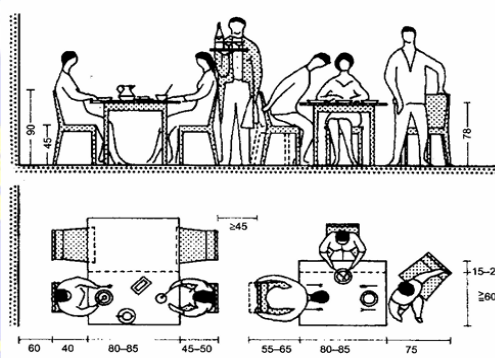
- Standar dimensi mobil pengangkat dan *forklist*



Gambar 2. 59 Standar Dimensi Mobil Pengangkat & Forklift
Sumber : (Neufert, et al. 2003)

3. Standar Ruang Umum

- Standar dimensi dapur dan meja makan



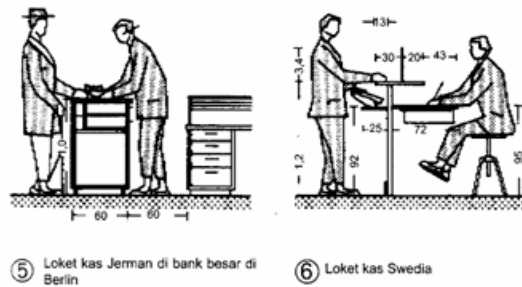
Gambar 2. 60 Standar Area Makan
Sumber : (Neufert, et al. 2003)



⑧ Kafetaria: penyajian hidangan dingin dan panas → ⑨

Gambar 2. 61 Standar Area Dapur
Sumber : (Neufert, et al. 2003)

- Standar dimensi meja loket atau resepsionis



Gambar 2. 62 Standar Dimensi Meja Lobi atau Resepsionis
Sumber: (Neufert, et al. 2003)

Permen PAN-RB Nomor 03 Tahun 2010 menjelaskan bahwa laboratorium merupakan fasilitas yang berfungsi sebagai pendukung aktivitas akademik di lingkungan pendidikan. Laboratorium tidak terbatas pada ruang tertutup, tetapi dapat berupa area terbuka dan dapat disediakan dalam bentuk fasilitas permanen maupun yang dapat dipindahkan. Pengelolaannya dilakukan secara terorganisasi dengan memanfaatkan peralatan, bahan, dan prosedur ilmiah untuk mendukung kegiatan pengujian, kalibrasi, serta produksi dalam skala tertentu. Dalam pelaksanaannya, laboratorium mendukung tiga fungsi utama perguruan tinggi, yaitu pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat.

Berdasarkan fungsi tersebut, laboratorium dapat dipahami sebagai tempat yang dirancang untuk melaksanakan berbagai aktivitas ilmiah, seperti percobaan, praktik, dan pelatihan pada bidang fisika, biologi, kimia, maupun cabang ilmu lainnya. Secara fisik, fasilitas laboratorium dapat diwujudkan dalam bentuk ruang atau bangunan tertutup, ruang khusus, maupun area terbuka, baik dengan sifat permanen maupun bergerak.

1. Klasifikasi Laboratorium

Laboratorium pada umumnya dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi dan bidang spesialisasinya. Berdasarkan fungsinya, laboratorium untuk kegiatan praktikum perkuliahan umumnya berupa ruang tertutup dengan fasilitas dan peralatan yang relatif sederhana serta disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran. Sementara itu, laboratorium penelitian membutuhkan ruang dan peralatan yang lebih khusus untuk mendukung kegiatan penelitian. Kebutuhan ruang pada laboratorium dapat disusun berdasarkan aktivitas dan karakter penelitian yang dilakukan. Fasilitas penunjang yang tersedia dapat mencakup ruang untuk proses pemisahan cairan, area pameran, ruang dengan sistem pengaturan suhu, ruang

penyimpanan dengan temperatur terkontrol, ruang fotografi, ruang gelap, serta ruang khusus lainnya. Keberadaan setiap fasilitas tersebut disesuaikan dengan kebutuhan operasional dan bidang penelitian yang ditangani. Atas dasar fungsi dan bidang keilmuannya, laboratorium selanjutnya dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut:

- 1) Laboratorium kimia dan biologi yang dilengkapi meja kerja yang kuat dan bersifat permanen. Ruangan membutuhkan sistem ventilasi yang baik untuk menjaga sirkulasi udara, terutama pada kegiatan yang menghasilkan asap atau gas dalam jumlah cukup besar.
- 2) Laboratorium khusus ini dirancang untuk kegiatan dengan kebutuhan tertentu, seperti laboratorium isotop yang digunakan untuk penelitian atau pekerjaan dengan bahan yang menghasilkan radiasi pada tingkat tertentu. Oleh karena itu, diperlukan fasilitas dan sistem pengamanan yang disesuaikan dengan karakteristik bahan yang digunakan.
- 3) Ruang steril diperuntukkan bagi kegiatan yang memerlukan kondisi udara dengan tingkat kebersihan tertentu, seperti pekerjaan mikrobiologi, elektronika, atau penggunaan bahan berbahaya. Ruangan dilengkapi sistem pengaturan sirkulasi dan penyaringan udara secara khusus untuk menjaga kondisi lingkungan tetap terkendali.

Permen PAN No. 3 Tahun 2010, membagi laboratorium pendidikan ke dalam empat tingkatan berdasarkan karakteristik fungsi, lingkungan pendidikan, serta lingkup kegiatan yang dilaksanakan. Pembagian tersebut meliputi:

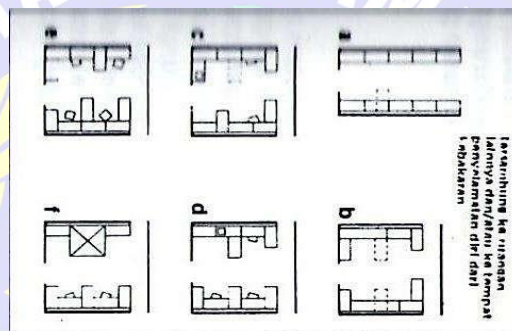
1. Laboratorium Tipe 1, laboratorium ini ditujukan untuk menunjang pembelajaran ilmu-ilmu dasar pada tingkat pendidikan menengah. Kegiatan yang berlangsung di dalamnya terutama berupa pembelajaran praktis dan eksperimen sebagai bagian dari proses pendidikan.
2. Laboratorium Tipe 2, tipe ini merupakan fasilitas laboratorium dasar yang digunakan di perguruan tinggi. Fungsinya berkaitan dengan pelaksanaan pembelajaran dasar dan umumnya diperuntukkan bagi mahasiswa pada tahap awal perkuliahan.
3. Laboratorium Tipe 3, laboratorium Tipe 3 memiliki lingkup keilmuan yang lebih spesifik sesuai dengan bidang jurusan

atau program studi. Selain digunakan untuk kegiatan pembelajaran, fasilitas ini juga mendukung pelaksanaan penelitian yang berkaitan dengan bidang keilmuan tersebut.

4. Laboratorium Tipe 4, Laboratorium ini berbentuk fasilitas terpadu yang berada dalam lingkungan pusat studi pada tingkat fakultas atau universitas. Penggunaannya mencakup kegiatan penelitian dan pengembangan ilmu dengan cakupan bidang yang lebih beragam.

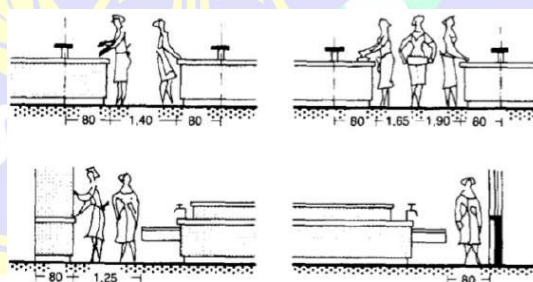
2. Prinsip Perencanaan Laboratorium

Modul berbentuk persegi maupun persegi panjang dapat digunakan dalam perancangan ruang. Namun, modul persegi lebih banyak diterapkan karena memberikan fleksibilitas dan ruang gerak yang lebih luas dalam penataan furnitur.



Gambar 2. 63 Modul ruang laboratorium

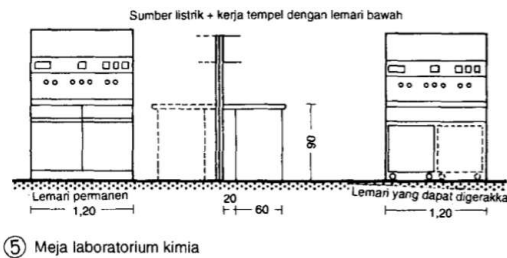
Sumber: Ernst Neufert (1996)



① Luas minimum untuk jalan gang pada tempat kerja

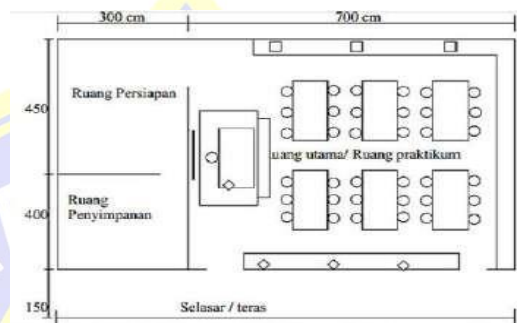
Gambar 2. 64 Besaran luas yang dibutuhkan untuk sirkulasi di dalam laboratorium

Sumber: Ernst Neufert (1996)

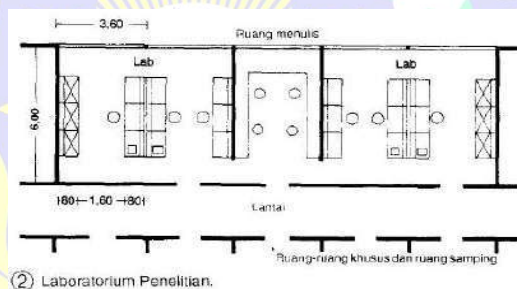


⑤ Meja laboratorium kimia

Gambar 2. 65 Standart ukuran meja pada laboratorium
Sumber: Ernst Neufert, (1996)



Gambar 2. 66 Standar Ukuran Laboratorium Penelitian
Sumber: Ernst Neufert, (1996)



② Laboratorium Penelitian.

Gambar 2. 67 Standar Ukuran Laboratorium Penelitian
Sumber: Ernst Neufert, (1996)

3. Kebutuhan-Kebutuhan Khusus Dalam Laboratorium

Setiap laboratorium memiliki karakteristik kegiatan yang berbeda sesuai dengan fungsi dan jenis penelitian yang dilakukan. Perbedaan tersebut menyebabkan kebutuhan terhadap peralatan, sistem pengendalian, serta metode penanganan ruang yang bersifat khusus dan tidak selalu dapat diterapkan pada laboratorium lainnya. Menurut Neufert (1996), beberapa ruang laboratorium memerlukan perlakuan khusus sebagai berikut:

1. Laboratorium dan gudang pendingin memerlukan sistem pengaturan dan pemantauan temperatur untuk menjaga kondisi penyimpanan tetap sesuai kebutuhan.

2. Ruang pengatur suhu dan ruang penghangat membutuhkan pengendalian temperatur agar kondisi ruang dapat dipertahankan sesuai dengan kegiatan yang dilakukan.
3. Ruang steril atau bebas debu memerlukan perangkat pembersih serta sistem pengendalian udara untuk menjaga tingkat kebersihan ruang.
4. Ruang gelap membutuhkan pengendalian akses dan pintu masuk untuk mencegah masuknya cahaya yang dapat mengganggu kegiatan di dalam ruang.
5. Ruang teknik penghasil bau atau asap untuk kegiatan dengan tingkat produksi bau atau asap yang rendah, penggunaan lemari khusus dapat mencukupi. Apabila menghasilkan bau atau asap dalam jumlah besar, diperlukan ruang khusus dengan sistem pengendalian udara.
6. Ruang kromatografi memerlukan ruang dan sistem ventilasi khusus untuk mengendalikan serta menyaring asap atau uap yang dihasilkan selama proses penelitian.
7. Ruang distilasi kimia membutuhkan sistem penyaringan dan pembuangan asap atau uap secara khusus untuk menjaga kualitas udara di dalam ruang.
8. Ruang penghasil uap memerlukan sistem ventilasi atau penyaringan yang mampu mengendalikan uap yang dihasilkan dari kegiatan laboratorium.
9. Ruang dengan peralatan yang menghasilkan getaran atau kebisingan membutuhkan pengaturan struktur dan tata ruang yang terisolasi untuk mengurangi penyebaran getaran maupun suara ke ruang lainnya.
10. Ruang hewan percobaan memerlukan pengawasan terhadap kondisi lingkungan serta sistem keamanan yang memadai untuk menjaga hewan dan pengguna ruang.
11. Ruang radiasi dan sinar-X membutuhkan perlindungan khusus pada ruang dan elemen bangunan untuk memastikan keamanan pengguna dari paparan radiasi Neufert (1996).

4. Ventilasi Udara Dalam Laboratorium

Jenis laboratorium dapat dibedakan berdasarkan fungsi dan kegiatan yang dilakukan di dalamnya. Secara umum, laboratorium dikelompokkan menjadi tiga bidang utama, yaitu laboratorium fisika, biologi, dan kimia, sedangkan jenis laboratorium lainnya merupakan pengembangan dari ketiga bidang tersebut. Setiap

laboratorium memerlukan sistem ventilasi yang memadai untuk menjaga kualitas udara dan kenyamanan pengguna. Kebutuhan ventilasi menjadi semakin penting pada laboratorium yang menggunakan bahan kimia karena diperlukan sirkulasi udara untuk mengeluarkan udara tercemar dan memasukkan udara segar. Menurut Alfiani (2015), kebutuhan pergantian udara dalam laboratorium setiap jam dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Laboratorium kimia: 8 kali pergantian udara per jam.
 2. Laboratorium fisika: 3-4 kali pergantian udara per jam.
 3. Laboratorium biologi: 4 kali pergantian udara per jam.
5. Fasilitas Penanggulangan Kebakaran yang Harus ada Dalam Laboratorium
1. APAR
 2. Tangga darurat
 3. Ada sistem alarm seperti Heat detector, Smoke detector dan Flame detector (lidah api)
 4. Hydrant (Box hydrant)
 5. Baju tahan panas pelindung kerja lengkap tahan api
 6. Pintu tahan Api
 7. Jumping sheet
 8. Penangkal Petir
6. Workshop
1. Devinisi *Workshop*

Workshop merupakan kegiatan yang melibatkan individu dengan keahlian tertentu untuk berkumpul, bertukar pengetahuan, membahas suatu permasalahan, serta memberikan pelatihan atau praktik kepada peserta. Kegiatan ini dapat dilakukan secara individu maupun berkelompok dengan mengerjakan tugas atau pekerjaan yang berkaitan dengan kondisi nyata sehingga peserta memperoleh pengetahuan dan pengalaman praktis.

Berdasarkan pengertian tersebut, ruang *workshop* dapat dipahami sebagai fasilitas yang digunakan untuk mendukung kegiatan praktik, pelatihan, diskusi, serta penyelesaian permasalahan tertentu secara individu maupun kelompok.

2. Jenis-Jenis Workshop

Jenis *workshop* dapat dikelompokkan berdasarkan lembaga atau organisasi penyelenggara, waktu pelaksanaan, dan sifat kegiatannya. Pengelompokan tersebut meliputi:

- 1) Berdasarkan lembaga atau organisasi *workshop* dapat diselenggarakan oleh berbagai lembaga atau organisasi sesuai dengan bidang kegiatannya. Dalam bidang pendidikan, misalnya, *workshop* digunakan sebagai wadah untuk membahas berbagai permasalahan pendidikan serta merumuskan alternatif penyelesaiannya.
- 2) Berdasarkan waktu pelaksanaan
 - i. Waktu beruntun, yaitu *workshop* yang dilaksanakan secara terus-menerus dalam periode waktu tertentu.
 - ii. Berkala, yaitu *workshop* yang diselenggarakan secara rutin dalam interval tertentu, seperti mingguan atau bulanan.
- 3) Berdasarkan sifat kegiatan
 - i. Mengikat, yaitu *workshop* yang menghasilkan ketentuan atau keputusan yang berlaku bagi peserta yang mengikuti kegiatan.
 - ii. Tidak mengikat, yaitu *workshop* yang menghasilkan pembahasan atau rekomendasi yang tidak bersifat wajib bagi seluruh peserta.

3. Prinsip perancangan *workshop*

Prinsip perancangan ruang *workshop* perlu disesuaikan dengan jenis kegiatan, jumlah pengguna, kebutuhan peralatan, serta pola aktivitas yang berlangsung di dalamnya. Oleh karena itu, perencanaan ruang kerja *workshop* perlu memperhatikan aspek fungsi, keselamatan, sirkulasi, kenyamanan, dan fleksibilitas ruang.

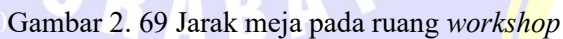
Tabel 2. 8 Standar Ukuran *Workshop*/ruang kerja

No.	Parameter	Gambar	Ukuran
1.	Kebutuhan area lantai bagi pengguna dalam posisi duduk menggunakan kursi		81 cm
2.	Kebutuhan area lantai bagi pengguna dalam posisi berdiri dengan kedua tangan menjangkau ke arah depan		86 cm
3.	Kebutuhan area lantai bagi pengguna yang berdiri dengan posisi tubuh menghadap ke arah rak		81 cm

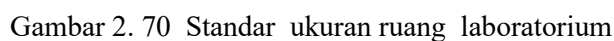
Sumber: (Naibah, 2016)



Sumber: (Naibah, 2016)

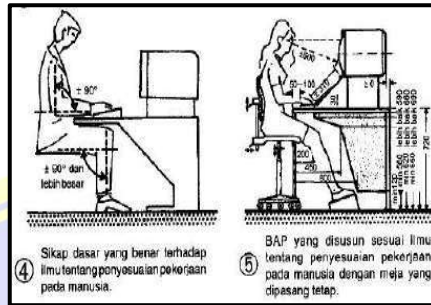


Sumber : (Naibah, 2016)



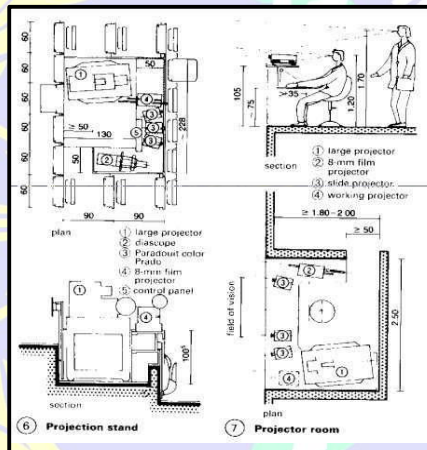
Sumber: Afiyan Firdaus, (2016)

Laboratorium komputer memerlukan meja kerja yang sesuai untuk menunjang penggunaan perangkat komputer dalam kegiatan penelitian dan pengolahan data. Oleh karena itu, ukuran meja komputer perlu disesuaikan dengan standar kebutuhan ruang dan aktivitas pengguna sebagai berikut:



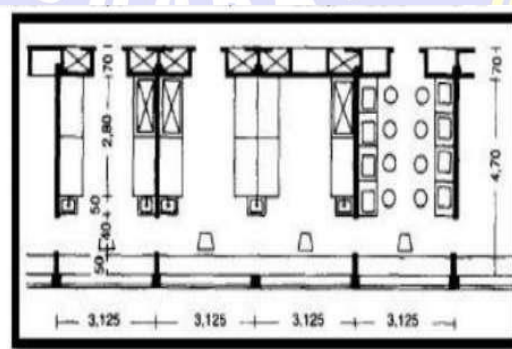
Gambar 2. 71 Standar jarak duduk dan pandang dari komputer

Sumber: Neufert Architect Data, (2015)



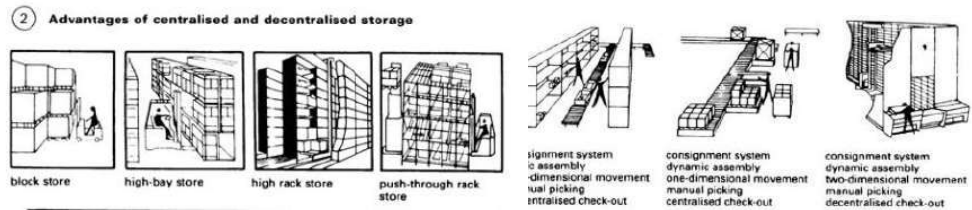
Gambar 2. 72 Standar ukuran meja komputer

Sumber: Neufert Architect Data, (2015)

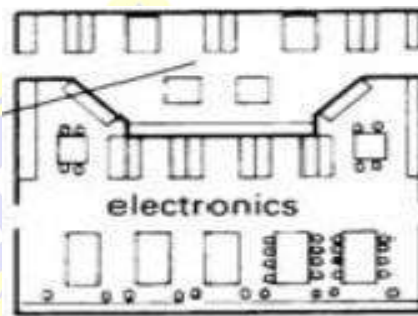


Gambar 2. 73 Standar ruang Workshop Technology

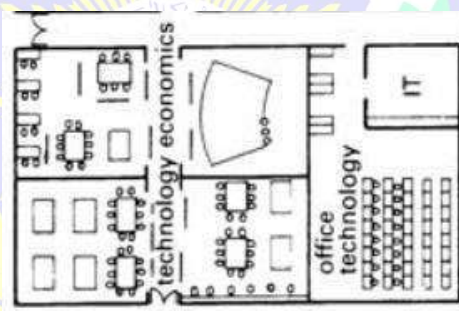
Sumber: Neufert Architect Data, (2015)



Gambar 2. 74 Standar penyimpanan Workshop Technology
Sumber: Neufert Architect Data, (2015)



Gambar 2. 75 Laboratorium Teknologi
Sumber: Neufert Architect Data, (2015)



Gambar 2. 76 Kantor Pengelola
Sumber: Neufert Architect Data, (2015)



Gambar 2. 77 Pusat Informasi
Sumber: Neufert Architect Data, (2015)

2.7 Kajian Preseden Rancangan

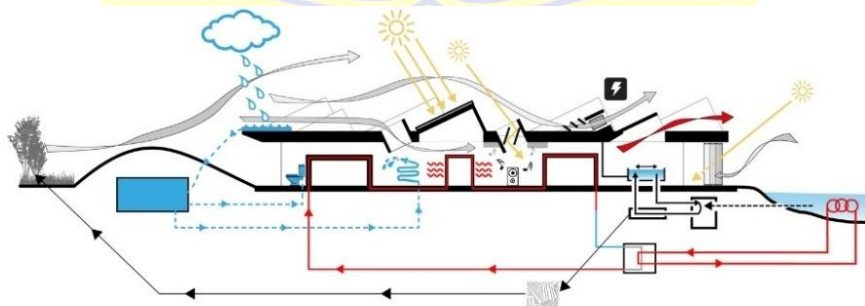
1. *Marine Education Center* NORD Architects_Cultural Center Malmö, Sweden

Marine Education Center karya NORD Architects berdiri di tepi barat *Malmö*, tepat di garis pantai Selat *Øresund*, sebagai bangunan satu lantai yang sangat rendah dan memanjang, seolah menjadi bagian dari kontur pesisir daripada objek yang berdiri sendiri. Pusat ini hanya memiliki sekitar 700 m² luas bangunan yang “diselimuti” atap besar di atas lanskap seluas kurang lebih 3.000 m², sehingga kesan pertama yang muncul bukan gedung, melainkan lanskap pantai dengan sebuah kanopi kuat yang menyatukan ruang dalam dan luar.



Gambar 2. 78 Perspektif Eksterior dan Interior
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

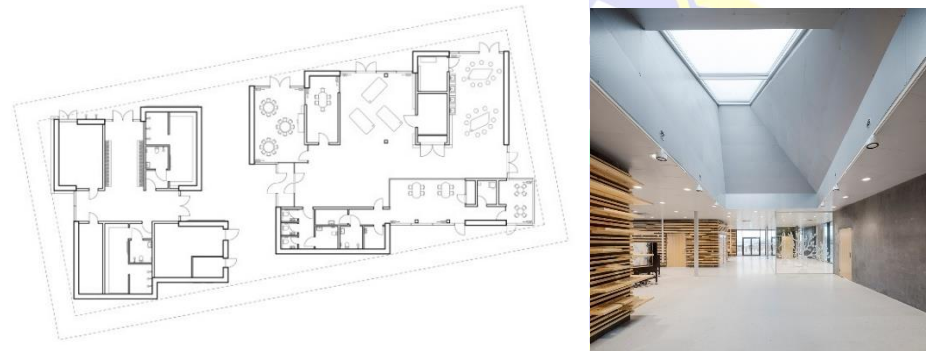
Di bawah atap besar ini, volume-volume kecil seperti paviliun disusun longgar, menciptakan serangkaian ruang luar terlindung yang menghadap ke laut dan ke arah bukaan atap datar dengan dormer tinggi yang menyerupai gelombang di permukaan laut. Fasad masing-masing paviliun relatif masif dengan plaster gelap, *cladding* kayu, dan bidang kaca penuh pada sisi tertentu, semuanya di satukan oleh atap kantilever yang menjorok ke segala arah, sehingga secara visual bangunan tampak sebagai satu kesatuan horizontal yang menyatu dengan garis horizon laut.





Gambar 2. 79 Potongan Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Konsep utama pusat ini adalah “*learning landscape*”, yakni menjadikan seluruh tapak dari dek, ponton, hingga ruang dalam sebagai ruang belajar berlapis tentang laut dan keberlanjutan. Di area luar, pengunjung menemukan laboratorium terapung di ponton kecil yang dapat dipindah, papan interpretatif di dasar laut dangkal, hingga “teropong laut bawah air” yang memungkinkan siswa mengamati biota tanpa harus menyelam.



Gambar 2. 80 Denah dan Suasana Interior
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Di bagian dalam, ruang-ruang pendidikan dan pameran dirancang fleksibel agar dapat berubah fungsi mengikuti perkembangan teknologi, tema pameran, dan cara belajar baru, sehingga bangunan tetap relevan dalam jangka panjang.



Gambar 2. 81 Site plan Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Keberlanjutan bukan hanya tema konten, tetapi juga cara bangunan bekerja dengan seluruh sistem teknis mulai dari pengelolaan air hujan, sirkulasi dan filtrasi air laut, produksi dan konsumsi energi surya, hingga sistem ventilasi diekspos dan dijelaskan sehingga pengunjung dapat memahami peran arsitektur dalam siklus sumber daya kawasan. NORD menyebutnya sebagai “belajar di mana-mana” di lanskap, di bangunan, dan di zona transisi antara alam dan budaya, sehingga setiap perjalanan dari darat ke laut di *Marine Education Center* menjadi pengalaman belajar langsung tentang hubungan manusia dengan laut di era perubahan iklim dan kenaikan muka air laut.



Gambar 2. 82 Tipikal kontur tanah dan Site plan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

2. *Coastal Marine Research Station* Martin Hurtado Arquitectos chile - *Research Center El Tabo, Chile*

Coastal Marine Research Station karya Martín Hurtado Arquitectos terletak di Las Cruces, El Tabo, di atas sebuah semenanjung curam yang menjorok ke Samudra Pasifik dan berada dalam kawasan cagar alam pesisir dengan akses manusia yang dibatasi. Stasiun ini dirancang untuk melengkapi fasilitas riset yang sudah ada milik Pontificia Universidad Católica de Chile, terutama guna menampung kegiatan riset ilmuwan dan *post-doc* yang tinggal dalam periode panjang sesuai durasi penelitian mereka di zona perlindungan laut yang termasuk salah satu *marine reserve* pertama di dunia.

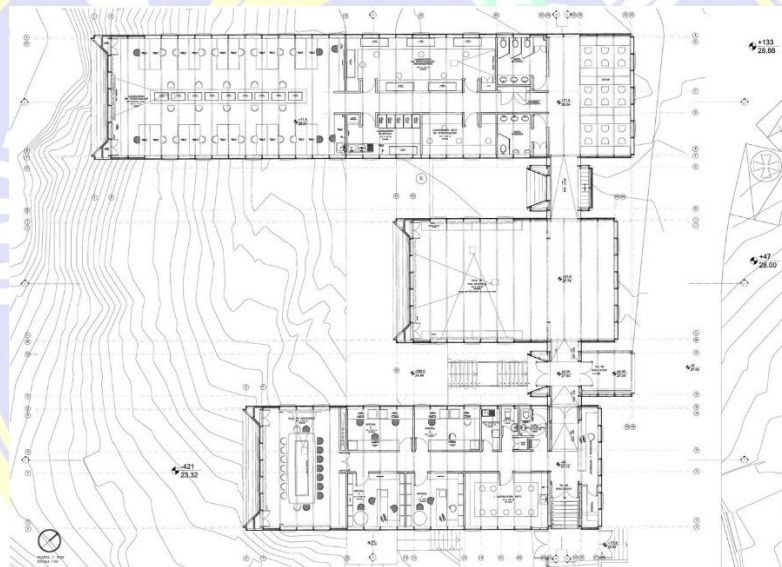


Gambar 2. 83 Eksterior dan Penggunaan Material Pada Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Secara tapak, komisi meminta tambahan sekitar 1.000 m² bangunan baru tepat di utara bangunan lama, dengan pola organisasi yang tetap mempertahankan “alun-alun” pusat yang dikelilingi fasilitas kerja dan hunian, sehingga peneliti bisa berpindah antara laboratorium, ruang kerja, dan area tinggal dalam jarak yang sangat dekat.



Gambar 2. 84 Interior Laboratorium
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

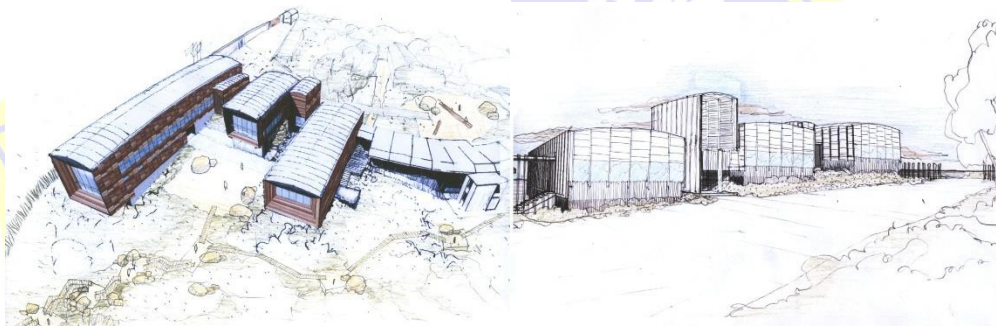


Gambar 2. 85 Lay out Plan Coastal Marine Research Station
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Menanggapi bentuk lahan berupa semenanjung sempit dengan lereng curam dan pemandangan laut dominan, arsitek membagi program menjadi tiga volume memanjang yang diletakkan sejajar garis pantai dan saling berjauhan, masing-masing mewadahi area riset, area multipurpose, dan Laboratorium Internasional untuk Perubahan Global (LINC-Global), sehingga setiap massa punya kemandirian ruang sekaligus orientasi pandangan maksimal ke laut sebagai objek utama penelitian.

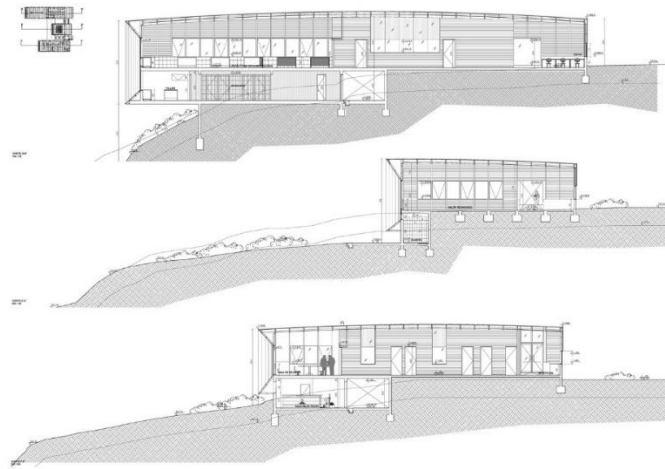


Gambar 2. 86 Site Plan Coastal Marine Research Station
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)



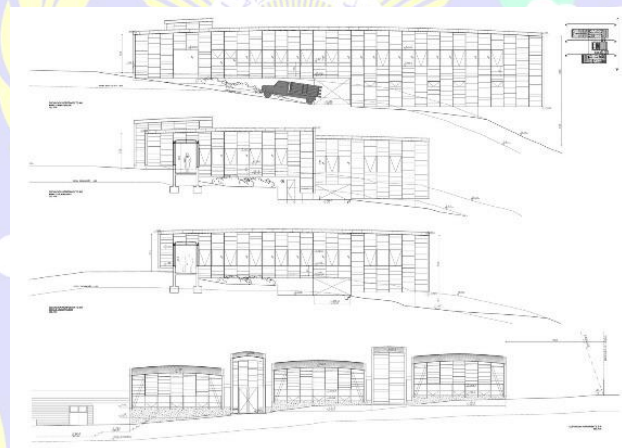
Gambar 2. 87 Perspektif Eksterior Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Ketiga volume tersebut disusun sebagai rangka berulang dari portal kayu lapis (*plywood frames*) yang berdiri di atas basis beton bertulang yang sedikit ditanam ke lereng, memperlihatkan ritme struktur yang jujur sekaligus menciptakan fasad horizontal yang tenang mengikuti kontur tebing.



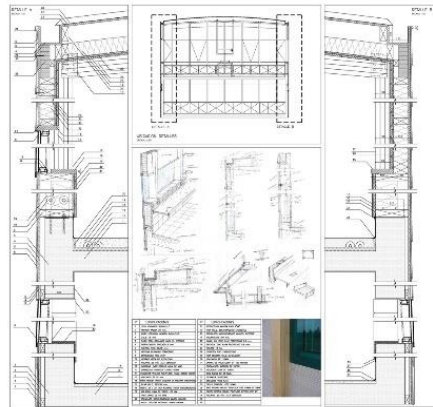
Gambar 2. 88 Potongan Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Pondasi beton ini tidak hanya menopang struktur di atasnya, tetapi juga menampung fasilitas teknis seperti area filtrasi air laut, bengkel kayu, gudang peralatan, dan ruang penyimpanan peralatan selam, sehingga fungsi servis terkonsentrasi di lapisan bawah dan tidak mengganggu area kerja serta pandangan di tingkat atas.



Gambar 2. 89 Potongan Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Dinding bagian luar didominasi beton bertulang dan *cladding fiber-cement (Permanit Wood)* dalam sistem konstruksi kering yang cepat, memberikan ketahanan termal, akustik, dan tahan api di lingkungan laut yang keras, sementara partisi interior banyak menggunakan kayu untuk menghadirkan kehangatan dan kualitas ruang kerja yang lebih domestik bagi peneliti yang tinggal lama.



Gambar 2. 90 Detail Struktur Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Dibandingkan bangunan *eksisting* yang lebih berorientasi ke laboratorium dan fasilitas riset profesional, bangunan baru ini juga didesain untuk memenuhi kebutuhan program Sarjana Biologi Kelautan UC yang berpusat di Santiago, sehingga stasiun pesisir ini berperan ganda sebagai laboratorium lapangan dan “kampus pantai” musiman. Fasilitas sarjana digunakan secara insidental, terutama pada puncak semester lapangan antara November sampai Maret, dengan maksimum sekitar 40 mahasiswa yang secara bersamaan memanfaatkan laboratorium riset, laboratorium pendukung, ruang kuliah, serta hunian sederhana di kompleks tersebut.



Gambar 2. 91 Aksesibilitas dan tipikal lahan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Dengan demikian, organisasi ruang, struktur, dan pemilihan material *Coastal Marine Research Station* secara keseluruhan membentuk lingkungan kerja tinggal yang ringkas, tahan iklim pesisir, dan sepenuhnya berorientasi pada fungsi ilmiah serta kedekatan visual fisik dengan laut yang diteliti.

3. *Wetland Research and Education Center* Atelier Z+ - *Research Center* Shanghai, China

Wetland Research and Education Center karya Atelier Z+ terletak di ujung paling timur Pulau Chongming, di muara Sungai Yangtze, tepat di dalam kawasan Dongtan Wetland yang merupakan lahan pasang-surut estuari dan salah satu koridor migrasi utama burung air rute Asia Timur-Australia. Bangunan ini menjadi fasilitas pendukung program restorasi ekologis yang dimulai sejak 2013 untuk mengendalikan invasi tanaman asing *Spartina alterniflora* dan memulihkan habitat burung, berperan sebagai platform riset ilmiah (*monitoring, bird banding*), penegakan hukum konservasi, serta pendidikan lingkungan bagi pengunjung dan jejaring kolaborasi internasional.



Gambar 2. 92 Tampak depan dan Perspektif Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

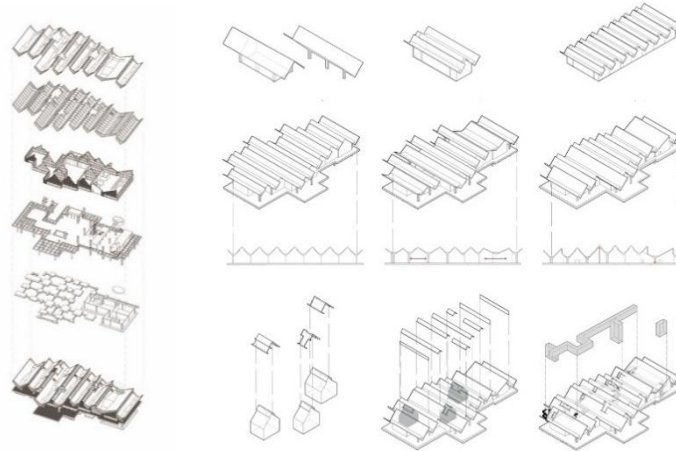
Tapaknya berada di *wetland* alang-alang (*reed wetland*) yang telah dipulihkan di bagian timur laut cagar alam, sebuah lanskap datar di mana air dan langit seolah menyatu, sedikit dijamah manusia, dan menjadi tempat hinggap kawanan burung; dari konteks ini arsitek mengambil sikap rendah hati dan berangkat dari imaji “pondok-pondok kecil di antara gunung dan air” dalam lukisan lanskap Wang Meng abad ke-14.



1. 地下室及地基处理：地下室为钢筋混凝土结构，地基采用桩基。地下室设置设备用房、储藏室等。地下室与地面之间设置防潮层、防水层等。
2. 主体结构及围护结构：主体结构为钢筋混凝土框架结构。围护结构包括外墙、内墙、楼板、屋顶等。外墙采用加气混凝土砌块，内墙采用普通混凝土砌块。楼板采用钢筋混凝土现浇板。屋顶采用钢筋混凝土现浇板，屋顶设置防水层、保温层等。
3. 屋面及防水：屋面采用钢筋混凝土现浇板，屋顶设置防水层、保温层等。防水层采用防水涂料，保温层采用聚苯板。
4. 门窗及幕墙：门窗采用断桥铝合金门窗，幕墙采用玻璃幕墙。门窗设置密封条，幕墙设置密封胶。
5. 内部空间及装饰：内部空间采用钢筋混凝土结构，地面采用地砖，墙面采用乳胶漆，天花板采用石膏板。
6. 其他：其他包括给排水、电气、暖通、消防等系统。

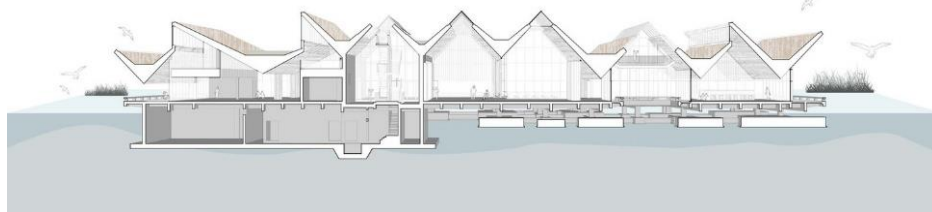
Gambar 2. 93 Suasana Interior, Eksterior dan Penggunaan Material
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Dengan tujuan meminimalkan gangguan konstruksi terhadap ekosistem, massa bangunan tidak dibuat sebagai satu volume besar, tetapi dipecah menjadi beberapa bangunan kecil yang disebar dan diletakkan di atas platform bertiang pancang, seakan-akan melayang di atas air dan tersembunyi di antara rumpun red. Lima bangunan dengan skala berbeda konferensi dan pameran, kantin, blok riset, serta asrama peneliti dihubungkan oleh jembatan trestle berliku zig-zag, sehingga pergerakan sehari-hari peneliti dan pengunjung selalu melewati air dan vegetasi sambil merasakan perubahan pandangan terhadap langit, rawa, alang-alang, dan kawanan burung.



Gambar 2. 94 Tampilan *Axonometric* pada bangunan
Sumber : (www.archdaily.com,2018)

Secara struktural, Atelier Z+ mengembangkan satu modul *Y-shape* sebagai unit utama: rangka beton bertulang kantilever berbentuk huruf Y yang berulang dan disusun bersilangan membentuk deretan atap bergerigi (*saw-tooth*) yang menciptakan ruang tertutup dengan skala bervariasi, menampung fungsi pameran, kelas, ruang kerja, hingga area semi-luar di bawah naungan atap. Kombinasi sirkulasi linear, variasi transparansi kulit bangunan, perbedaan bentang struktur dan tinggi ruang, serta penggunaan *skylight* di puncak “lembah” atap menghasilkan rangkaian ruang tanpa batas fungsi yang kaku, sehingga pengguna dapat memanfaatkan interior secara fleksibel dan selalu mengalami peralihan antara *view statis* (saat diam) dan *view dinamis* (saat bergerak).



Gambar 2. 95 Potongan Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)



Gambar 2. 96 Site Plan

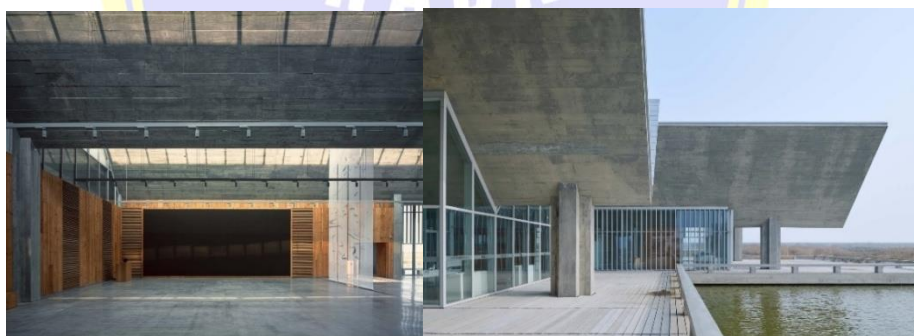
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Pilihan material sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim lembap dan salinitas tinggi di estuari, sehingga struktur kayu atau baja ringan sengaja dihindari dan diganti dengan beton bertulang yang sederhana namun tahan lama. Bangunan utama (A, B, C) menggunakan sistem rangka beton kantilever berbentuk Y dengan bagian pelat lipat (*folded-plate*), sementara dua bangunan lain (D dan E) memakai pelat lipat beton penuh, dan untuk kantilever terpanjang pada bangunan A digunakan beton bertulang baja (*steel-reinforced concrete*) dengan sebagian ruang pameran diberi mezzanine baja.



Gambar 2. 97 Perspektif Eksterior bangunan

Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

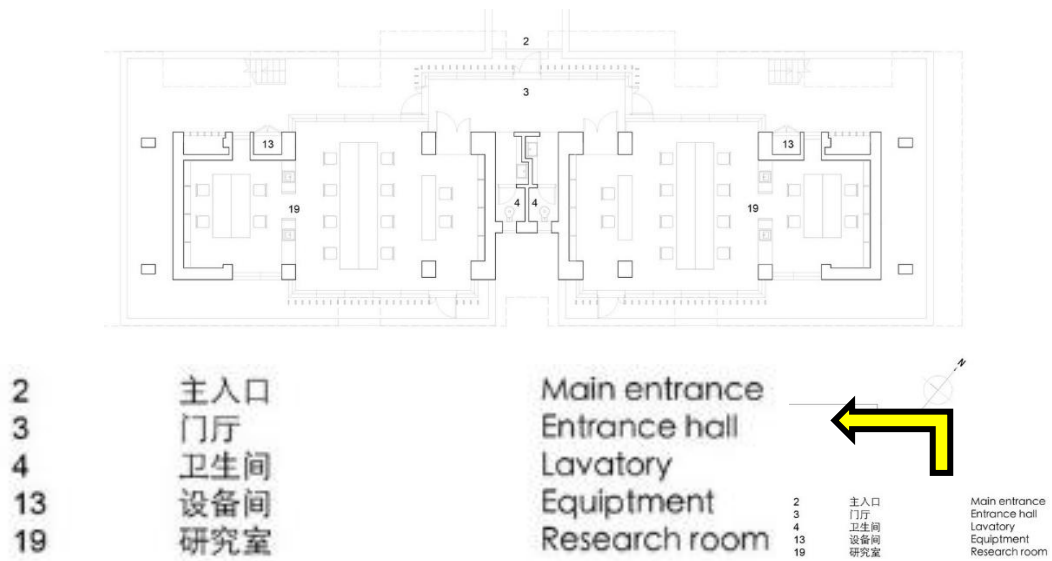


Gambar 2. 98 Material Ekspose Interior dan eksterior

Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Untuk mengekspose karakter “kasar” beton sekaligus mengikatnya dengan konteks alami *wetland*, bekisting menggunakan papan pinus panjang yang dibiarkan terbaca pada permukaan akhir (*as-cast finish*), menciptakan tekstur kayu alami pada seluruh permukaan struktur yang kemudian diselaraskan dengan dinding isian non-struktural yang dilapisi papan bekisting daur ulang. Bukan luar didominasi jendela kaca *full-height* dengan kisi vertikal di balik *overhang* atap yang dalam, sehingga pengunjung mendapatkan pandangan maksimal ke lanskap tanpa risiko benturan burung, dan pada saat yang sama kulit bangunan terlindungi dari hujan dan radiasi langsung.





Building C: Research

Gambar 2. 99 Denah Tipikal lantai
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Relasi bangunan dengan air dan vegetasi dirancang sangat halus: jembatan *trestle* dan platform di atas air dipasang dengan bilah beton pracetak yang disusun renggang untuk menegaskan rasa “berjalan di atas air” sekaligus memberi ruang bagi rumpun reed untuk tumbuh menembus sela-selanya. Seluruh lembah di antara punggung atap diisi lapisan tanah bergelombang tipis dan ditanami *miscanthus* serta semak lokal yang memiliki perawatan rendah, sehingga atap menjadi *landscape* ketiga: dari jauh tampak seperti pulau-pulau hijau yang tenggelam di hamparan wetland.



Gambar 2. 100 Tampilan Material Jerami pada atap Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Di atas bidang atap miring, lapisan penutup menggunakan lembaran titanium-zinc sebagai kulit kedap, lalu ditutup jerami reed lokal yang dipanen dan dipasang di bawah supervisi penganyam alang-alang berpengalaman setempat, sehingga terbentuk siklus material yang bersumber dan dapat dikembalikan ke ekosistem setempat dalam jangka panjang.



Gambar 2. 101 Suasana di Luar Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Dengan strategi ini, *Wetland Research and Education Center* bukan hanya prasarana riset dan edukasi, tetapi juga contoh konkret bagaimana arsitektur dapat “melayani” lahan basah: ringan di atas tanah, rapat terhadap iklim, terbuka pada lanskap, dan secara visual maupun ekologi larut ke dalam sistem rawa yang dilindunginya.

4. i *Ocean Museum* B+P Architects - *Cultural Architecture*, Aquarium, *Sustainability* 長潭里, Taiwan

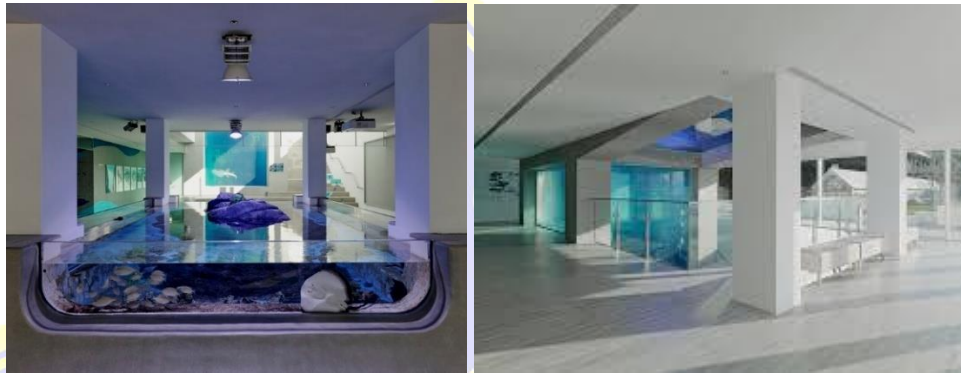


Gambar 2. 102 Site Plan i *Ocean Museum*
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)



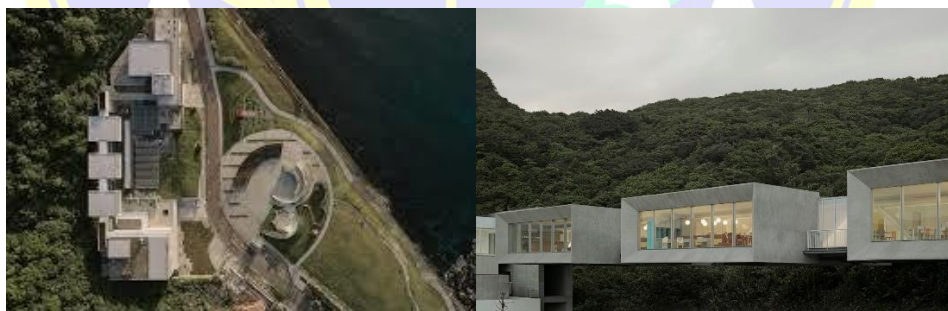
Gambar 2. 103 Tampak Perspektif Eksterior Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

i *Ocean Museum* di 長潭里, Keelung, Taiwan, merupakan hasil transformasi fasilitas riset *Chaojing Marine Research Center* yang sebelumnya berfungsi sebagai pusat penelitian kelautan di bawah *National Museum of Marine Science and Technology*. Kompleks awalnya terdiri dari bangunan selatan dan utara, sebuah *sky bridge* baja bentang 40 meter, serta stasiun budidaya akuakultur bawah tanah yang ditanam dalam gundukan tanah, dan seluruh kawasan berdiri di atas tapak bekas TPA yang direhabilitasi menjadi Chaojing Park.



Gambar 2. 104 Suasana Aquarium Interior Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Proyek renovasi oleh B+P Architects mempertahankan sebagian fungsi kantor riset, tetapi mengubah ruang-ruang penelitian menjadi museum publik dengan akuarium, display digital interaktif, area pengalaman imersif, dan fasilitas komersial, sehingga fungsi sains kelautan melebar dari domain ahli ke ranah edukasi masyarakat.



Gambar 2. 105 Site Plan dan Tampilan Eksterior
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Secara konseptual, B+P membayangkan arsitektur sebagai “*living container*” wadah kehidupan seperti tangki air bagi ikan yang menarik air, vegetasi, dan panorama gunung, laut masuk ke dalam tubuh bangunan. Eksistingnya berupa *work station* bawah tanah tertutup tanah, volume beton

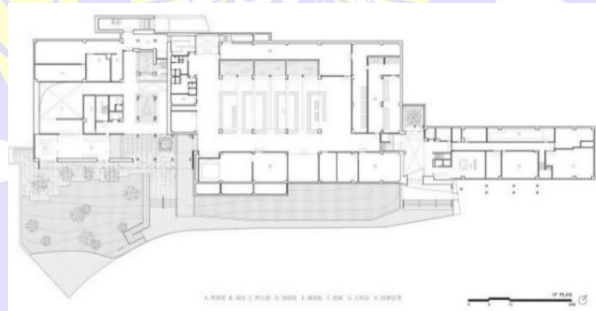
masif di sisi selatan dan utara, dengan jembatan baja di ketinggian; intervensi baru menambahkan volume beton mandiri di celah antar bangunan yang menampung tangki-tangki air besar dan sekaligus mengikat skema ruang pameran di dalam.



Gambar 2. 106 Aquarium Vertikal dan Public space

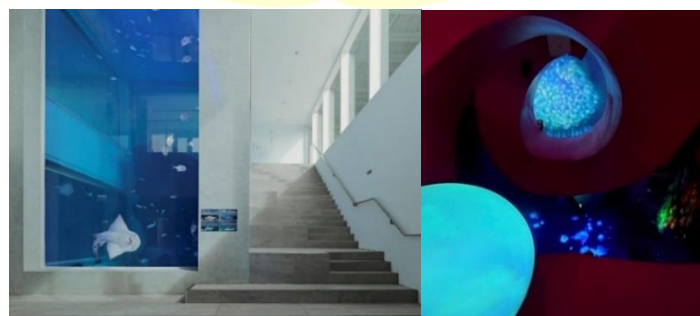
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Balkon-balkon lama dikuliti ulang dengan panel semen berongga dan tirai kaca, sehingga terbentuk “*black box*” pameran dan koridor kaca yang menghadap langsung ke gunung dan teluk, sementara *cladding* jembatan diganti panel ringan berinsulasi untuk kinerja termal yang lebih baik tanpa membebani struktur. Dari dalam, fasad kaca besar membingkai lanskap; dari luar, jendela-jendela itu membuat pengunjung tampak seperti makhluk di dalam akuarium, membalik relasi pengamat yang diamati dan menegaskan tema museum sebagai wadah bersama bagi manusia dan laut.



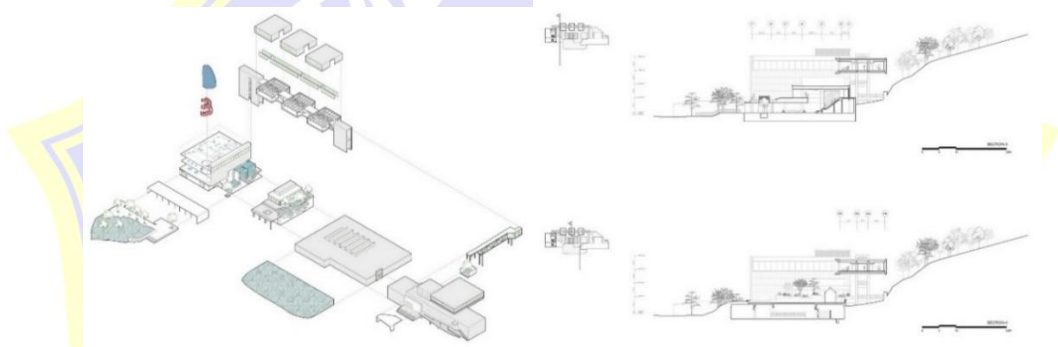
Gambar 2. 107 Lay out

Sumber : (www.archdaily.com, 2019)



Gambar 2. 108 Sirkulasi Vertikal
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Ruang dalam museum disusun sebagai pengalaman vertikal yang berawal dari sebuah tangki vertikal besar di lantai dasar, di mana pengunjung melihat kolom air yang dibungkus oleh tangga lebar yang melilitnya ke atas. Sepanjang sirkulasi menaik ini, pengunjung melewati beragam tangki ikan, instalasi media AR/VR, dan ruang pameran digital yang menceritakan ekologi Teluk Chaojing dan riset kelautan, sementara struktur beton dan kaca yang terbuka menjaga hubungan visual kontinu dengan pegunungan hijau dan laut di kejauhan. Lanskap diolah sebagai perpanjangan narasi interior: halaman rumput di lantai dasar, pot-pot hijau dan pepohonan di balkon lantai dua, serta posisi *sky bridge* yang “melayang” di antara gunung dan laut, membuat bangunan terasa mengambang di ruang di antara dua elemen alam utama.

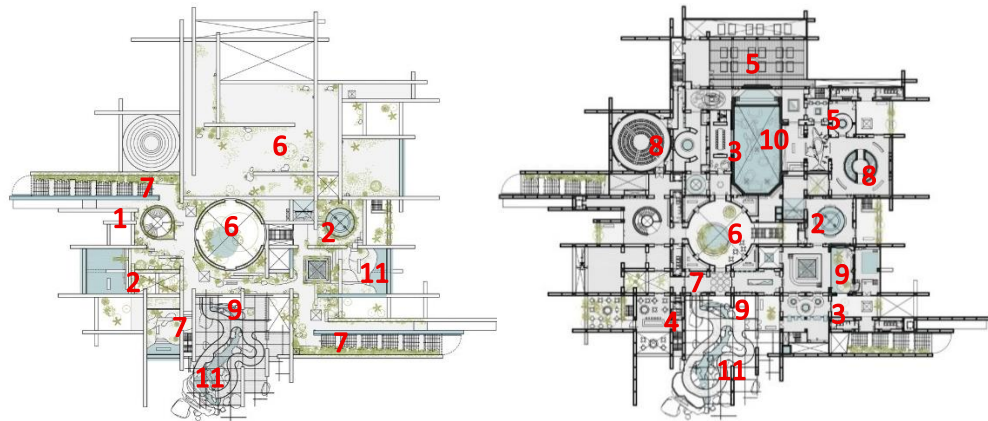


Gambar 2. 109 Axonometric dan Potongan Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2019)

Dengan meminimalkan pembongkaran, memanfaatkan struktur yang ada, dan mengintegrasikan teknologi *display* baru dengan sumber daya alam tapak, i *Ocean Museum* mewujudkan arsitektur budaya akuarium yang berkelanjutan, menghubungkan kembali warisan riset laut dengan pengalaman publik secara puitis sekaligus fungsional.

5. *Cortés Sea Research Center Tatiana Bilbao - Aquariu Mazatlán, Mexico*

Cortés Sea Research Center atau *Gran Acuario Mazatlán* dirancang Tatiana Bilbao Estudio sebagai akuarium sekaligus pusat riset yang menjadi bagian dari program regenerasi *Mazatlán Central Park*, taman kota baru di tepi Pasifik yang menyatukan ruang publik, lanskap hijau, dan fasilitas budaya. Alih-alih tampil sebagai ikon tertutup seperti akuarium konvensional, bangunan ini diposisikan sebagai “terrain terbangun” di dalam taman: suatu massa beton bertingkat yang poros dan terfragmentasi, di mana laut, darat, dan vegetasi bisa masuk dan secara perlahan “mengambil alih” arsitektur.

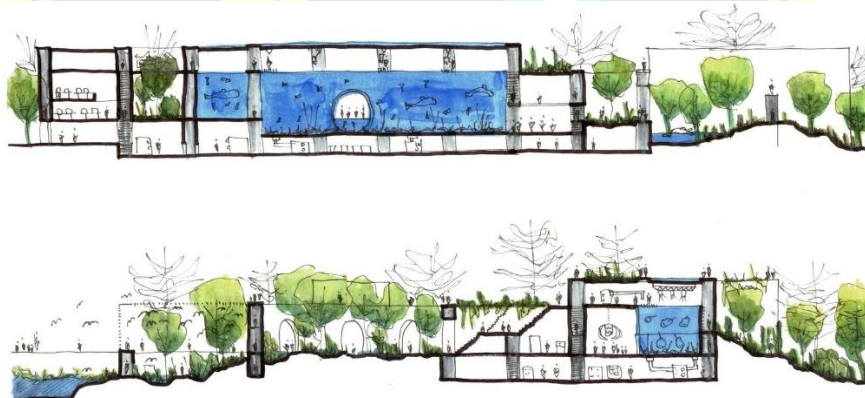


LEGENDA

- | | | |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|
| 1. Main Lobby / Entrance | 5. Temporary Exhibitions | 9. Coral Tank |
| 2. Animal Life Support | 6. Central Lobby / Courtyard | 10. Oceanic Tank |
| 3. Offices | 7. Access Court | 11. Stingray Tank |
| 4. Restaurant | 8. Auditorium | 12. Touch Tank |

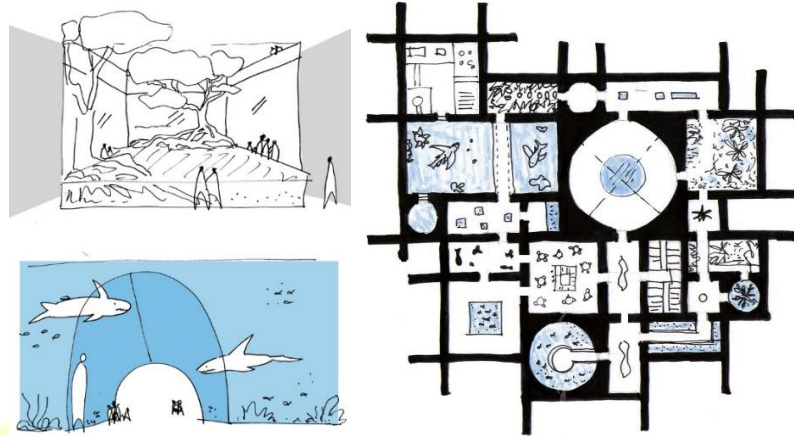
Gambar 2. 110 Denah Tipikal Lantai
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Gagasannya adalah membangun “ruin dari masa depan” sebuah struktur yang sejak awal dirancang untuk menunjukkan bahwa manusia bukan pengendali alam, melainkan bagian dari ekosistem yang harus hidup berdampingan dan pada akhirnya tunduk pada proses ekologis. Secara ruang, pusat ini menawarkan perjalanan imersif melalui tiga habitat besar yaitu darat, pantai, dan laut yang dialami pengunjung melalui rute dari atap hingga plaza bawah.



Gambar 2. 111 Potongan pada Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Pengunjung naik melalui tangga monumental ke taman atap, lalu menuruni rangkaian ruang luar dan dalam menuju plaza akses pusat, tempat berbagai ekosistem pameran (laut lepas, pesisir, darat, hutan) dan fasilitas edukasi seperti auditorium dan laboratorium publik saling terhubung.



Gambar 2. 112 Tampilan Aquarium dan denah
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Di dalam, tangki-tangki besar dan ruang pamer disusun secara labirin, dengan *vestibul* dan kantong ruang yang sebagian terbuka ke langit, sehingga pergerakan antara *tidal pool*, mangrove, hingga ruang gelap untuk hiu dan terumbu karang terasa bertahap sekaligus fleksibel dalam urutan kunjungan.



Gambar 2. 113 Suasana Eksterior dan Interior
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Struktur bangunan dibentuk oleh dinding-dinding beton cor di tempat setinggi hingga sekitar 22,5 meter yang tersusun ortogonal dan rasional, mengingatkan pada komposisi mondrian, dinding-dinding ini sekaligus menjadi elemen struktural, pembentuk ruang, selubung, dan pengarah sirkulasi publik.



Gambar 2. 114 Sirkulasi pada Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Beton diberi pigmen ungu lembut untuk merespon warna pulau-pulau berbatu di lepas pantai Mazatlán, sehingga massa besar ini tetap punya kedekatan visual dengan konteks geologi sekitarnya. Dinding-dinding tersebut memanjang tak beraturan ke luar tapak, menancap ke lanskap taman, memperbanyak kontak interior - eksterior dan mengaburkan batas antara ruang tertutup dengan ruang publik luar.



Gambar 2. 115 Tampak Perspektif nyata Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)



Gambar 2. 116 Tampilan Perspektif Render
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Di sela-sela dinding, lanskap yang dirancang oleh Taller de Paisaje Entorno menumbuhkan *flora* lokal yang pada waktunya akan menutupi dan melunakkan volume beton, mewujudkan visi “bangunan yang direbut kembali oleh alam”.



Gambar 2. 117 Potongan Kseluruhan pada Bangunan

Sumber : (www.archdaily.com, 2018)



Gambar 2. 118 Aksesibilitas pada Bangunan

Sumber : (www.archdaily.com, 2018)

Program bangunan dikembangkan dalam tiga lapis utama yang menggabungkan fungsi publik dan riset. Lantai dasar menampung area administrasi, penerimaan rombongan sekolah, sebagian fasilitas publik, serta sebagian besar fasilitas pendukung konservasi dan perawatan biota laut beserta instalasi teknis terpusat. Di atasnya, lantai pertama berisi plaza masuk utama, zona pameran publik, dan layanan pengunjung, sedangkan lantai atas menampung instalasi teknis dan sistem pendukung kehidupan laut (*life support systems*) yang terkait langsung dengan tangki-tangki besar di bawahnya. Selain lab dan area konservasi tertutup, terdapat laboratorium publik dan ruang edukasi yang memungkinkan pengunjung melihat proses ilmiah, sehingga akuarium ini berfungsi ganda sebagai pusat pembelajaran terbuka tentang ekosistem Laut Cortez dan upaya pelestariannya.



Gambar 2. 119 Suasana Interior Public Space
Sumber : (www.archdaily.com, 2018)



Gambar 2. 120 Tampilan Eksterior Bangunan
Sumber : (www.archdaily.com)

Secara keseluruhan, *Cortés Sea Research Center* memadukan bahasa arsitektur monolitik berpori dengan lanskap hidup untuk menciptakan pengalaman yang menempatkan pengunjung “di dalam” sistem laut–darat, bukan sebagai penonton terpisah. Rute yang dimulai dari atap hijau, menuruni massa beton hingga ke plaza dan ruang pameran bawah, dipahami sebagai perjalanan dari perspektif manusia kota ke kedalaman dunia laut dan kembali lagi, sambil terus diingatkan bahwa arsitektur dan kehidupan manusia selalu berada di dalam, bukan di luar, dunia alam.

2.8 Tinjauan Objek Studi Preseden

Berdasarkan pemaparan tentang perbandingan studi preseden diatas pada prinsip-prinsip utama arsitektur keberlanjutan dan relevansi untuk Paciran Marine Research Center. Maka dapat disimpulkan dari kelima studi preseden tersebut yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2. 9 Perbandingan Objek Bangunan Studi Preseden

No	Prinsip	Marine Education Center – NORD (Swedia)	Coastal Marine Research Station – Martín Hurtado (Chile)	Wetland Research and Education Center – Atelier Z+ (Shanghai)	i Ocean Museum – B+P (Taiwan)	Cortés Sea Research Center – Tatiana Bilbao (Meksiko)
1.	Fokus utama	Edukasi kelautan publik + “ <i>learning landscape</i> ” pesisir.	Fasilitas riset pesisir murni untuk peneliti dan mahasiswa.	Riset dan edukasi ekosistem <i>wetland</i> (monitoring, konservasi, edukasi).	Transformasi pusat riset kelautan menjadi museum / akuarium public dan kantor riset.	Pusat riset, konservasi, dan edukasi Laut Cortez yang menyatu dengan taman kota dan akuarium.
2.	Konsep & tema	“ <i>Landscape as learning environment</i> ”, atap besar menyatukan ruang dalam dengan luar, sistem teknis jadi bagian narasi edukatif.	Massa kompak, fungsional, melengkapi fasilitas riset eksisting di pesisir berbatu dengan fokus pada keandalan dan efisiensi.	“Gubuk di antara gunung dan air”, volume kecil tersebar di atas rawa, membentuk lembah atap yang hijau dan restoratif.	“ <i>Floating between mountains and sea</i> ”, adaptive reuse, bangunan lama dan baru merangkul pengalaman gunung dengan laut dan akuarium digital.	Arsitektur sebagai mediator ekologi, paviliun berpori seperti “ruin hidup” yang membiarkan vegetasi dan laut menginvasi seiring waktu.
3.	Site and Land Use	Menyatu dengan garis Pantai, tapak dimanfaatkan sebagai lintasan belajar dari darat dengan Pantai dan laut, footprint dijaga agar tidak mendominasi lanskap pesisir.	Ditempatkan dekat tebing dan laut untuk akses riset; memanfaatkan infrastruktur kampus laut yang sudah ada, mengurangi pembukaan lahan baru.	Bangunan diangkat di atas tiang pancang di tengah <i>wetland</i> , aliran air dan pertumbuhan reed dibiarkan natural, jejak tapak fisik minimum.	Menjaga struktur riset lama (<i>earth-covered station</i> , jembatan baja) dan mengisi celah dengan volume baru yang kompak sehingga tidak menambah okupasi lahan secara besar.	Terintegrasi dengan Central Park Mazatlan, struktur tersebar sebagai paviliun yang mengikuti kontur dan hubungan darat, laguna, laut.

No	Prinsip	Marine Education Center – NORD (Swedia)	Coastal Marine Research Station – Martín Hurtado (Chile)	Wetland Research and Education Center – Atelier Z+ (Shanghai)	i Ocean Museum – B+P (Taiwan)	Cortés Sea Research Center – Tatiana Bilbao (Meksiko)
4.	Community (Komunitas dan sosial)	Dirancang sebagai fasilitas pembelajaran untuk sekolah, keluarga, dan komunitas local dengan edukasi maritim untuk mendukung budaya bahari kota.	Fokus pada komunitas ilmiah, ruang komunal untuk hidup bersama peneliti membangun kultur riset kolaboratif.	Melayani peneliti, pengelola taman nasional, dan pengunjung umum, jembatan dan dek jadi ruang pertemuan santai di tengah lanskap rawa.	Membuka riset ke publik melalui museum dan akuarium, menjembatani warga dengan sains kelautan dan memperkuat identitas pesisir setempat.	Membawa publik masuk ke proses konservasi, ruang publik, jalur, dan paviliun memperkuat rasa memiliki warga terhadap Laut Cortez.
5.	Health and well-being	Banyak ruang luar terlindungi di bawah atap, kontak visual dan fisik dengan laut dan vegetasi mendukung pemulihan mental dan aktivitas edukatif outdoor.	Ruang tinggal dan kerja dengan view laut dan ventilasi silang sederhana untuk mendukung kenyamanan jangka panjang peneliti di iklim pesisir.	Atap berlembah, vegetasi, jembatan kayu, dan kedekatan dengan air menciptakan pengalaman restoratif dan multi-sensori yang mengurangi stres.	Pemandangan gunung dan laut dibingkai dari dalam, ruang pameran terang dan terbuka, pengalaman “immersive” meningkatkan keterlibatan dan kenyamanan pengunjung.	Ruang semi-terbuka, paviliun berpori, dan jalur di antara vegetasi serta air menciptakan lingkungan biophilic yang mendukung kesehatan fisik dan mental.

No	Prinsip	Marine Education Center – NORD (Swedia)	Coastal Marine Research Station – Martín Hurtado (Chile)	Wetland Research and Education Center – Atelier Z+ (Shanghai)	i Ocean Museum – B+P (Taiwan)	Cortés Sea Research Center – Tatiana Bilbao (Meksiko)
6.	Materi al & struktural	Struktur utama kayu dan baja dengan selubung yang tahan iklim laut, material dirancang robust dan mudah perawatan.	Beton bertulang dan kayu, material tahan korosi dan kelembaban, dengan detail sederhana untuk daya tahan di lingkungan pesisir.	Beton bertulang bertekstur kayu (bekisting papan), atap titanium-zinc dan jerami reed lokal, decking kayu, kombinasi struktur tahan lama dan lapisan material lokal yang dapat diperbarui.	Mempertahankan struktur beton eksisting dan jembatan baja 40 m, volume baru juga beton, sehingga memaksimalkan reuse dan mengurangi <i>embodied energy</i> baru.	Struktur beton dan baja yang dipahami sebagai “kerangka” yang boleh diinvasi vegetasi, finishing dibuat tahan kondisi laut sekaligus menerima penuaan alami.
7.	Strategi energy and water	Pencahayaan alami luas, ventilasi alami di ruang Bersama, sistem energi terbarukan dan pengelolaan air (misalnya tampilan siklus air) dijadikan bagian edukasi.	Mengandalkan strategi pasif (orientasi, ventilasi, massa termal) untuk iklim pesisir, sistem mekanikal dibuat sederhana untuk efisiensi energi.	Atap bergerigi dengan <i>skylight</i> dan kemiringan berlawanan memaksimalkan ventilasi dan cahaya alami, elevasi di atas rawa melindungi dari banjir tanpa dinding penahan besar.	<i>Adaptive reuse</i> menghemat energi tersimpan, selubung baru dan tata ruang memaksimalkan pencahayaan alami sambil mengontrol beban energi akuarium dan media digital.	Paviliun berpori mengurangi ketergantungan HVAC melalui ventilasi silang dan shading; integrasi dengan lanskap memungkinkan pengelolaan air hujan dan <i>run-off</i> secara alami.

No	Prinsip	Marine Education Center – NORD (Swedia)	Coastal Marine Research Station – Martín Hurtado (Chile)	Wetland Research and Education Center – Atelier Z+ (Shanghai)	i Ocean Museum – B+P (Taiwan)	Cortés Sea Research Center – Tatiana Bilbao (Meksiko)
8.	Fasilitas	• Ruang kelas • area pameran • laboratorium edukatif • dek observasi • ruang luar belajar sepanjang tepi air.	• Laboratorium • ruang kerja peneliti • area penyimpanan peralatan lapangan • hunian peneliti • ruang komunal.	• Ruang konferensi/pameran • laboratorium kecil • ruang monitoring • <i>canteen</i> • <i>dormitory</i> • dek/jembatan observasi burung dan flora rawa.	• Tangki akuarium • ruang pameran interaktif • teater • ruang edukasi • kantor riset • fasilitas servis terintegrasi.	• Laboratorium • area observasi • akuarium • ruang edukasi • paviliun public • jalur lanskap yang menghubungkan fungsi riset dan rekreasi.
9.	Pola sirkulasi	Sirkulasi publik mengalir mengikuti kontur dan tepi laut, banyak transisi <i>indoor</i> dan <i>outdoor</i> ; sirkulasi sebagai “alur narasi” edukasi.	Sirkulasi sederhana antara hunian, lab, dan akses laut dengan jarak dekat memudahkan kerja lapangan intensif.	Jembatan trestle zig-zag menghubungkan an volume-volume kecil, memaksa pengguna bergerak pelan sambil mengalami lanskap <i>wetland</i> .	Publik bergerak melalui sekuens ruang pameran dan tangki air di atas dan di sekitar struktur lama, sirkulasi peneliti dipisah sebagian tetapi masih terhubung secara visual.	Jalur eksterior menghubungkan an paviliun dan taman, sirkulasi non-linear yang mengikuti ekologi (vegetasi, air) menggantikan koridor tertutup.
10.	Fasad	Fasad sebagai “kulit edukatif”, transparansi selektif ke laut dan lanskap,	Fasad sederhana, masif ke arah iklim keras dan lebih terbuka ke	Fasad didominasi permukaan beton bertekstur dan	Kombinasi beton eksisting dan volume baru yang	Fasad berpori, terfragmentasi, dengan bukaan besar, <i>shading</i> , dan

No	Prinsip	Marine Education Center – NORD (Swedia)	Coastal Marine Research Station – Martín Hurtado (Chile)	Wetland Research and Education Center – Atelier Z+ (Shanghai)	i Ocean Museum – B+P (Taiwan)	Cortés Sea Research Center – Tatiana Bilbao (Meksiko)
		shading yang menonjol, ekspresi sistem struktur dan atap besar.	view laut, menekankan kejujuran material beton dan kayu.	atap jerami reed, volume rendah dengan bukaan terkontrol agar menyatu dengan warna dan tekstur reed wetland.	membungkus tangki air, bukaan besar membingkai gunung dan laut, dengan permainan solid-void yang kuat.	kemungkinan <i>overgrowth</i> vegetasi, tampilan yang sengaja “tidak selesai” untuk menerima perubahan ekologi.

Sumber : Penulis, 2026

