

BAB II







LANDASAN TEORI

2.1 Plastik

2.1.1 Pengertian dan Jenis Plastik

Plastik merupakan bahan organik yang mempunyai kemampuan untuk dibentuk ke berbagai bentuk dengan perlakuan panas dan tekanan Purwaningrum, 2016. Berdasarkan jenis produknya, plastik dibagi menjadi tujuh jenis, yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Other* (Wahyudi et al., 2018). Informasi lengkap terkait jenis plastik sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dalam penelitian ini digunakan limbah plastik jenis PET karena mudah ditemukan dan mudah didaur ulang (Lubis et al., 2022).

Tabel 2. Karakteristik jenis plastik

Kode	Tipe Plastik	Contoh Pemanfaatan Plastik
	PET atau PETE	Botol minuman ringan dan air mineral, bahan pengisi kantong tidur dan serat tekstil
	HDPE	Kantong belanja, kantong <i>freezer</i> , botol susu dan krim, botol sampo dan pembersih.
	PVC atau V	Botol jus, kotak pupuk, pipa saluran.
	LDPE	Kotak <i>ice cream</i> , kantong sampah, lembar plastik hitam.
	PP	Kotak <i>ice cream</i> , kantong kentang goreng, sedotan, wadah minuman, kotak makan.
	PS	Kotak yoghurt, plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan siap saji, baki kemasan.



Other Botol minum olahraga, *acrylic* dan *nylon*.

Pada awal kemunculannya, plastik sering dimanfaatkan untuk dibuat menjadi berbagai produk, seperti kemasan makanan dan minuman (Khoirunnisa & Kadarohman, 2022; Wahyudi et al., 2018). Namun karena sifatnya yang kuat dan tidak mudah terurai, limbah plastik menimbulkan banyak masalah lingkungan seperti pencemaran daratan dan perairan (Hasibuan, 2016; Ikrar Jamika et al., 2023; Sandra & Radityaningrum, 2021).

Plastik menimbulkan banyak dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Bagi kesehatan, berbagai produk berbahan plastik dapat menimbulkan kanker, gangguan kehamilan, dan kerusakan jaringan tubuh lainnya, sedangkan bagi lingkungan, sampah plastik yang sulit terurai, akhirnya dapat merusak dan mencemari tanah serta sumber air tanah (Gunadi et al., 2020).

Dampak plastik di lautan lebih berbahaya daripada di daratan karena plastik sering konsumsi hewan laut karena dianggap makanan. Plastik yang tidak bisa dicerna akan tetap berada di sistem pencernaan hewan dan menyumbat saluran pencernaan, menyebabkan kelaparan atau infeksi yang bisa berakibat fatal. Plastik di lautan juga lebih sulit terurai karena berada di lingkungan basah yang membuatnya sulit terdegradasi. Biasanya, plastik hanya akan terpecah menjadi mikroplastik yang kemudian dikonsumsi oleh hewan laut seperti ikan, penyu, dan burung. Selain itu, bahan beracun dalam plastik dapat larut ke dalam air laut, menyebar di permukaan dan mempengaruhi lingkungan (Hasibuan, 2016).

2.1.2 Mikroplastik

Setiap tahun, lebih dari 300 juta ton plastik diproduksi di seluruh dunia, dengan sekitar 10% di antaranya berakhir di laut melalui sungai atau jalur lainnya. Plastik yang masuk ke perairan akan mengalami degradasi fisik, kimia, dan biologis, sehingga terpecah menjadi potongan-potongan kecil. Fragmen plastik terkecil ini dikenal sebagai mikroplastik, yaitu partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm. Karena sifatnya yang sulit terurai, mikroplastik dapat bertahan di lingkungan dalam jangka waktu yang sangat lama, berpotensi mencemari ekosistem laut dan rantai makanan (Carpenter & Smith, 1972).

2.2 Terumbu Karang

2.2.1 Pengertian dan Peran Terumbu Karang

Terumbu karang merupakan ekosistem laut yang terbentuk oleh polip dari *kelas Anthozoa* dan *ordo Scleractinia*, yang hidup bersama dan menghasilkan kalsium karbonat. Ekosistem ini memiliki peran penting dalam keseimbangan lingkungan pesisir dan lautan, baik secara ekologi, biologi, maupun keanekaragaman hayati. Terumbu karang menjadi habitat bagi berbagai biota laut seperti ikan, gurita, kuda laut, udang, anemon laut, dan organisme lainnya untuk bertumbuh dan berkembang biak. Selain itu, secara fisik, terumbu karang berfungsi sebagai pemecah ombak, membantu mengurangi dampak erosi pantai dan melindungi garis pantai dari abrasi (Purnama et al., 2020; Uar et al., 2016).

2.2.2 Jenis-Jenis Terumbu Karang

Terdapat sekitar 6000 spesies terumbu karang berbeda di seluruh dunia (Morgan Stanley, 2024). Indonesia memiliki sekitar 590 spesies terumbu karang yang tersebar di perairan pesisir, dengan dua ordo utama, yaitu *Scleractinia* (karang batu) dan *Octocorallia* (karang lunak). Keanekaragaman ini menjadikan Indonesia sebagai pusat biodiversitas terumbu karang dunia. Di wilayah Indo-Pasifik, *ordo Scleractinia* terbagi menjadi lima subordo, yang mencakup 16 suku dan 72 marga, dengan total sekitar 84 marga karang yang telah tercatat. Secara global, terdapat sekitar 119 marga karang yang tersebar di berbagai perairan. Salah satu contoh kekayaan biodiversitas laut Indonesia dapat dilihat di perairan Raja Ampat, di mana berbagai jenis karang berhasil diidentifikasi, mencerminkan tingginya keanekaragaman hayati di kawasan tersebut (Purnama et al., 2020).

Berikut merupakan beberapa contoh spesies terumbu karang yang ada di Indonesia:

1. *Acropora intermedia*



Gambar 1. *Acropora intermedia*

Acropora intermedia, yang berada dalam Kingdom *Animalia*, Phylum *Cnidaria*, Class *Anthozoa*, Ordo *Scleractinia*, Family *Acroporidae*, dan Genus *Acropora*, adalah spesies karang dengan koloni berbentuk percabangan arboresen yang kompak. Bagian ujung cabangnya selalu membentuk percabangan dengan axial koralit yang relatif panjang dan bukaan lebar. Radial koralit berbentuk tabung dengan bukaan dimidiate, sebagian tenggelam, dan tersebar merata secara teratur. *Konesteum reticulata* dengan beberapa duri di antara radial koralit. Spesies ini mampu bertahan hidup dari pesisir hingga batas tubir pesisir (Oppen et al., 2001; Purnama et al., 2020). Bentuk terumbu karang *Acropora intermedia* dapat dilihat pada Gambar 1.

2. *Acropora pulchra*



Gambar 2. *Acropora pulchra*

Acropora pulchra merupakan spesies karang yang termasuk dalam *Kingdom Animalia*, *Phylum Cnidaria*, *Class Anthozoa*, *Ordo Scleractinia*, *Family Acroporidae*, dan *Genus Acropora*. Berdasarkan buku identifikasi karang, koloni spesies ini dapat memiliki bentuk percabangan arboresen atau korimbosa, tergantung pada lingkungan tumbuhnya. Di perairan dangkal, *Acropora pulchra* cenderung membentuk percabangan korimbosa yang tebal, sedangkan di perairan yang lebih dalam, bentuknya berubah menjadi arboresen. Axial corallite spesies ini berbentuk tabung pendek, sementara radial corallite berbentuk tabung tebal, dengan beberapa lainnya tenggelam dan tersebar secara tidak teratur (Oppen et al., 2001; Purnama et al., 2020). Bentuk terumbu karang *Acropora pulchra* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.

3. *Montipora foliosa*



Gambar 3. *Montipora foliosa*

Montipora foliosa termasuk dalam *Kingdom Animalia*, *Phylum Cnidaria*, *Class Anthozoa*, *Ordo Scleractinia*, *Family Acroporidae*, dan *Genus Montipora*. Karang ini membentuk koloni berbentuk lembaran menyerupai jamur kuping dengan warna bervariasi, mulai dari coklat muda, abu-abu, hingga keunguan. *Montipora foliosa* memiliki pertumbuhan *submassive* dan memerlukan banyak cahaya matahari untuk fotosintesis. Laju pertumbuhannya bervariasi tergantung kedalaman, yaitu sekitar 8,94–11,33 mm/tahun pada kedalaman 4 meter dan 8,03–8,56 mm/tahun pada kedalaman 10 meter (Purnama et al., 2020). Bentuk terumbu karang *Montipora foliosa* seperti pada Gambar 3.

4. *Porites lobata*



Gambar 4. *Porites lobata*

Porites lobata termasuk dalam *Kingdom Animalia*, *Phylum Cnidaria*, *Class Anthozoa*, *Ordo Scleractinia*, *Family Poritidae*, dan *Genus Porites*. Karang ini membentuk koloni masif berukuran besar dengan permukaan kasar dan koralit besar yang memiliki kolumela serta septa bertentakel dua, berwarna coklat keabu-abuan. *Porites lobata* tumbuh di perairan berarus sedang agar tentakel polipnya dapat bergerak bebas dan memiliki ruang tumbuh yang cukup, serta terhindar dari pengaruh karang lain. Selain itu, karang ini membutuhkan sinar matahari yang cukup untuk fotosintesis, sehingga umumnya ditemukan di perairan dangkal. (Purnama et al., 2020). Bentuk terumbu karang *Porites lobata* seperti pada Gambar 4. Referensi utama pembuatan desain produk Coralify adalah terumbu karang jenis *Porites lobata*. *Porites lobata* dipilih karena strukturnya yang sederhana dan

kokoh, memudahkan proses produksi, serta dikenal tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan (Oppen et al., 2001).

2.2.3 Kerusakan Terumbu Karang

Kerusakan terumbu karang sering terjadi karena dua faktor utama yaitu aktivitas alam dan manusia. Namun, sebagian besar kerusakan terumbu karang disebabkan oleh aktivitas manusia. Penduduk di pesisir pantai yang bekerja sebagai nelayan sering mencari ikan di terumbu karang. Tidak jarang mereka menggunakan praktik-praktik penangkapan ikan yang merusak terumbu karang seperti jala ikan, pengeboman, listrik, bahan kimia beracun dan lain sebagainya. Selain itu penduduk pesisir pantai juga sering mengambil terumbu karang untuk digunakan sebagai bahan bangunan (Z. Ahmad et al., 2014; Luthfi, 2016).

Kerusakan terumbu karang yang terjadi menyebabkan penurunan jumlah terumbu karang di pesisir pantai. Hal ini menyebabkan ribuan ikan kehilangan habitatnya yang menyebabkan ekosistem terumbu karang terganggu. Selain itu, terumbu karang yang berperan sebagai pemecah ombak tidak lagi bekerja secara optimal. Hal ini menyebabkan terjadinya erosi di pesisir pantai. Dengan hilangnya ikan di terumbu karang membuat tangkapan ikan bagi para nelayan turun drastis, hal ini tentu merupakan hal yang merugikan baik untuk ekosistem terumbu karang dan juga nelayan di pesisir pantai (Z. Ahmad et al., 2014; Uar et al., 2016).

2.2.4 Terumbu Karang Buatan

Salah satu solusi untuk membantu pemulihan terumbu karang adalah dengan membuat terumbu karang buatan (*artificial reef*). Terdapat beberapa jenis terumbu karang buatan berdasarkan materialnya yaitu beton, besi, ban dan plastik. Beberapa produk terumbu karang buatan yang ada di antaranya reef star, terumbu beton, terumbu buatan kubus, *shipwreck reef*, *tire reef*, *X-shaped PVC artificial reefs* dan lain sebagainya (Al et al., 2023; Kusuma et al., 2023; Putra Basir et al., 2019; Sirait et al., 2021; Vida et al., 2024).

Metode restorasi terumbu karang pada terumbu karang buatan terdiri dari tiga jenis, yaitu transplantasi karang, *artificial reef deployment*, dan *biorock*. Transplantasi karang merupakan teknik perbanyakan koloni karang melalui proses fragmentasi, yang memanfaatkan kemampuan reproduksi alami karang (Alfiah et al., 2023). Fragmentasi adalah cara reproduksi karang secara

aseksual dengan memanfaatkan proses regenerasi potongan bagian indukan karang yang sehat. (Hanafi et al., 2024). Sebagian koloni karang yang sehat biasanya dipotong dan diikatkan pada terumbu karang buatan seperti *reef star* dan terumbu beton sebagai media tumbuh terumbu karang (Al et al., 2023; Vida et al., 2024). Metode *artificial reef deployment* merupakan metode restorasi ekosistem terumbu karang dengan memasukkan produk terumbu karang buatan seperti terumbu buatan kubus, *X-shaped PVC artificial reef*, *shipwreck reef*, dan *tire reef*, ke dalam air laut dengan kedalaman tertentu dan dibiarkan bertahun-tahun hingga alga tumbuh di terumbu karang buatan tersebut dan akhirnya akan menarik koloni karang untuk membangun ekosistem karang di terumbu karang buatan sebagai media bertumbuh (Al et al., 2023; Kusuma et al., 2023; Putra Basir et al., 2019). *Biorock* merupakan metode elektrolisis yang digunakan untuk membentuk terumbu karang buatan dengan mempercepat pengendapan mineral pada struktur logam di bawah air. Nama *biorock* juga digunakan untuk menyebutkan produk yang dihasilkan dari metode ini (SabdoNugroho et al., 2024).

Meskipun restorasi terumbu karang dengan Biorock lebih cepat dibandingkan metode lain, tetap butuh waktu lama karena pertumbuhan alami karang. Terumbu karang memerlukan 4-20 tahun untuk tumbuh menjadi dewasa (Kusuma et al., 2023; SabdoNugroho et al., 2024).

2.3 Sustainable Development Goals (SDGs)

Sustainable Development Goals (SDGs) merupakan 17 tujuan global yang ditetapkan oleh PBB pada tahun 2015 dengan tujuan mengakhiri kemiskinan, melindungi lingkungan, dan meningkatkan kesejahteraan manusia secara berkelanjutan hingga tahun 2030 (United Nations, 2015). 17 tujuan global SDGs sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5. 17 tujuan global dari program SDGs meliputi pengentasan kemiskinan, mengakhiri kelaparan, memastikan kehidupan sehat dan kesejahteraan, pendidikan berkualitas, kesetaraan gender, akses terhadap air bersih dan sanitasi, energi yang bersih dan terjangkau, pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, inovasi dan infrastruktur industri, mengurangi kesenjangan, menciptakan kota dan komunitas yang berkelanjutan, produksi dan konsumsi yang bertanggung jawab, mengatasi perubahan iklim, kehidupan bawah air, kehidupan di darat, perdamaian, keadilan, dan institusi yang kuat, serta kemitraan untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut.

Penelitian ini mendukung lima poin tujuan SDGs, di antaranya poin 9 tentang industri, inovasi, dan infrastruktur; poin 12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab; poin 13 tentang penanganan perubahan iklim; poin 14 tentang lautan dan ekosistem laut; dan poin 15 tentang ekosistem daratan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan produk baru yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan utama pembentuk produk. Penelitian ini mendorong inovasi dalam pengembangan produk berkelanjutan (poin 9) dan mempromosikan siklus hidup produk yang efisien (poin 12). Selain itu, penelitian ini berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi limbah plastik yang berbahaya bagi lingkungan (poin 13), serta mendukung pelestarian dan pemulihan ekosistem laut melalui aplikasi produk pada restorasi terumbu karang (poin 14). Penelitian ini juga mendukung pengelolaan ekosistem darat secara berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah plastik di daratan untuk mengurangi degradasi lingkungan (poin 15).



Gambar 5. 17 tujuan global SDGs

2.4 Material Produk Coralify

2.4.1 Plastik PET

Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah salah satu jenis plastik termoplastik yang sangat umum digunakan. PET adalah resin polimer dari kelompok poliester yang memiliki berbagai keunggulan, seperti sifat transparan, kuat, dan mudah didaur ulang (Singh, 2020). Plastik PET sering digunakan untuk kemasan minuman, botol air, kain sintetis, dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini, plastik jenis PET digunakan sebagai bahan utama produk Coralify. Hal ini bertujuan untuk permulaan pemanfaatan limbah plastik yang melimpah menjadi produk yang bermanfaat bagi lingkungan.

2.4.2 Biochar

Biochar merupakan material kaya karbon yang dihasilkan melalui pirolisis, yaitu proses pembakaran limbah organik dengan sedikit atau tanpa oksigen (Taylor, 2010). Biochar memiliki kemampuan untuk menyerap cemaran mikroplastik dalam air. Berbagai penelitian telah membuktikan keandalannya sebagai adsorben dalam mengendalikan cemaran mikroplastik di lingkungan perairan (Mulindwa et al., 2024; Syafitra et al., 2020). Dalam penelitian ini biochar digunakan sebagai salah satu bahan utama produk Coralify untuk mengendalikan cemaran mikroplastik yang mungkin akan ditimbulkan.

2.4.3 Resin

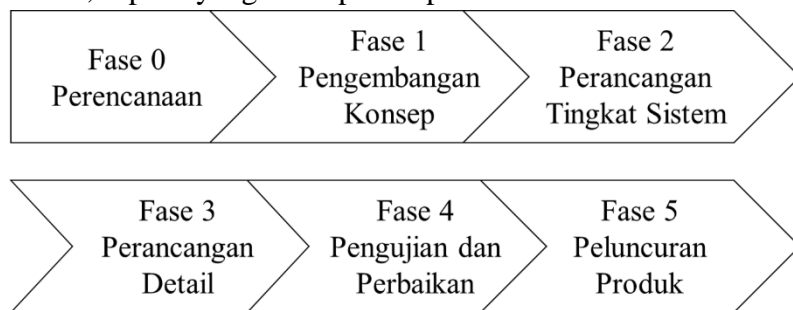
Resin merupakan senyawa organik atau campuran yang termasuk dalam polimer alami, dikenal sebagai terpen. Resin dapat berbentuk zat padat atau cairan kental yang dihasilkan oleh tumbuhan atau dibuat melalui sintesis kimia (Boer & Ella, 2000). Resin sering digunakan sebagai bahan penguat dalam berbagai produk karena sifat adhesifnya serta kemampuannya mengeras menjadi material yang kuat dan tahan lama (Kardiman & Rahmalina, 2023). Resin digunakan sebagai penguat produk Coralify dalam penelitian ini.

2.5 Enam Tahap Pengembangan Produk (Ulrich & Eppinger)

Menurut Ulrich dan Eppinger dalam buku *Product Design and Development*, perancangan dan pengembangan produk merupakan proses multidisiplin yang mencakup berbagai tahap, mulai dari perumusan konsep

hingga peluncuran produk. Proses ini mencakup identifikasi kebutuhan pelanggan, pengembangan konsep desain, perancangan detail, pengujian, serta produksi. Kolaborasi antarfungsi dalam organisasi, seperti pemasaran, desain industri, dan teknik, menjadi aspek utama dalam memastikan produk tidak hanya memenuhi kebutuhan pasar tetapi juga dapat diproduksi dan didistribusikan secara efisien (Ulrich & Eppinger, 2020).

Metode perancangan dan pengembangan produk yang dikembangkan oleh Ulrich dan Eppinger dalam bukunya terdiri dari enam fase terstruktur. Oleh karena itu, metode ini dikenal sebagai proses perancangan dan pengembangan produk enam fase, seperti yang ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Enam fase proses perancangan dan pengembangan produk

2.5.1 Perencanaan

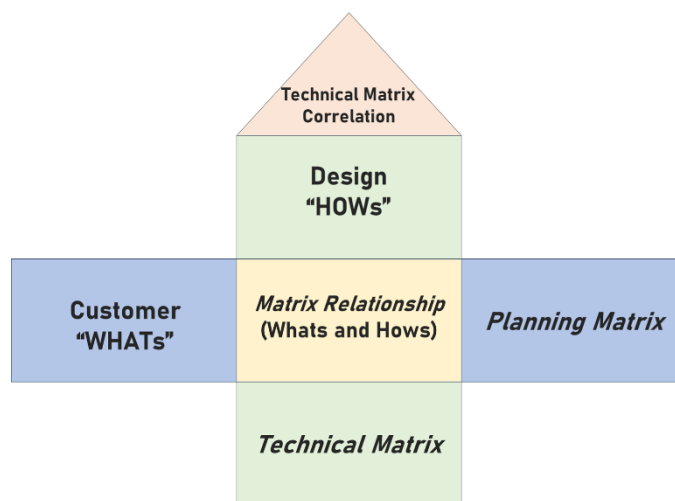
Fase ‘*zerofase*’ adalah tahap awal pengembangan produk yang mencakup persetujuan proyek dan langkah-langkah awal, bertujuan untuk memastikan kesepakatan semua pihak terhadap tujuan dan rencana sebelum pengembangan produk dimulai (Irvan, 2011; Ulrich & Eppinger, 2020). Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah pengumpulan data kebutuhan pengguna untuk penentuan spesifikasi awal produk yang menjadi luaran dari fase ini.

1 Quality Function Deployment (QFD)

Quality Function Deployment (QFD) adalah sebuah metode dalam manajemen kualitas yang bertujuan untuk mengubah kebutuhan dan keinginan pelanggan menjadi spesifikasi teknis yang dapat diukur dan diterapkan dalam proses pengembangan produk (Ulrich & Eppinger, 2020). Dalam proses pembuatan QFD, diperlukan input berupa data permintaan pelanggan yang bersifat kualitatif, seperti keamanan, kenyamanan, dan kemudahan penggunaan. QFD memungkinkan data kualitatif ini untuk diubah menjadi data

kuantitatif, yang kemudian digunakan untuk merancang respon teknis yang sesuai.

QFD diimplementasikan dengan mengembangkan sebuah matriks yang dikenal sebagai *House of Quality* (HOQ). HOQ adalah alat visual utama dalam *QFD* yang menunjukkan hubungan antara kebutuhan pelanggan dan spesifikasi teknis produk. HOQ membantu menetapkan prioritas dan bobot spesifikasi teknis berdasarkan kebutuhan pelanggan. Struktur langkah-langkah *QFD* dengan HOQ dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Langkah pengisian QFD dengan HOQ

2 *Voice of the customer* (VOC)

Voice of the customer (VOC) adalah istilah dalam bisnis yang menggambarkan proses mengidentifikasi kebutuhan pelanggan. VOC adalah langkah pertama dalam *QFD* untuk mengembangkan produk sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pelanggan. Data mengenai kebutuhan dan keinginan pelanggan dikumpulkan melalui berbagai metode seperti survei, wawancara, dan observasi (Griffin & Hauser, 1993).

3 Persyaratan Teknis

Persyaratan teknis adalah cara untuk memenuhi kebutuhan pelanggan yang diidentifikasi dalam VOC. Persyaratan ini harus bersifat kuantitatif agar dapat dievaluasi dengan jelas.

4 *Matrix Relationship*

Matrix relationship atau matriks relasi digunakan untuk mengukur pengaruh persyaratan teknis dari VOC. Hubungan dalam matriks ini dibagi menjadi empat jenis: hubungan kuat, hubungan sedang, hubungan lemah, dan tidak ada hubungan. Kolom kosong menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara persyaratan teknis dan persyaratan pelanggan terkait. Setiap kategori hubungan memiliki tanda yang berbeda untuk menunjukkan tingkat hubungan tersebut. Menurut Lupiyoadi (2013), tanda-tanda untuk keempat kategori hubungan ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Simbol hubungan

Simbol	Keterangan	Bobot
-	Tidak ada hubungan	0
■	Hubungan kuat	9
●	Hubungan sedang	3
▲	Hubungan lemah	1

5 *Planning Matrix*

Planning matrix atau Matriks perencanaan adalah alat yang digunakan untuk merencanakan dan memprioritaskan berbagai aspek dalam perancangan produk berdasarkan kebutuhan pelanggan. Komponen dalam *planning matrix* di antaranya:

a. *Importance to Customer*

Importance to Customer digunakan untuk memahami tingkat kepentingan yang paling diperhatikan oleh calon pelanggan dengan menggunakan skala likert 1-4 dengan kriteria 1 (sangat tidak penting), 2 (tidak penting) 3 (penting) dan 4 (sangat penting), semakin tinggi nilainya maka semakin tinggi tingkat kepentingannya. Penilaian kepentingan produk dilakukan secara subjektif terhadap atribut-atribut produk Coralify yang dirancang. *Importance to Customer* didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) (Zulkarnain et al., 2023).

$$\text{Importance to Customer} = \frac{\sum \text{Score of Importance Scale}}{\sum \text{Number of Responden}} \quad (1)$$

b. *Current Satisfaction Performance*

Current Satisfaction Performance (CSP) adalah metrik yang digunakan untuk mengukur tingkat kepuasan konsumen saat ini

terhadap produk yang telah beredar di pasar. Dalam penelitian ini, CSP digunakan untuk mengevaluasi tingkat kepuasan konsumen terhadap produk *concrete artificial reefs* atau terumbu karang buatan yang terbuat dari semen, guna memahami sejauh mana produk ini memenuhi harapan pelanggan terkait kekuatan, daya tahan, dan efektivitasnya dalam mendukung ekosistem laut. *Performance weight* (PW) didapatkan dengan menggunakan persamaan (2) (Lukmantoro, 2022).

$$PW = \text{Number of responden} \times \text{Performance scale} \quad (2)$$

Performance Scale (PS) adalah nilai tingkat kepuasan pengguna pada produk yang ada di pasar, Sedangkan *Number of Responden* (NR) adalah jumlah responden yang disurvei. Dalam penelitian ini, Nilai NR dan PS didapatkan melalui survei penilaian kepuasan konsumen terhadap produk *concrete artificial reefs* kepada responden penelitian. Skala penilaian yang diberikan yaitu skala 1-4 dengan kriteria 1 (sangat tidak puas), 2 (tidak puas), 3 (puas), dan 4 (sangat puas).

Current Satisfaction Performance (CSP) dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$CSP = \frac{\sum \text{Performance weight}}{\sum \text{Number of responden}} \quad (3)$$

c. *Goal*

Goal digunakan untuk mengetahui atribut kuesioner yang paling diharapkan pelanggan agar dapat memenuhi ekspektasi mereka, semakin tinggi nilainya, semakin tinggi ekspektasi pelanggan terhadap atribut tersebut. Ekspektasi ini diukur dengan skala 1-4: (1 = sangat tidak diharapkan), (2 = tidak diharapkan), (3 = diharapkan), (4 = sangat diharapkan). Cara untuk menghitung nilai *goal* menggunakan persamaan (4).

$$\text{Goal} = \frac{(\text{Number of responden} \times \text{Goal scale})}{\sum \text{Number of responden}} \quad (4)$$

d. *Improvement Ratio (IR)*

Improvement ratio digunakan untuk menunjukkan sejauh mana perbaikan atau peningkatan yang diperlukan dalam pengembangan produk. Cara untuk menghitung nilai *improvement ratio* dapat menggunakan persamaan (5).

$$\text{Improvement Ratio} = \frac{\text{Goal}}{\text{Current Satisfaction Performance}} \quad (5)$$

Semakin tinggi nilai rasionya, semakin penting untuk dilakukan perbaikan. Jika hasilnya mencapai $\geq 1,5$, maka artinya memerlukan perbaikan menyeluruh, karena batas nilai $\geq 1,5$ menunjukkan bahwa target yang ingin dicapai 50% (atau lebih) lebih tinggi dari kinerja saat ini (Akao, 2024).

e. *Sales Point (SP)*

Sales point adalah faktor pembobotan yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kepentingan suatu atribut produk dalam memengaruhi keputusan pembelian pelanggan. Pemberian nilai *sales point* dilakukan oleh pengembang produk. Nilai *sales point* terdiri dari: 1 = tidak ada *sales point*, 1,2 = *sales point* sedang, dan 1,5 = *sales point* kuat.

f. *Raw weight* dan *normalized raw weight*

Nilai *raw weight* menunjukkan seberapa besar perbaikan produk yang harus dilakukan. *Normalisasi raw weight* dilakukan untuk memastikan konsistensi dan keseragaman dalam analisis data dengan mengubah bobot *raw weight* (RW) menjadi nilai antara 0 dan 1. Cara untuk melakukan perhitungan *raw weight* (RW) menggunakan persamaan (6).

$$RW = importance\ to\ customers \times IR \times SP \quad (6)$$

Cara untuk menghitung nilai *normalized raw weight* (NRW) menggunakan persamaan (7).

$$NRW = \frac{Raw\ Weight}{Raw\ Weight\ Total} \quad (7)$$

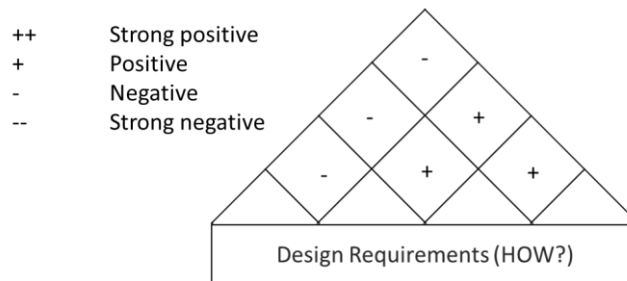
6 Tingkat Kepentingan

Tabel kepentingan digunakan untuk menentukan prioritas respon teknis dan membantu mengidentifikasi kontribusi terbesar dalam peningkatan kualitas layanan. Perusahaan harus memprioritaskan pengembangan pada respon teknis tersebut. Data diambil dari kuesioner pelanggan dengan skala 1-4 untuk tingkat kepentingan. Nilai ini kemudian dikalikan dengan bobot kekuatan hubungan respon teknis yang terdapat pada Tabel 3, lalu dijumlahkan untuk menentukan tingkat kepentingan respon teknis.

7 Matriks Korelasi Persyaratan Teknis

Matriks korelasi persyaratan teknis adalah bagian atas dari HOQ yang menunjukkan hubungan antara berbagai respon teknis. Tujuan matriks ini adalah untuk mengetahui bagian mana dari respon teknis

yang saling mendukung dan bagian mana yang tidak. Korelasi tersebut diklasifikasikan menjadi sangat positif, positif, negatif, dan sangat negatif. Jenis-jenis hubungan antara persyaratan teknis dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Matriks korelasi

Bernal *et al.* (2009)

Penentuan hubungan korelasi antara respon tenis dengan respon teknis lainnya dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Simbol matriks korelasi

No	Simbol	Keterangan
1	++	Berhubungan sangat kuat
2	+	Berhubungan
3	-	Tidak berhubungan
4	--	Sangat tidak berhubungan

Dalam *technical matrix*, menentukan prioritas teknik untuk meningkatkan daya saing dan menetapkan target persyaratan teknis adalah proses yang penting. Prioritas teknik ini digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan karakteristik teknik. Nilai kontribusi dihitung menggunakan persamaan (8).

$$\text{Contributions} = \sum[(\text{Relationship}) \times (\text{Normalized Raw Weight})] \quad (8)$$

Normalized contributions didapatkan dengan menggunakan persamaan (9).

$$\text{Normalized Contribution} = \frac{\text{Contributions}}{\text{Contributions Total}} \quad (9)$$

2.5.2 Pengembangan Konsep

Pengembangan konsep adalah fase di mana ide-ide awal dikembangkan menjadi konsep yang lebih terstruktur dan dapat dianalisis lebih lanjut sebelum melangkah ke tahapan desain dan pengembangan lebih lanjut (Irvan, 2011;

Ulrich & Eppinger, 2020; Wiraghani & Prasnowo, 2017). Pada tahap ini dilakukan *brainstorming* ide berupa pengembangan beberapa konsep desain produk (Hariastuti & Lukmandono, 2017). Pada tahap ini, data spesifikasi awal produk menjadi acuan utama untuk merancang konsep desain produk. Proses *brainstorming* ide dimulai dengan menginterpretasikan data spesifikasi awal dari HOQ ke dalam moodboard. Moodboard adalah kolase visual yang digunakan untuk menginspirasi dan mengkomunikasikan konsep atau gaya desain. Biasanya, moodboard berisi gambar, warna, teks, dan objek lain yang menggambarkan tema atau gaya desain yang ingin dicapai (Anggarini et al., 2020; Khasanah, 2019). Kemudian moodboard digunakan sebagai acuan pembuatan desain produk Coralify. Desain produk Coralify dibuat menjadi beberapa konsep desain kemudian ditentukan desain terbaik pada tahap evaluasi konsep.

Evaluasi konsep adalah proses pemilihan konsep desain terbaik berdasarkan beberapa aspek tertentu yang terkait dengan produk, seperti kemudahan proses produksi, biaya, keberlanjutan produk, dan aspek lainnya. Weighted decision matrix digunakan sebagai alat untuk melakukan evaluasi konsep. Weighted decision matrix adalah metode kuantitatif yang menyediakan beberapa pilihan yang akan dibandingkan, baik ide maupun proyek, menggunakan berbagai kriteria untuk dinilai (Peranginangin & Vincent, 2022). Responden penelitian diikutsertakan dalam pemilihan konsep desain dengan tujuan agar konsep desain yang dipilih benar-benar sesuai dengan preferensi pengguna dan kebutuhan produk (Harlim & Setiyawati, 2022; Peranginangin & Vincent, 2022).

Tabel *weighted decision matrix* dapat dilihat pada Tabel 5. Responden penelitian dibagi menjadi dua pihak, pertama adalah pihak produksi dan calon pengguna. Pihak produksi akan memberikan bobot dan penilaian pada masing-masing konsep untuk kriteria biaya produksi, kemudahan produksi, dan kemudahan mobilisasi, karena dianggap memiliki pemahaman produk dari aspek proses produksi. Calon pengguna akan memberikan bobot dan penilaian pada masing-masing konsep untuk kriteria ketahanan produk dan fungsi sebagai tempat tinggal biota laut, karena dianggap memiliki pemahaman produk dari aspek kebermanfaatan produk. Pemberian nilai bobot dilakukan dengan memberikan nilai persentase dengan skala 1% hingga 100% dan nilai pada konsep desain produk Coralify dilakukan dengan memberikan skala likert 1-4 dengan kriteria: sangat tidak baik (1), tidak baik (2), baik (3), sangat baik

(4). Pada perhitungan *weighted decision matrix*, nilai konsep terbobot didapatkan dengan persamaan (10), yaitu:

$$\text{konsep terbobot} = \text{nilai sketsa} \times \text{bobot} \quad (10)$$

Nilai rata-rata konsep didapatkan dengan persamaan (11), yaitu:

$$\text{rata - rata konsep} = \frac{\sum \text{nilai sketsa terbobot}}{\sum \text{data nilai sketsa terbobot}} \quad (11)$$

Pemeringkatan konsep ditentukan secara hierarkis berdasarkan nilai tertinggi sampai terendah.

Tabel 5. Format *weighted decision matrix*

Kriteria	Bobot	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3
Biaya produksi				
Kemudahan produksi				
kemudahan mobilisasi				
Ketahanan produk (dari sisi desain)				
Fungsi sebagai tempat tinggal biota laut lainnya				
Nilai rata-rata				
Peringkat				

Luaran dari evaluasi konsep adalah konsep alternatif desain terbaik yang akan digunakan untuk *input* pada tahap perancangan tingkat sistem.

2.5.3 Perancangan Tingkat Sistem

Perancangan tingkat sistem adalah tahap dalam pengembangan produk di mana gambaran besar dari sistem atau produk secara keseluruhan dirancang (Ulrich & Eppinger, 2020). Dalam penelitian ini dilakukan empat tahap utama, yaitu:

1 Arsitektur Produk

Arsitektur produk adalah kerangka dasar yang menentukan bagaimana sebuah produk dibangun, termasuk komponen-komponen utamanya dan bagaimana komponen-komponen tersebut saling berinteraksi.

2 Spesifikasi Komponen Produk

Spesifikasi komponen produk adalah rincian yang menggambarkan karakteristik teknis dari setiap bagian yang membentuk produk secara keseluruhan.

3 Diagram Arsitektur Produk

Diagram arsitektur adalah tata letak kasar dari produk yang memastikan integrasi yang baik dari semua komponen dan subsistem. Diagram ini menunjukkan bagaimana komponen utama produk Coralify terhubung dan bekerja sama untuk membentuk terumbu karang buatan yang stabil dan fungsional.

4 Alur Produksi

Alur produksi adalah proses dan urutan langkah-langkah yang diperlukan untuk menghasilkan produk. Alur produksi produk Coralify mencakup pengumpulan bahan baku, persiapan alat, dan proses produksi yang disusun berdasarkan langkah-langkah yang diperlukan dalam pembangunan produk Coralify dari awal hingga akhir.

2.5.4 Perancangan Detail

Perancangan detail adalah tahap di mana spesifikasi teknis produk disusun dengan sangat rinci, sehingga produk siap untuk diproduksi dan diuji. Pada tahap ini, model produk dirancang dengan detail, sesuai dengan konsep desain yang dipilih pada fase pengembangan konsep. Selanjutnya, dilakukan perancangan prototipe produk nyata sesuai dengan model produk yang telah dirancang (Peranginangin & Vincent, 2022; Ulrich & Eppinger, 2020).

2.5.5 Pengujian dan Perbaikan

Fase pengujian dan perbaikan adalah tahap dalam pengembangan produk di mana prototipe yang telah dibuat diuji untuk memastikan bahwa produk memenuhi semua spesifikasi dan persyaratan yang telah ditetapkan. Dalam konsep enam fase proses perancangan dan pengembangan produk, terdapat tahap perbaikan. Pada tahap ini, berdasarkan hasil pengujian, perbaikan dilakukan pada desain atau proses produksi untuk mengatasi masalah yang ditemukan, kemudian dilakukan pengujian ulang (Irvan, 2011; Ulrich & Eppinger, 2020). Dalam penelitian ini, hanya tahap pengujian yang dilakukan, sementara tahap perbaikan tidak dilakukan. Faktor biaya dan waktu penelitian menjadi alasan utama mengapa fase ini tidak dilaksanakan.

Limbah plastik di laut akan menyebabkan pencemaran mikroplastik seiring waktu, yang berbahaya bagi ekosistem laut. (Hasibuan, 2016). Fakta tersebut menunjukkan bahwa produk Coralify berpotensi untuk menimbulkan

cemaran mikroplastik karena bahan utama produk ini adalah plastik dan akan diaplikasikan ke ekosistem terumbu karang di dalam laut. Hal ini tentu akan mengancam ekosistem terumbu karang jika produk Coralify digunakan. Oleh karenanya penting melakukan pengujian produk Coralify untuk memastikan produk ini aman untuk ekosistem terumbu karang.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan prototipe produk Coralify dengan formulasi bahan yang berbeda-beda dan dilakukan uji cemaran mikroplastik di air laut menggunakan metode gravimetri dan metode Anova untuk menguji hipotesis penelitian dan mengetahui apakah ada perbedaan signifikan tingkat cemaran mikroplastik pada masing-masing formulasi yang dibuat. Luaran dari pengujian ini adalah kesimpulan apakah produk Coralify menimbulkan cemaran mikroplastik dan apakah ada perbedaan signifikan pada masing-masing produk Coralify.

1 *Casting*

Casting atau pengecoran adalah proses manufaktur di mana bahan cair dituangkan ke dalam cetakan dan dibiarkan mengeras untuk membentuk objek (Dieter, 1987). Beberapa jenis material yang sering digunakan dalam proses *casting* seperti logam, plastik, dan semen (Olson, 2024). Dalam penelitian ini digunakan metode *casting* untuk membuat produk Coralify.

2 Gravimetri

Gravimetri adalah metode analisis kuantitatif dalam kimia yang digunakan untuk menentukan jumlah suatu zat dalam sampel berdasarkan pengukuran massa (Fatimah et al., 2009). Dalam metode ini, zat yang dianalisis diendapkan, dikeringkan, dan kemudian ditimbang. Metode ini dikenal karena keakuratannya dalam mengukur kandungan spesifik suatu zat dalam sampel (Noviyanty & Fazihkun, 2020; Supriyo & Noviana, 2023). Dalam penelitian ini, metode gravimetri digunakan untuk menguji kadar mikroplastik di sampel air laut yang telah dijadikan bahan implementasi uji produk Coralify.

3 *Analysis of Variance* (Anova)

Analysis of Variance (Anova) adalah teknik statistik yang digunakan untuk menentukan kontribusi dari setiap faktor pada hasil akhir dan membandingkan rata-rata dari tiga atau lebih kelompok untuk mengetahui perbedaan signifikan di antara

mereka melalui penghitungan statistik uji F-rasio. Hipotesis nol (H_0) menyatakan bahwa rata-rata semua kelompok adalah sama, misalnya $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0$. Untuk menguji H_0 , sampel diambil secara acak dari setiap kelompok dan ukuran variabel dependen ditetapkan. Kemudian, dilakukan analisis untuk melihat apakah ukuran-ukuran tersebut berbeda secara signifikan antar kondisi. Jika perbedaan signifikan ditemukan, H_0 ditolak. Seperti pada uji statistik lainnya, H_0 ditolak ketika statistik uji (F-rasio) melebihi nilai kritis F dari tabel dengan tingkat kepercayaan tertentu, atau ketika *p-value* lebih rendah dari 0,05 jika menggunakan tingkat kepercayaan 95%. Anova membantu menentukan apakah variasi dalam data dapat dijelaskan oleh faktor-faktor yang diuji (Fisher, 1954).

Anova satu arah adalah jenis Anova yang digunakan untuk menilai perbedaan antara dua kelompok atau lebih berdasarkan satu faktor (Fisher, 1954). Metode Anova satu arah digunakan untuk menguji perbedaan signifikan antara masing-masing formulasi produk Coralify terhadap cemaran mikroplastik pada air laut.

Sebelum melakukan uji Anova, penting untuk melakukan uji normalitas dan homogenitas. Uji normalitas bertujuan untuk menentukan apakah data sampel berasal dari distribusi normal atau tidak. Hal ini penting karena Anova adalah metode statistik parametrik yang mengasumsikan bahwa data sampel diambil dari populasi yang berdistribusi normal; jika asumsi ini tidak terpenuhi, hasil Anova mungkin tidak akurat atau valid. Di sisi lain, uji homogenitas varians digunakan untuk menentukan apakah variabilitas di dalam kelompok-kelompok data adalah sama. Ini penting karena Anova juga mengasumsikan bahwa varians dari populasi yang dibandingkan adalah homogen atau sama; jika varians antar kelompok berbeda signifikan, hasil Anova bisa bias dan tidak dapat diandalkan (Usmadi, 2020).

2.5.6 Peluncuran Produk

Fase peluncuran produk adalah tahap terakhir dalam proses pengembangan produk, yang meliputi persiapan, aktivitas peluncuran, dan evaluasi pasca peluncuran. Namun dalam penelitian ini, proses perancangan

produk dibatasi hanya pada tahap pengujian. Faktor waktu dan biaya jadi alasan utama pembatasan penelitian.