

REKLAMASI PANTAI :

Pengembangan Pelabuhan Dan Terminal

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta:

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta Manajemen Strategik rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/ atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/ atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/ atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 1.000.000.000,- (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,- (empat miliar rupiah).

Reklamasi Pantai : Pengembangan Pelabuhan dan Terminal

REKLAMASI PANTAI :

Pengembangan Pelabuhan Dan Terminal

Dr. Ir. Ashury Djamaluddin., ST., MT.



Reklamasi Pantai : Pengembangan Pembangunan Pelabuhan dan Terminal

REKLAMASI PANTAI :

Pengembangan Pelabuhan Dan Terminal

Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Diva Pustaka
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang All Rights Reserved
Hak penerbitan pada Penerbit Diva Pustaka
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau
seluruh isi buku ini tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Cetakan Pertama : Agustus 2025
15,5 cm x 23 cm

ISBN : 978-634-7278-78-4

Penulis : Dr. Ir. Ashury Djamaluddin., ST., MT.
Desain cover : Sendi Gustiawan Saputra
Tata Letak : Agam Damar S

Diterbitkan Oleh: CV. Diva Pustaka

Anggota IKAPI : No. 222/JTE/2021

E-mail : divapustaka@gmail.com
Website : www.divapustaka.co.id
Whatsapp : 0813-3144-1992

Perum Mutiara Regency 2 Blok D7
Kelurahan Wirasana Kecamatan Purbalingga
Kabupaten Purbalingga – Jawa Tengah 53318

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, naskah dengan judul “Perencanaan dan Pelaksanaan Pengerukan Pelabuhan” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pelabuhan merupakan simpul vital dalam mendukung aktivitas maritim, perdagangan, serta pertumbuhan ekonomi nasional maupun global. Seiring perkembangan teknologi dan peningkatan ukuran kapal, kebutuhan akan kedalaman dan kapasitas pelabuhan semakin mendesak. Oleh karena itu, pengerukan menjadi salah satu disiplin rekayasa yang sangat penting dalam menjaga kelancaran keberlanjutan fungsi infrastruktur pelabuhan.

Naskah ini disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai aspek-aspek mendasar dalam pengerukan, mulai dari definisi, tujuan, serta manfaat pengerukan, hingga tahapan perencanaan, survei dan investigasi, analisis karakteristik material, serta metode pelaksanaan. Buku ini juga hadir untuk digunakan sebagai buku ajar dengan mata kuliah “Pengerukan dan Reklamasi”.

Kami menyadari bahwa penyusunan naskah ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat nyata, menambah wawasan, kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik pengerukan di Indonesia.

Makassar, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
BAB1 REKLAMASI PEMBANGUNAN PELABUHAN.....	1
1.1. KONSEP REKLAMASI.....	1
1.1.1. Definisi Reklamasi.....	1
1.1.2. Tujuan Reklamasi.....	5
1.1.3. Reklamasi Solusi Keterbatasan Lahan Darat.....	7
1.1.4. Pengembangan Pelabuhan Baru.....	10
1.2. SEJARAH DAN EVOLUSI TEKNIK REKLAMASI.....	12
1.2.1. Tinjauan Global: Dari Proyek Awal di Belanda dan Jepang hingga Proyek Modern.....	12
1.2.2. Perkembangan di Indonesia.....	17
1.2.3. Evolusi Teknologi dan Material dalam Praktik Reklamasi.....	20
1.3. PERAN STRATEGIS REKLAMASI DALAM PEMBANGUNAN INFRA- STRUKTUR MARITIM.....	23
1.3.1 Mendukung Program Tol Laut.....	24
1.3.2. Peningkatan Kapasitas Pelabuhan dan Daya Saing Nasional.....	27
BAB 2 LANDASAN HUKUM REKLAMASI.....	31
2.1. PERATURAN PERUNDANGAN TERKAIT REKLAMASI.....	31
2.1.1. Undang-Undang Pokok.....	32
2.1.2. Peraturan Pemerintah dan Peraturan Presiden.....	38
2.1.3. Peraturan Menteri.....	44
2.2. PROSES PERIZINAN REKLAMASI.....	46
2.3. PERAN DAN KEWENANGAN PEMERINTAH PUSAT DAN DAERAH DALAM REGULASI	52

2.3.1. Kewenangan Pemerintah Pusat (Kementerian Perhubungan, KKP, KLHK).....	53
2.3.2. Kewenangan Pemerintah Daerah (Provinsi dan Kabupaten/Kota).....	55
BAB 3 DASAR-DASAR TEKNIK PANTAI	57
3.1. PENDAHULUAN.....	57
3.2. PANTAI.....	59
3.3. PROSES DINAMIKA PANTAI.....	64
3.4. EROSI DAN AKRESI.....	65
3.4.1. Erosi Pantai.....	66
3.4.2. Akresi Pantai.....	68
3.5. STRUKTUR PERLIDUNGAN PANTAI.....	70
3.5.1. Struktur Keras.....	70
3.5.2. Struktur Lunak.....	74
3.6. INTERAKSI LAUT DAN STRUKTUR BUATAN	77
3.6.1. Gaya-Gaya Laut yang Berinteraksi dengan Struktur	78
3.6.2. Jenis Interaksi dan Respons Struktur	80
3.6.3. Efek Jangka Panjang terhadap Lingkungan	83
3.6.4. Strategi Desain Adaptif dan Berbasis Risiko.....	85
3.6.5. Studi Kasus Interaksi Laut-Struktur.....	88
BAB 4 INVESTIGASI LAPANGAN.....	91
4.1. INVESTIGASI GEOTEKNIK.....	91
4.1.1. Pengeboran Bawah Laut (Marine Boring)	92
4.1.2. Sondir (CPT).....	93
4.1.3. Uji Laboratorium Sampel Tanah.....	96
4.2. SURVEI BATIMETRI.....	98
4.2.1. Prinsip dan Teknologi Echosounding.....	99
4.2.2. Pembuatan Peta Kontur Dasar Laut.....	102

4.3. STUDI <i>HIDRO-OSEANOGRAFI</i>	104
4.3.1. <i>Pasang Surut (Tides)</i>	105
4.3.2. <i>Pengukuran dan Pemodelan Arus</i>	107
4.3.3. <i>Studi Gelombang (Waves)</i>	109
BAB 5 PERANCANGAN STRUKTUR PELINDUNG DAN PENAHAN TANAH	115
5.1. JENIS-JENIS STRUKTUR PELINDUNG	115
5.1.1. <i>Revetment</i>	115
5.1.2. <i>Seawall (Dinding Laut)</i>	118
5.1.3. <i>Breakwater (Pemecah Gelombang)</i>	120
5.2. DESAIN STRUKTUR PENAHAN TANAH.....	122
5.2.1. DINDING PENAHAN TIPE GRAVITASI (GRAVITY RETAINING WALL).....	123
5.2.2. <i>Dinding Penahan Tipe Kantilever (Cantilever Retaining Wall)</i>	124
5.2.3. <i>Dinding Turap (Sheet Pile Wall)</i>	126
5.3. ANALISIS TEKanan TANAH DAN DESAIN PONDASI	128
5.3.1. <i>Tekanan Tanah Lateral Aktif dan Pasif</i>	128
5.3.2. <i>Desain Fondasi untuk Struktur Penahan</i>	130
5.4. ANALISIS STABILITAS STRUKTUR TERHADAP BEBAN LINGKUNGAN.....	132
5.4.1. <i>Analisis Stabilitas Geser, Guling, dan Daya Dukung Tanah</i>	133
5.4.2. <i>Analisis Stabilitas Struktur terhadap Gerusan (Scouring)</i>	136
5.4.3. <i>Analisis Stabilitas Lereng dan Stabilitas Internal</i>	138
BAB 6 PEMILIHAN MATERIAL TIMBUNAN DAN SUMBER-NYA	141
6.1. KARAKTERISTIK TEKNIS MATERIAL TIMBUNAN.....	141
6.1.1. <i>Pasir dan Kerikil (Material Granular)</i>	143
6.1.2. <i>Material Hasil Keruk (Dredged Material)</i>	145

6.1.3. Uji Laboratorium untuk Kelayakan Material Timbunan	147
6.2. LOKASI SUMBER MATERIAL (<i>BORROW AREA</i>)	149
6.2.1. Metode Survei untuk Identifikasi Potensi	151
6.2.2. Perhitungan Volume Cadangan	155
6.3. PERTIMBANGAN LINGKUNGAN DAN EKONOMI	157
6.3.1. Dampak Lingkungan dan Sosial	158
6.3.2. Analisis Biaya Eksplorasi, Ekstraksi, dan Transportasi Material	161
BAB 7 METODE PELAKSANAAN REKLAMASI	163
7.1. METODE HIDROLIS (<i>HYDRAULIC FILL</i>)	163
7.1.1. Penggunaan Kapal Cutter Suction Dredger	166
7.1.2. Penggunaan Kapal Trailing Suction Hopper Dredger	169
7.2. METODE MEKANIS (<i>MECHANICAL FILL</i>)	172
7.2.1. Penggunaan Tongkang (<i>Barge</i>) dan Alat Berat Darat	173
7.2.2. TEKNIK PENIMBUNAN LAPIS PER LAPIS DAN PEMADATAN-NYA	177
7.3. PERBANDINGAN SETIAP METODE	179
7.3.1. Analisis Faktor Pemilihan Metode	181
7.3.2. Metode Kombinasi	182
BAB 8 TEKNIK PERBAIKAN TANAH	185
8.1. PERMASALAHAN TANAH LUNAK PADA LAHAN HASIL REKLAMASI	185
8.2. METODE-METODE PERBAIKAN TANAH KONVENSIONAL	190
8.2.1. Pembebanan Awal dengan Drainase Vertikal Prefabrikasi (<i>Preloading with PVD</i>)	192
8.2.2. Pemadatan Getar (<i>Vibro Compaction</i>)	197
8.2.3. Kolom Batu (<i>Stone Columns</i>)	201
8.3. INSTRUMEN DAN METODE PEMANTAUAN PROSES KONSOLIDASI	204
8.3.1. Instrumen Pemantauan Utama	206

8.3.2. Analisis Data dan Kriteria Keberhasilan.....	210
BAB 9 TEKNOLOGI PEMADATAN TANAH.....	213
9.1. INOVASI DALAM TEKNOLOGI PEMADATAN TANAH.....	213
9.1.1. Pemadatan Dinamis (<i>Dynamic Compaction - DC</i>).....	213
9.1.2. Pemadatan Impak Cepat (<i>Rapid Impact Compaction - RIC</i>).....	215
9.1.3. Pembebanan Awal Vakum (<i>Vacuum Preloading</i>).....	217
9.2. PENGGUNAAN GEOSINTETIK DALAM KONSTRUKSI REKLAMASI.....	219
9.2.1. Geotekstil (<i>Geotextile</i>).....	220
9.2.2. Geogrid.....	222
9.2.3. Geokomposit (<i>Geocomposite</i>).....	223
9.3. SISTEM MONITORING CERDAS DAN <i>REAL-TIME</i>	224
9.3.1. PEMANFAATAN SENSOR SERAT OPTIK.....	226
9.3.2. PEMANFAATAN SENSOR FIBER OPTIK DAN IoT.....	228
BAB 10 STUDI KASUS PERENCANAAN REKLAMASI.....	231
10.1. TERMINAL PETI KEMAS KALIBARU.....	231
10.1.1. Urgensi Pengembangan.....	232
10.1.2. Tantangan Perencanaan dan Perizinan.....	234
10.1.3. Solusi Teknis dan Lingkungan.....	237
10.1.4. Hasil yang Diperoleh.....	240
10.2. PELABUHAN PATIMBAN, SUBANG.....	242
10.2.1. Sebagai Pelabuhan Strategis Nasional.....	243
10.2.2. Aspek Perencanaan Makro dan Pendanaan.....	245
10.2.3. Inovasi Teknologi Reklamasi.....	248
10.2.4. Manajemen Dampak Sosial-Ekonomi dan Lingkungan.....	251
REFERENCES.....	255
PROFILE PENULIS.....	260



BAB1

REKLAMASI PEMBANGUNAN PELABUHAN

1.1. Konsep Reklamasi

1.1.1. Definisi Reklamasi

Reklamasi, dalam konteks rekayasa pesisir dan pelabuhan, dapat didefinisikan sebagai suatu proses rekayasa yang bertujuan untuk mengubah area perairan, seperti laut dangkal, rawa pesisir, atau danau, menjadi daratan baru yang stabil dan fungsional. Proses ini secara esensial adalah kegiatan penimbunan (*filling*) yang terkontrol pada suatu area perairan hingga elevasinya melampaui muka air laut tertinggi, sehingga membentuk lahan kering yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pembangunan (Bray & Tatham, 2017). Secara yuridis di Indonesia, definisi reklamasi juga tertuang dalam

Peraturan Presiden Nomor 122 Tahun 2012 tentang Reklamasi di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, yang menyebutkan bahwa reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan oleh orang dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan, atau drainase (Presiden Republik Indonesia, 2012). Meskipun definisi yuridis ini bersifat lebih umum, dalam lingkup buku ini, fokus reklamasi diarahkan secara spesifik pada penciptaan lahan untuk pembangunan dan pengembangan infrastruktur pelabuhan.



Gambar 1.1. Aktivitas pengerukan di pelabuhan

(Sumber: International Association of Dredging Companies (IADC), 2018 (www.iadc-dredging.com))

Kegiatan ini bukanlah sekadar menimbun material ke laut. Reklamasi modern merupakan sebuah disiplin ilmu rekayasa yang kompleks, melibatkan serangkaian tahapan yang sistematis, mulai dari investigasi lapangan yang mendalam, analisis lingkungan yang komprehensif, perancangan struktur penahan dan pelindung yang kokoh, pemilihan metode pelaksanaan yang efisien, hingga teknik perbaikan tanah (ground

improvement) untuk memastikan stabilitas jangka panjang lahan yang terbentuk. Keberhasilan sebuah proyek reklamasi diukur tidak hanya dari terbentuknya daratan baru, tetapi juga dari kemampuannya untuk berfungsi sesuai tujuan peruntukannya dengan dampak negatif yang minimal terhadap ekosistem sekitar (MarCom Working Group 121, 2014).

Konteks pesisir menjadi latar belakang utama mengapa reklamasi menjadi sebuah opsi rekayasa yang krusial. Wilayah pesisir merupakan zona yang sangat dinamis, tempat bertemunya interaksi kompleks antara daratan, laut, dan atmosfer. Proses-proses fisik seperti pasang surut, arus, gelombang, dan transpor sedimen secara konstan membentuk dan mengubah morfologi garis pantai. Di sisi lain, wilayah pesisir juga merupakan pusat aktivitas manusia yang paling intensif di dunia. Lebih dari separuh populasi global tinggal di wilayah pesisir, dan area ini menjadi lokasi bagi kota-kota besar, pusat industri, dan tentu saja, infrastruktur vital seperti pelabuhan (Duxbury & Dick, 2007). Tekanan demografis dan ekonomi ini sering kali menimbulkan konflik pemanfaatan ruang yang signifikan, di mana kebutuhan akan lahan untuk pembangunan berbenturan langsung dengan keterbatasan lahan darat yang tersedia.

Dalam konteks inilah reklamasi hadir sebagai salah satu instrumen rekayasa dalam manajemen wilayah pesisir. Ketika ekspansi ke arah darat (inland) menjadi tidak memungkinkan—baik karena kendala geografis, biaya pembebasan lahan yang prohibitif, maupun isu sosial yang kompleks—maka ekspansi ke arah laut (offshore) melalui reklamasi menjadi alternatif yang logis dan strategis. Pelabuhan, sebagai gerbang utama perdagangan dan logistik suatu negara, secara inheren harus berlokasi di garis pantai. Pertumbuhan volume perdagangan global yang didorong oleh globalisasi menuntut pelabuhan yang lebih besar, lebih

dalam, dan lebih efisien untuk dapat melayani kapal-kapal generasi baru dengan kapasitas angkut yang masif, seperti kelas Ultra Large Container Vessel (ULCV). Kebutuhan akan terminal peti kemas yang lebih luas, lapangan penumpukan (container yard) yang mampu menampung ribuan TEUs (Twenty-foot Equivalent Units), serta area untuk fasilitas pendukung dan konektivitas antarmoda (jalan tol, jalur kereta api) adalah pendorong utama dilakukannya reklamasi untuk pengembangan pelabuhan di seluruh dunia.

Dengan demikian, reklamasi pelabuhan bukanlah sekadar proyek konstruksi sipil, melainkan sebuah intervensi strategis dalam tata ruang pesisir yang bertujuan untuk menyeimbangkan antara tekanan pembangunan ekonomi dan dinamika lingkungan alam. Pelaksanaannya menuntut pemahaman mendalam tidak hanya pada aspek rekayasa teknis, tetapi juga pada ekologi pesisir, dinamika sosial-ekonomi masyarakat lokal, serta kerangka regulasi yang berlaku. Ketidakcermatan dalam salah satu aspek tersebut dapat berakibat pada kegagalan proyek, kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan, atau konflik sosial yang berkepanjangan. Oleh karena itu, perencanaan yang matang dan komprehensif menjadi kunci fundamental dalam setiap proyek reklamasi. Buku ajar ini akan mengupas tuntas berbagai aspek perencanaan tersebut secara sistematis, memberikan landasan pengetahuan yang kokoh bagi para perencana dan pelaksana di masa depan. Pemahaman yang benar terhadap definisi dan konteks ini adalah langkah awal yang esensial sebelum melangkah lebih jauh ke dalam tahapan perencanaan yang lebih teknis dan mendetail.

Proses reklamasi pada dasarnya mengubah kondisi batas (boundary condition) dari suatu sistem pesisir. Garis pantai yang baru dan konfigurasi dasar laut yang berubah akan memicu respons dari sistem hidrodinamika dan morfologi lokal. Arus laut yang sebelumnya bergerak bebas mungkin akan terhalang atau berubah arah, yang pada

gilirannya dapat menyebabkan erosi di satu lokasi dan sedimentasi di lokasi lain. Perubahan ini berpotensi memengaruhi ekosistem sensitif seperti padang lamun, terumbu karang, atau hutan mangrove yang kelangsungan hidupnya sangat bergantung pada kondisi arus, kualitas air, dan paparan cahaya matahari yang spesifik (Erftemeijer & Lewis, 2006).

1.1.2. Tujuan Reklamasi

Tujuan utama dilakukannya reklamasi dalam konteks pengembangan pelabuhan adalah untuk menciptakan lahan baru (*new land*) yang dapat digunakan untuk membangun atau memperluas fasilitas terminal. Fasilitas-fasilitas ini merupakan komponen vital dalam rantai pasok logistik maritim modern dan membutuhkan area yang sangat luas, yang seringkali tidak lagi tersedia di daratan pesisir yang sudah padat. Secara spesifik, lahan hasil reklamasi ini dirancang untuk mengakomodasi berbagai fungsi krusial yang mendukung operasi pelabuhan yang efisien dan berkapasitas tinggi.

1. Pembangunan dermaga (*quay/wharf*) dan lapangan penumpukan peti kemas (*container yard* - CY).

Kapal-kapal kontainer modern memiliki panjang lebih dari 350 meter dan membutuhkan dermaga yang panjang dengan perairan yang cukup dalam di sisinya. Di belakang dermaga, diperlukan area yang sangat luas untuk lapangan penumpukan. Sebuah terminal peti kemas modern dengan kapasitas 1 juta TEUs per tahun dapat membutuhkan lahan seluas puluhan hingga ratusan hektar. Area ini digunakan untuk menata peti kemas yang akan dimuat ke kapal (ekspor) atau yang baru dibongkar dari kapal (impor) menggunakan peralatan canggih seperti *Rubber Tyred Gantry* (RTG) atau *Rail Mounted Gantry* (RMG) cranes. Lahan

reklamasi menyediakan "kanvas kosong" yang memungkinkan perancang untuk menata CY dengan layout yang paling optimal untuk efisiensi pergerakan peti kemas, meminimalkan waktu siklus truk dan memaksimalkan *throughput* terminal (Stahlbock & Voß, 2008).

2. Area pendukung dan fasilitas logistik tambahan.

Ini mencakup *Container Freight Station* (CFS) atau gudang, di mana kargo dalam peti kemas *Less than Container Load* (LCL) dikonsolidasikan atau dipecah. Selain itu, diperlukan juga area untuk depo peti kemas kosong, bengkel perbaikan dan pemeliharaan alat berat, serta gedung perkantoran untuk administrasi pelabuhan, bea cukai, imigrasi, dan karantina (CIQ). Fasilitas-fasilitas ini, meskipun tidak secara langsung terlibat dalam proses bongkar muat di dermaga, merupakan bagian integral dari ekosistem pelabuhan yang efisien dan membutuhkan ruang yang tidak sedikit.

3. konektivitas infrastruktur antarmoda.

Pelabuhan modern tidak dapat berdiri sendiri; ia harus terintegrasi secara mulus dengan jaringan transportasi darat. Lahan reklamasi menyediakan ruang yang sangat dibutuhkan untuk membangun infrastruktur ini, seperti *marshalling area* (area antrian truk), gerbang terminal otomatis (*automated gate system*), dan yang terpenting, koneksi langsung ke jaringan jalan tol atau jalur kereta api. Pembangunan jalur kereta api yang masuk hingga ke area dermaga, misalnya, secara drastis meningkatkan efisiensi pengangkutan kargo dari dan ke *hinterland* (daerah pedalaman), mengurangi kepadatan lalu lintas truk di

jalan raya, dan menurunkan emisi karbon (Woodburn, 2017). Menciptakan ruang untuk konektivitas ini di area pelabuhan lama yang padat seringkali mustahil dilakukan tanpa adanya lahan baru dari hasil reklamasi.

1.1.3. Reklamasi Solusi Keterbatasan Lahan Darat

Keputusan untuk melakukan reklamasi hampir selalu dipicu oleh satu faktor fundamental: keterbatasan lahan darat di sekitar lokasi pelabuhan eksisting. Sebagian besar pelabuhan utama di dunia dan di Indonesia berlokasi di dalam atau berdekatan dengan kota-kota besar yang padat penduduk. Pelabuhan-pelabuhan ini, banyak di antaranya dibangun puluhan atau bahkan seratus tahun yang lalu, kini terkepung oleh perkembangan perkotaan yang pesat. Area yang dulunya merupakan pinggiran pelabuhan kini telah berubah menjadi kawasan komersial, industri, dan perumahan yang padat. Kondisi ini menciptakan sebuah dilema strategis: di satu sisi, pelabuhan harus berekspansi untuk memenuhi permintaan pasar dan menjaga daya saing; di sisi lain, ekspansi ke arah darat menghadapi hambatan yang luar biasa.

Hambatan utama dari ekspansi ke darat adalah biaya akuisisi lahan yang sangat tinggi. Harga tanah di kawasan perkotaan pesisir meroket seiring dengan permintaan. Membebaskan lahan seluas ratusan hektar untuk perluasan terminal akan membutuhkan investasi finansial yang astronomis, yang mungkin membuat proyek tersebut tidak lagi layak secara ekonomi. Sebagai perbandingan, meskipun biaya konstruksi reklamasi juga signifikan, dalam banyak kasus, biaya per meter persegi lahan baru yang diciptakan melalui reklamasi bisa jadi lebih rendah daripada biaya pembebasan lahan darat di lokasi premium (Sato, 2015).

Hambatan kedua adalah kompleksitas isu sosial dan politik. Proses pembebasan lahan untuk proyek infrastruktur publik seringkali memicu konflik sosial yang rumit dan berkepanjangan. Isu-isu seperti relokasi penduduk, kompensasi yang dianggap tidak adil, dan hilangnya mata pencaharian dapat menimbulkan resistensi dari masyarakat dan aktivis, yang berpotensi menunda proyek selama bertahun-tahun atau bahkan menyebabkannya batal sama sekali. Proses hukum yang panjang dan ketidakpastian politik menjadi risiko signifikan yang harus dihadapi dalam skenario ekspansi ke darat (Cernea, 2000). Reklamasi, meskipun juga memiliki dampak sosial-ekonomi (terutama pada komunitas nelayan), seringkali dianggap sebagai jalur yang lebih dapat diprediksi dari segi implementasi proyek karena tidak melibatkan relokasi permukiman padat penduduk.

Dengan demikian, reklamasi menawarkan sebuah solusi strategis untuk "membuka kunci" potensi pertumbuhan pelabuhan yang terhambat oleh konstrain di darat. Dengan menciptakan lahan baru dari laut, otoritas pelabuhan dan pemerintah dapat merancang fasilitas yang sepenuhnya modern dan efisien dari awal, tanpa terbebani oleh batasan-batasan tata letak infrastruktur lama. Ini memungkinkan penerapan teknologi pelabuhan terbaru, seperti terminal semi-otomatis atau otomatis penuh, yang membutuhkan konfigurasi ruang yang sangat spesifik dan sulit diimplementasikan di terminal lama yang sempit.

Pilihan strategis untuk melakukan reklamasi, oleh karena itu, merupakan hasil dari analisis multi-kriteria yang cermat, di mana keunggulan dalam hal ketersediaan ruang, fleksibilitas desain, dan potensi penghindaran konflik sosial di darat seringkali lebih besar daripada

biaya konstruksi dan tantangan lingkungan yang menyertainya. Reklamasi memungkinkan sebuah kota atau negara untuk mempertahankan dan meningkatkan fungsi pelabuhannya sebagai motor penggerak ekonomi, tanpa harus mengorbankan ruang kota yang sudah sangat berharga atau memicu gejolak sosial yang merusak. Sebagai contoh, Pelabuhan Singapura adalah studi kasus klasik di mana reklamasi secara konsisten digunakan sebagai strategi nasional untuk mengatasi kelangkaan lahan yang ekstrem. Proyek raksasa seperti Tuas Megaport, yang seluruhnya dibangun di atas lahan reklamasi, adalah bukti nyata bagaimana reklamasi menjadi satu-satunya jalan bagi Singapura untuk mempertahankan posisinya sebagai hub transshipment terkemuka di dunia (Ho, 2019).

Di Indonesia, kasus Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta menyajikan gambaran yang serupa. Dikelilingi oleh salah satu kota metropolitan terpadat di dunia, ekspansi ke darat untuk Priok adalah opsi yang hampir mustahil. Oleh karena itu, pembangunan Terminal Kalibaru atau New Priok di sisi utara pelabuhan eksisting, yang sepenuhnya mengandalkan teknologi reklamasi, menjadi satu-satunya solusi viable untuk meningkatkan kapasitas dan menjawab tantangan pertumbuhan volume kargo nasional. Proyek ini menunjukkan bahwa reklamasi bukan lagi sekadar pilihan, melainkan sebuah keharusan strategis bagi pelabuhan-pelabuhan hub yang berlokasi di pusat-pusat ekonomi padat.

Dengan menggeser area pengembangan ke laut, reklamasi juga memberikan kesempatan untuk menata ulang konektivitas logistik. Akses dari dan ke pelabuhan seringkali menjadi sumber kemacetan parah di kota-kota pelabuhan. Pembangunan terminal baru di lahan reklamasi memungkinkan perancangan akses khusus

yang terpisah dari jaringan jalan perkotaan, seperti jalan tol layang atau jalur kereta api khusus barang yang langsung terhubung ke terminal. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi logistik, tetapi juga secara signifikan mengurangi dampak negatif operasi pelabuhan (misalnya, kemacetan dan polusi udara dari truk) terhadap kualitas hidup masyarakat kota. Pada akhirnya, reklamasi menjadi instrumen yang memungkinkan simbiosis antara pertumbuhan pelabuhan dan pembangunan perkotaan yang berkelanjutan.

1.1.4. Pengembangan Pelabuhan Baru

Proyek reklamasi untuk pengembangan pelabuhan secara umum dapat dikategorikan ke dalam dua tipe utama, yang masing-masing memiliki karakteristik, tantangan, dan implikasi perencanaan yang berbeda. Pemilihan tipe pengembangan ini bergantung pada berbagai faktor, termasuk kondisi pelabuhan eksisting, proyeksi permintaan jangka panjang, ketersediaan ruang laut, dan tujuan strategis nasional atau regional.

Tipe pertama adalah ekspansi terminal pada pelabuhan eksisting, yang sering juga disebut sebagai pengembangan brownfield. Dalam skenario ini, reklamasi dilakukan di area perairan yang berdekatan langsung dengan fasilitas pelabuhan yang sudah ada. Tujuannya adalah untuk memperpanjang dermaga, memperluas lapangan penumpukan, atau menambah fasilitas pendukung untuk meningkatkan kapasitas terminal yang sudah beroperasi. Keunggulan utama dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk memanfaatkan infrastruktur pendukung yang sudah ada, seperti alur pelayaran, pemecah gelombang (breakwater), dan konektivitas darat (jalan dan rel). Hal ini dapat mengurangi sebagian dari total biaya investasi dan

mempercepat proses pembangunan. Namun, tantangannya juga signifikan. Konstruksi reklamasi harus dilakukan sedemikian rupa agar tidak mengganggu operasi terminal yang sedang berjalan. Isu-isu seperti manajemen lalu lintas kapal konstruksi, pengendalian sedimentasi agar tidak mendangkalkan alur pelayaran eksisting, dan integrasi sistem operasional antara terminal lama dan baru menjadi sangat krusial (van der Lugt et al., 2012). Proyek New Priok di Jakarta adalah contoh klasik dari tipe ekspansi brownfield ini.

Tipe kedua adalah pembangunan pelabuhan baru secara keseluruhan di lokasi yang baru, yang dikenal dengan istilah pengembangan greenfield. Proyek ini melibatkan reklamasi skala besar untuk menciptakan sebuah kompleks pelabuhan yang benar-benar baru, seringkali di lokasi yang relatif jauh dari pusat kota atau pelabuhan lama. Pendekatan greenfield biasanya dipilih ketika pelabuhan eksisting sudah tidak memiliki ruang sama sekali untuk ekspansi, atau ketika pemerintah memiliki tujuan strategis untuk menciptakan sebuah koridor ekonomi baru. Keuntungan terbesar dari pengembangan greenfield adalah kebebasan dan fleksibilitas total dalam perencanaan. Para perencana dapat merancang tata letak pelabuhan yang paling ideal sesuai dengan standar teknologi dan efisiensi termutakhir tanpa dibatasi oleh infrastruktur lama. Hal ini membuka peluang untuk menciptakan pelabuhan super-hub yang sangat efisien, terintegrasi penuh dengan kawasan industri, dan dilengkapi dengan konektivitas antarmoda yang canggih sejak awal. Namun, kelemahannya terletak pada kebutuhan investasi awal yang jauh lebih besar karena semua infrastruktur dasar—mulai dari pemecah gelombang, alur pelayaran, hingga jaringan jalan dan rel baru—harus dibangun dari nol.

Dampak lingkungan dari proyek greenfield juga cenderung lebih besar karena membuka dan mengubah area pesisir yang mungkin sebelumnya masih alami (Verhoeven, 2010). Pembangunan Pelabuhan Patimban di Subang, Jawa Barat, dan Pelabuhan Kuala Tanjung di Sumatera Utara merupakan contoh proyek greenfield di Indonesia yang dirancang untuk menjadi gerbang logistik internasional baru.

1.2. Sejarah dan Evolusi Teknik Reklamasi

1.2.1. Tinjauan Global: Dari Proyek Awal di Belanda dan Jepang hingga Proyek Modern

Sejarah reklamasi lahan dari laut sama tuanya dengan sejarah perjuangan manusia untuk beradaptasi dan merekayasa lingkungan pesisir demi kelangsungan hidup dan kemajuan peradaban. Praktik ini telah berevolusi secara dramatis dari teknik manual sederhana menjadi proyek rekayasa berskala masif yang didukung oleh teknologi canggih. Tinjauan historis global menunjukkan bagaimana reklamasi telah menjadi pilar pembangunan bagi banyak negara maritim di dunia.

Contoh paling klasik dan paling awal dari reklamasi skala besar dapat ditemukan di Belanda. Selama berabad-abad, bangsa Belanda telah terlibat dalam "peperangan" konstan melawan Laut Utara. Sejak abad ke-14, mereka mengembangkan sistem polder, yaitu sebidang tanah reklamasi yang dikelilingi oleh tanggul (dikes), untuk melindungi lahan pertanian dan permukiman dari banjir serta untuk menciptakan lahan baru dari danau dan laut dangkal. Teknik awal melibatkan pembangunan tanggul di sekeliling area yang akan direklamasi, kemudian memompa air keluar menggunakan kincir angin. Proyek-proyek raksasa seperti Zuiderzee Works pada abad ke-20 mengubah

teluk besar menjadi danau air tawar (IJsselmeer) dan mereklamasi ribuan kilometer persegi lahan subur (Stive, 2004). Meskipun tujuan awalnya adalah agrikultur dan ruang hidup, pengalaman dan keahlian rekayasa hidrolik yang diperoleh Belanda menjadi fondasi bagi pengembangan teknik reklamasi pelabuhan modern di seluruh dunia. Pelabuhan Rotterdam, salah satu pelabuhan tersibuk di dunia, secara ekstensif diperluas ke arah laut melalui proyek Maasvlakte 1 dan 2, yang merupakan contoh aplikasi modern dari tradisi reklamasi Belanda.

Di belahan dunia lain, Jepang juga memiliki sejarah panjang dalam reklamasi, yang didorong oleh topografi negaranya yang bergunung-gunung dan keterbatasan lahan datar untuk pembangunan perkotaan dan industri. Setelah Restorasi Meiji dan terutama pasca Perang Dunia II, Jepang memulai program reklamasi yang agresif untuk membangun kembali dan memperluas basis industrinya. Teluk Tokyo, Teluk Osaka, dan Teluk Ise menjadi lokasi proyek reklamasi masif untuk pembangunan pabrik-pabrik baja, kompleks petrokimia, dan tentu saja, terminal-terminal pelabuhan modern. Salah satu contoh ikonik adalah reklamasi untuk pembangunan Pelabuhan Kobe. Teknik yang dikembangkan Jepang seringkali melibatkan pemotongan puncak bukit di pesisir dan menggunakan materialnya untuk menimbun laut di depannya, sebuah metode yang dikenal sebagai "cut and fill" (Shiraishi, 2018). Pendekatan ini secara efisien menciptakan lahan datar baik di darat maupun di laut secara bersamaan.



Gambar 1.2. Contoh awal teknik reklamasi besar-besaran menggunakan tanggul dan pompa air.

Evolusi teknik reklamasi mencapai puncaknya pada akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21, ditandai oleh proyek-proyek dengan skala, kecepatan, dan ambisi yang belum pernah terjadi sebelumnya. Periode modern ini didorong oleh globalisasi ekonomi, pertumbuhan pesat dalam perdagangan maritim, dan kemajuan teknologi dalam bidang pengerukan dan rekayasa geoteknik.

Singapura berdiri sebagai contoh utama negara yang menjadikan reklamasi sebagai strategi kelangsungan hidup nasional. Dengan luas daratan yang sangat terbatas, Singapura telah meningkatkan luas wilayahnya lebih dari 25% sejak kemerdekaannya melalui reklamasi. Proyek-proyeknya sangat beragam, mulai dari reklamasi untuk Bandara Internasional Changi, yang landasannya dibangun di atas laut, hingga pengembangan pusat bisnis Marina Bay yang ikonik. Dalam konteks pelabuhan, Singapura secara bertahap memindahkan fasilitas pelabuhannya dari pusat kota ke lokasi-lokasi hasil reklamasi di Pasir Panjang dan, yang

terbaru, proyek raksasa Tuas Megaport. Proyek Tuas, yang akan mengkonsolidasikan semua aktivitas peti kemas Singapura di satu lokasi, dibangun seluruhnya di atas lahan reklamasi baru seluas ribuan hektar. Proyek ini menampilkan teknologi reklamasi termutakhir, termasuk penggunaan caisson (kotak beton raksasa) untuk konstruksi dinding dermaga yang cepat dan efisien, serta metode pemadatan tanah dinamis untuk menstabilkan material timbunan (Low, 2017).

Hong Kong juga sangat bergantung pada reklamasi untuk menopang pertumbuhan ekonominya. Sama seperti Singapura, Hong Kong menghadapi kelangkaan lahan ekstrem karena topografinya yang berbukit. Sebagian besar wilayah perkotaan di Kowloon dan sisi utara Pulau Hong Kong berdiri di atas lahan reklamasi yang telah dilakukan sejak abad ke-19. Seluruh bandara dibangun di atas sebuah pulau buatan raksasa yang dibentuk dengan meratakan pulau kecil Chek Lap Kok dan mereklamasi area laut di sekitarnya, sebuah pencapaian rekayasa yang luar biasa pada masanya (Cho, 1999). Pengembangan terminal-terminal peti kemas di Kwai Tsing juga melibatkan reklamasi yang signifikan.



Gambar 1.3. *Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)*
(Sumber: <https://www.boskalis.com>)

Di Timur Tengah, Dubai menampilkan contoh reklamasi yang paling ambisius dan berorientasi pada citra. Proyek-proyek seperti Palm Jumeirah, Palm Jebel Ali, dan The World Islands, meskipun lebih berfokus pada properti mewah dan pariwisata, menunjukkan kemampuan rekayasa untuk menciptakan bentuk-bentuk lahan yang kompleks dari laut. Namun, dari sudut pandang industri, perluasan Pelabuhan Jebel Ali adalah contoh reklamasi fungsional yang paling penting di kawasan tersebut. Pelabuhan ini, yang merupakan pelabuhan buatan manusia terbesar di dunia, terus diperluas melalui reklamasi untuk memperkuat posisi Dubai sebagai hub logistik utama yang menghubungkan Asia, Eropa, dan Afrika. Proyek-proyek ini dimungkinkan oleh penggunaan armada kapal keruk isap tarik (*Trailing Suction Hopper Dredger* - TSHD) terbesar di dunia, yang mampu memindahkan jutaan meter kubik pasir dari dasar laut setiap hari.

1.2.2. Perkembangan di Indonesia

Sejarah reklamasi di Indonesia memiliki jejak yang panjang, berawal dari kebutuhan praktis untuk membangun infrastruktur di pesisir pada masa kolonial Belanda, hingga menjadi komponen kunci dalam visi pembangunan maritim nasional di era modern. Perkembangannya mencerminkan perubahan teknologi, prioritas ekonomi, dan paradigma pembangunan negara dari waktu ke waktu.

Pada era kolonial, para insinyur Belanda membawa pengetahuan dan teknologi rekayasa hidrolik mereka ke Hindia Belanda untuk membangun infrastruktur yang mendukung eksploitasi ekonomi. Pembangunan pelabuhan-pelabuhan utama seperti Tanjung Priok (Batavia), Tanjung Perak (Surabaya), dan Belawan (Medan) pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20 melibatkan kegiatan reklamasi dalam skala yang signifikan pada masanya. Tujuannya adalah untuk menciptakan perairan pelabuhan yang terlindung dan menyediakan lahan yang cukup untuk dermaga, gudang, dan jaringan kereta api yang mengangkut hasil bumi dari pedalaman (hinterland) ke kapal-kapal yang akan berlayar ke Eropa. Metode yang digunakan saat itu relatif sederhana, umumnya berupa konstruksi dinding penahan atau dermaga (seringkali dengan struktur blok beton atau caisson) yang kemudian area di belakangnya diisi dengan material hasil pengerukan kolam pelabuhan atau material yang didatangkan dari darat (Colombijn, 2002). Meskipun tidak secanggih teknik modern, proyek-proyek ini meletakkan fondasi bagi pusat-pusat logistik maritim utama di Indonesia yang masih berfungsi hingga hari ini. Reklamasi pada era ini secara fundamental membentuk tata ruang pesisir di kota-kota pelabuhan tersebut.

Setelah kemerdekaan, kegiatan pembangunan pelabuhan dan reklamasi terus berlanjut, meskipun dengan kecepatan dan skala yang bervariasi tergantung pada kondisi ekonomi dan politik nasional. Pembangunan pelabuhan seringkali lebih berfokus pada rehabilitasi dan peningkatan kapasitas fasilitas yang sudah ada, warisan dari era kolonial. Reklamasi skala kecil dilakukan untuk menambah panjang dermaga atau memperluas area penumpukan secara bertahap. Namun, lonjakan signifikan dalam visi dan skala proyek reklamasi pelabuhan baru terjadi pada awal abad ke-21.

Titik balik yang signifikan terjadi ketika Indonesia mulai secara serius memposisikan diri sebagai Poros Maritim Dunia dan meluncurkan program Tol Laut. Visi ini, yang dicanangkan pada masa pemerintahan Presiden Joko Widodo, mengakui bahwa masa depan ekonomi Indonesia sangat bergantung pada kemampuannya untuk mengelola dan memanfaatkan potensi kelautannya secara efektif. Program Tol Laut bertujuan untuk menciptakan konektivitas maritim yang efisien dan terjangkau di seluruh kepulauan Indonesia, yang pada gilirannya diharapkan dapat menurunkan disparitas harga antara wilayah barat dan timur Indonesia (Presiden Republik Indonesia, 2012).

Untuk mewujudkan visi besar ini, diperlukan sebuah lompatan kuantum dalam kapasitas dan kualitas infrastruktur pelabuhan nasional. Pelabuhan-pelabuhan yang ada, terutama di luar Jawa, banyak yang sudah tidak memadai untuk melayani kapal-kapal modern yang lebih besar dan menangani volume kargo yang terus meningkat. Selain itu, pelabuhan hub internasional yang mampu bersaing dengan Singapura dan Malaysia menjadi sebuah keharusan strategis. Menjawab tantangan ini, pemerintah menginisiasi serangkaian Proyek Strategis

Nasional (PSN) yang berfokus pada pembangunan dan pengembangan pelabuhan, di mana reklamasi menjadi metode yang tidak terhindarkan.

Proyek-proyek seperti Terminal Peti Kemas Kalibaru (New Priok) di Jakarta, Pelabuhan Patimban di Subang, dan Pelabuhan Hub Internasional Kuala Tanjung di Sumatera Utara adalah manifestasi nyata dari paradigma baru ini. Proyek-proyek ini memiliki skala yang jauh melampaui apa pun yang pernah dibangun sebelumnya di Indonesia. Pembangunan New Priok, misalnya, melibatkan reklamasi untuk beberapa terminal baru dengan total kapasitas jutaan TEUs. Sementara itu, Patimban dan Kuala Tanjung dibangun sebagai pelabuhan greenfield yang dirancang dari awal untuk menjadi pusat logistik dan industri terpadu.

Perkembangan ini juga didorong oleh kemajuan teknologi dan ketersediaan investasi, baik dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN), badan usaha milik negara (BUMN), maupun melalui skema kerja sama pemerintah dengan badan usaha (KPBU) dan pinjaman luar negeri. Pelaksanaan proyek reklamasi modern di Indonesia kini melibatkan penggunaan teknologi canggih, mulai dari kapal keruk TSHD berkapasitas besar, teknik perbaikan tanah seperti Prefabricated Vertical Drains (PVD) dan deep cement mixing, hingga pemodelan hidrodinamika yang kompleks untuk memprediksi dan memitigasi dampak lingkungan. Sejarah reklamasi di Indonesia telah bertransformasi dari sekadar kegiatan konstruksi menjadi sebuah instrumen rekayasa strategis yang fundamental bagi pencapaian cita-cita pembangunan ekonomi maritim nasional. Evolusi ini membawa serta tantangan baru dalam hal tata kelola, pengawasan lingkungan, dan manajemen dampak sosial, yang akan menjadi fokus pembahasan dalam bab-bab selanjutnya.

1.2.3. Evolusi Teknologi dan Material dalam Praktik Reklamasi

Seiring dengan meningkatnya skala dan kompleksitas proyek reklamasi, baik di tingkat global maupun di Indonesia, terjadi pula evolusi yang pesat dalam hal teknologi pelaksanaan dan jenis material yang digunakan. Transformasi ini bergeser dari pendekatan yang bersifat brute-force (mengandalkan volume dan massa) menuju pendekatan yang lebih berbasis ilmu pengetahuan rekayasa (science-based engineering), yang mengutamakan efisiensi, keamanan, dan keberlanjutan lingkungan.

Pada tahap awal, teknik reklamasi sangat bergantung pada metode mekanis. Material timbunan, seringkali berupa tanah atau batuan dari galian terdekat, diangkut menggunakan truk dan tongkang, kemudian ditimbun lapis demi lapis. Pemadatan dilakukan dengan alat berat konvensional. Metode ini, meskipun masih relevan untuk proyek skala kecil atau di area perairan yang sangat dangkal, memiliki keterbatasan signifikan dalam hal kecepatan dan efisiensi untuk proyek skala besar. Kecepatan produksi sangat bergantung pada logistik transportasi darat dan laut yang bisa menjadi sangat lambat dan mahal.

Lompatan teknologi terbesar dalam praktik reklamasi terjadi dengan berkembangnya teknik pengerukan dan penimbunan hidrolis (hydraulic dredging and filling). Penggunaan kapal keruk modern, terutama Cutter Suction Dredger (CSD) dan Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD), merevolusi cara material digali dan ditempatkan. CSD, dengan kepala pemotongnya, mampu mengeruk berbagai jenis material dari dasar laut (termasuk tanah liat padat dan batuan lunak) dan memompakannya langsung ke area reklamasi

melalui pipa. Metode ini sangat efisien untuk jarak yang relatif dekat. Untuk jarak yang lebih jauh, TSHD menjadi pilihan utama. Kapal ini bekerja seperti "penyedot debu" raksasa, mengisap material pasir dari dasar laut ke dalam palka (hopper), berlayar ke lokasi proyek, dan kemudian menimbun material tersebut dengan membuka pintu di bawah lambung kapal (bottom dumping) atau memompakannya ke darat (rainbowing). Penggunaan armada kapal keruk modern ini memungkinkan pemindahan jutaan meter kubik material dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan metode mekanis, menjadikan proyek reklamasi raksasa seperti Tuas Megaport atau Pelabuhan Patimban menjadi mungkin secara teknis dan ekonomis (Bray, 2008).



Gambar 1.4. *Ilustrasi Cutter Suction Dredger (CSD)*

Sumber: (www.vanoord.com)

Evolusi tidak hanya terjadi pada metode penempatan, tetapi juga pada pemahaman dan perlakuan terhadap material timbunan. Di masa lalu, material timbunan seringkali digunakan apa adanya dari sumbernya. Namun, rekayasa geoteknik modern menekankan pentingnya karakteristik material untuk

stabilitas jangka panjang. Material granular seperti pasir bersih menjadi pilihan utama karena sifatnya yang mudah dipadatkan dan memiliki permeabilitas tinggi, sehingga proses konsolidasi (pemampatan tanah akibat keluarnya air) berlangsung cepat.

Namun, seringkali sumber pasir ideal terbatas atau berlokasi sangat jauh, sehingga biaya menjadi tidak ekonomis. Hal ini mendorong inovasi dalam penggunaan material yang kurang ideal, seperti material hasil keruk yang mengandung lanau dan lempung. Penggunaan material semacam ini menuntut penerapan teknik perbaikan tanah (ground improvement) yang canggih. Metode seperti pemasangan Drainase Vertikal Prefabrikasi (PVD) yang dikombinasikan dengan pembebanan awal (preloading) digunakan untuk mempercepat proses konsolidasi tanah lempung dari puluhan tahun menjadi hanya beberapa bulan. Untuk material pasir lepas yang berisiko mengalami likuifaksi saat gempa, teknik pemadatan dalam seperti vibro compaction atau stone columns diterapkan untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatannya (Moseley & Kirsch, 2004).

Selain itu, perkembangan ilmu material juga melahirkan penggunaan geosintetik sebagai komponen integral dalam desain reklamasi. Geosintetik adalah material polimer buatan yang digunakan dalam kontak dengan tanah atau batuan. Dalam konteks reklamasi, geotekstil digunakan sebagai separator untuk mencegah tercampurnya material timbunan yang baik dengan tanah dasar yang lunak, atau sebagai filter yang memungkinkan air lewat tetapi menahan butiran tanah. Geogrid, dengan kekakuan tariknya yang tinggi, digunakan sebagai lapisan perkuatan di dasar timbunan untuk meningkatkan stabilitas lereng (Koerner, 2012). Penggunaan geosintetik

ini memungkinkan desain yang lebih optimal, mengurangi volume material timbunan yang dibutuhkan, dan meningkatkan keamanan struktur secara keseluruhan.

Evolusi teknologi ini secara fundamental telah mengubah reklamasi dari sekadar "memindahkan tanah" menjadi sebuah proses rekayasa geoteknik presisi tinggi. Kemampuan untuk menggunakan beragam jenis material, mempercepat proses konstruksi, dan memastikan stabilitas jangka panjang dengan tingkat kepastian yang tinggi adalah pilar yang menopang pelaksanaan Proyek Strategis Nasional di bidang kepelabuhanan di Indonesia saat ini. Tanpa adanya evolusi teknologi dan material ini, visi untuk membangun pelabuhan-pelabuhan kelas dunia di atas lahan buatan akan tetap menjadi sebuah angan-angan.

1.3. Peran Strategis Reklamasi dalam Pembangunan Infra-struktur Maritim

Peran strategis reklamasi ini termanifestasi dalam beberapa aspek kunci. Pertama, reklamasi adalah instrumen utama untuk mengatasi kesenjangan infrastruktur (infrastructure gap) yang telah lama menghambat potensi maritim Indonesia. Banyak pelabuhan warisan yang ada saat ini tidak lagi memadai, baik dari segi kedalaman kolam, panjang dermaga, maupun luas lahan, untuk melayani dinamika perdagangan global modern. Reklamasi memungkinkan "lompatan generasi" dalam infrastruktur pelabuhan, menciptakan fasilitas-fasilitas baru yang dirancang sesuai dengan standar internasional tertinggi.

Kedua, reklamasi menjadi fondasi untuk meningkatkan efisiensi logistik nasional. Biaya logistik yang tinggi merupakan salah satu tantangan utama daya saing ekonomi Indonesia. Dengan membangun pelabuhan-pelabuhan hub yang besar dan

efisien melalui reklamasi, serta mengintegrasikannya dengan kawasan industri dan jaringan transportasi darat, alur barang dapat diperlancar, waktu tunggu kapal (dwelling time) dapat dipangkas, dan biaya transportasi per unit dapat ditekan. Efisiensi ini pada akhirnya akan dirasakan oleh seluruh rantai ekonomi, mulai dari produsen hingga konsumen.

Ketiga, secara geopolitik, pembangunan pelabuhan-pelabuhan strategis di atas lahan reklamasi merupakan penegasan kedaulatan dan pengaruh maritim Indonesia di kawasan. Dengan memiliki pelabuhan hub yang mampu bersaing langsung dengan pelabuhan-pelabuhan utama di Selat Malaka, Indonesia dapat menarik lebih banyak jalur pelayaran internasional untuk singgah langsung (direct call), mengurangi ketergantungan pada pelabuhan transshipment di negara tetangga, dan menjadikan Indonesia sebagai pemain sentral dalam peta rute pelayaran global (Heijmann, 2016). Peran-peran strategis inilah yang menjadi justifikasi utama di balik investasi masif pemerintah dan BUMN dalam proyek-proyek reklamasi pelabuhan berskala besar saat ini.

1.3.1 Mendukung Program Tol Laut

Program Tol Laut, yang menjadi salah satu pilar utama kebijakan pembangunan pemerintahan Presiden Joko Widodo, adalah sebuah konsep strategis yang bertujuan untuk menciptakan sistem logistik kelautan yang teratur, terjadwal, dan efisien untuk menghubungkan seluruh wilayah Indonesia, dari Sabang hingga Merauke. Esensi dari program ini adalah untuk menjamin ketersediaan barang dan mengurangi disparitas harga yang signifikan antara wilayah barat yang padat industri dan wilayah timur yang kaya akan sumber daya alam tetapi minim infrastruktur. Keberhasilan program Tol Laut sangat bergantung pada ketersediaan infrastruktur pelabuhan yang memadai di setiap simpul (node) dalam jaringannya. Di sinilah peran reklamasi menjadi sangat vital.

Tol Laut tidak akan berfungsi secara efektif jika hanya mengandalkan kapal-kapal kecil yang berlayar tidak menentu. Konsep ini membutuhkan adanya sistem hub-and-spoke, di mana kapal-kapal besar (mother vessel) yang memiliki skala ekonomi tinggi berlayar secara reguler di antara beberapa pelabuhan hub utama. Dari pelabuhan hub ini, kargo kemudian didistribusikan ke pelabuhan-pelabuhan yang lebih kecil (spoke ports) di sekitarnya menggunakan kapal-kapal pengumpan (feeder vessel) yang lebih kecil. Agar sistem ini berjalan, pelabuhan hub harus memiliki kapasitas untuk melayani kapal-kapal besar tersebut. Ini berarti pelabuhan harus memiliki alur pelayaran dan kolam pelabuhan dengan kedalaman yang cukup (umumnya di atas -14 meter LWS - Low Water Spring), dermaga yang panjang dan kuat, serta lapangan penumpukan yang sangat luas yang dilengkapi dengan peralatan bongkar muat modern (seperti Quay Cranes dan RTG/RMG) (Notteboom & Rodrigue, 2005).

Mayoritas pelabuhan eksisting di Indonesia, terutama yang akan difungsikan sebagai hub internasional atau hub utama domestik, tidak memenuhi persyaratan ini. Mereka seringkali terkendala oleh kedalaman yang dangkal dan lahan yang sempit. Reklamasi menjadi satu-satunya solusi praktis untuk menciptakan pelabuhan hub yang dibutuhkan oleh program Tol Laut. Dengan melakukan reklamasi, Otoritas Pelabuhan dapat merancang dan membangun fasilitas dari nol yang spesifikasinya disesuaikan untuk melayani kapal-kapal generasi baru. Proyek seperti New Priok di Jakarta dan Pelabuhan Patimban di Subang dirancang sebagai hub internasional utama dalam jaringan Tol Laut. Lahan reklamasi yang luas memungkinkan pembangunan terminal peti kemas dengan kapasitas jutaan TEUs, yang mampu menampung dan memproses volume kargo besar yang dibawa oleh mother vessels.

Tanpa adanya pelabuhan hub hasil reklamasi ini, kapal-kapal besar dari rute utama Asia-Eropa atau Trans-Pasifik tidak akan mau singgah langsung di Indonesia. Mereka akan lebih memilih membongkar kargo untuk Indonesia di hub regional seperti Singapura atau Pelabuhan Klang di Malaysia. Dari sana, kargo tersebut harus diangkut lagi menggunakan kapal feeder yang lebih kecil ke pelabuhan-pelabuhan di Indonesia. Proses transshipment ganda ini sangat tidak efisien, memakan waktu, dan menambah biaya logistik secara signifikan. Inilah yang menjadi salah satu akar masalah tingginya biaya logistik nasional selama ini. Dengan membangun pelabuhan hub melalui reklamasi yang mampu menerima direct call, Indonesia dapat memotong mata rantai transshipment yang mahal ini (UNCTAD, 2018).

Lebih lanjut, reklamasi tidak hanya mendukung simpul hub, tetapi juga berpotensi untuk meningkatkan kapasitas di pelabuhan-pelabuhan pengumpan (spoke ports) di Kawasan Timur Indonesia (KTI). Meskipun mungkin tidak dalam skala sebesar pelabuhan hub, reklamasi dapat digunakan untuk menambah panjang dermaga atau lapangan penumpukan di pelabuhan-pelabuhan strategis di KTI agar dapat menampung kapal feeder dengan ukuran yang lebih optimal. Hal ini akan meningkatkan efisiensi pada seluruh jaringan Tol Laut.

Secara keseluruhan, reklamasi adalah fondasi fisik yang memungkinkan arsitektur program Tol Laut dapat terwujud. Ia menyediakan "panggung" di mana kapal-kapal besar dapat berlabuh, di mana kargo dapat ditangani dengan cepat, dan di mana konektivitas antara laut dan darat dapat terjalin secara mulus. Tanpa investasi pada reklamasi untuk menciptakan pelabuhan-pelabuhan modern, konsep Tol Laut akan tetap menjadi sebuah gagasan yang sulit diimplementasikan secara

efektif, dan cita-cita untuk menurunkan biaya logistik serta mengurangi disparitas harga akan sulit tercapai. Reklamasi, dengan demikian, bukan sekadar proyek pelengkap, melainkan prasyarat mutlak bagi keberhasilan salah satu program strategis terpenting dalam sejarah maritim modern Indonesia.

1.3.2. Peningkatan Kapasitas Pelabuhan dan Daya Saing Nasional

Daya saing suatu negara dalam perekonomian global modern sangat dipengaruhi oleh kualitas dan efisiensi infrastruktur logistiknya. Bank Dunia, dalam laporannya mengenai Logistics Performance Index (LPI), secara konsisten menunjukkan korelasi yang kuat antara kinerja logistik suatu negara dengan pertumbuhan PDB, diversifikasi ekspor, dan kemampuannya untuk menarik investasi asing langsung (FDI) (Arvis et al., 2018). Pelabuhan, sebagai gerbang utama bagi lebih dari 80% volume perdagangan dunia, berada di jantung sistem logistik ini. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas dan efisiensi pelabuhan adalah langkah strategis yang secara langsung akan meningkatkan daya saing nasional. Reklamasi memainkan peran sentral dan tak tergantikan dalam upaya ini.

Peran pertama reklamasi dalam meningkatkan daya saing adalah melalui peningkatan kapasitas throughput pelabuhan secara masif. Kapasitas throughput, yang diukur dalam TEUs (untuk peti kemas) atau ton (untuk kargo curah) per tahun, adalah indikator paling dasar dari kemampuan sebuah pelabuhan. Pelabuhan yang mengalami kongesti atau kepadatan karena kapasitasnya sudah jenuh akan menyebabkan waktu tunggu kapal yang lama, penumpukan barang, dan ketidakpastian dalam rantai pasok. Hal ini akan membuat para eksportir dan importir enggan menggunakan

pelabuhan tersebut. Reklamasi secara langsung mengatasi masalah ini dengan menyediakan lahan baru yang sangat luas untuk membangun terminal-terminal tambahan. Proyek New Priok, misalnya, dirancang untuk menambah kapasitas Pelabuhan Tanjung Priok hingga beberapa juta TEUs, secara efektif menggandakan kapasitas yang ada dan mengantisipasi pertumbuhan volume perdagangan di masa depan. Peningkatan kapasitas ini memberikan kepastian bagi para pelaku usaha dan jalur pelayaran (shipping lines) bahwa kargo mereka dapat ditangani tanpa penundaan yang berarti.

Peran kedua, dan yang tidak kalah penting, adalah memungkinkan modernisasi dan otomatisasi. Lahan reklamasi yang luas dan dirancang dari awal (greenfield atau new brownfield) memberikan kesempatan emas untuk mengimplementasikan teknologi pelabuhan termutakhir. Terminal-terminal lama seringkali terlalu sempit dan padat untuk penerapan sistem otomatis. Sebaliknya, di atas lahan reklamasi, terminal dapat dirancang dengan tata letak yang optimal untuk alur kerja otomatis, seperti penggunaan Automated Stacking Cranes (ASC) di lapangan penumpukan dan Automated Guided Vehicles (AGV) untuk transportasi internal. Otomatisasi ini tidak hanya meningkatkan kecepatan dan efisiensi bongkar muat secara drastis, tetapi juga meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi risiko kesalahan manusia (Kim & Park, 2004). Pelabuhan yang modern dan efisien akan menjadi daya tarik utama bagi aliansi-aliansi pelayaran global terbesar, seperti 2M, Ocean Alliance, dan THE Alliance, untuk menjadikan pelabuhan Indonesia sebagai salah satu simpul utama dalam jaringan layanan mereka.

Masuknya jalur pelayaran besar ini akan menghasilkan efek berganda (multiplier effect). Semakin banyak kapal besar yang singgah langsung (direct call), semakin rendah biaya angkut per kontainer karena tercapainya skala ekonomi. Biaya logistik yang lebih rendah akan membuat produk-produk ekspor Indonesia (seperti CPO, karet, tekstil, dan manufaktur) menjadi lebih kompetitif di pasar global. Sebaliknya, biaya impor bahan baku dan barang modal untuk industri dalam negeri juga akan menurun, yang pada akhirnya akan mendorong industrialisasi.



BAB 2

LANDASAN HUKUM REKLAMASI

2.1. Peraturan Perundangan Terkait Reklamasi

Pelaksanaan proyek reklamasi di Indonesia diatur oleh jaringan peraturan perundang-undangan yang kompleks dan berlapis. Regulasi ini berasal dari berbagai sektor—seperti pelayaran, kelautan dan perikanan, lingkungan hidup, dan penataan ruang—yang masing-masing memiliki undang-undang, peraturan pemerintah, dan peraturan menteri tersendiri. Sifat multisektor dari regulasi ini seringkali menciptakan tantangan dalam hal harmonisasi dan koordinasi antar lembaga pemerintah. Bagi seorang perencana atau inisiator proyek, pemahaman yang komprehensif terhadap seluruh kerangka hukum ini adalah esensial untuk memastikan kepatuhan (*compliance*) dan untuk merancang strategi perizinan yang efektif.

Kerangka hukum ini secara umum bertujuan untuk mencapai tiga sasaran utama:

1. Memberikan Kepastian Hukum:

Menetapkan secara jelas hak, kewajiban, dan wewenang dari setiap pihak yang terlibat dalam kegiatan reklamasi, termasuk pemerintah, penyelenggara pelabuhan, dan masyarakat.

2. Menjamin Pembangunan Berkelanjutan:

Memastikan bahwa pelaksanaan reklamasi telah mempertimbangkan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup, serta meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem pesisir dan masyarakat.

3. Mengatur Pemanfaatan Ruang:

Mengintegrasikan kegiatan reklamasi ke dalam sistem penataan ruang nasional dan daerah untuk menghindari konflik pemanfaatan ruang dan memastikan pembangunan yang teratur dan sinergis.

Tinjauan dalam bab ini akan berfokus pada peraturan-peraturan kunci yang membentuk fondasi hukum bagi perencanaan dan pelaksanaan reklamasi untuk pengembangan pelabuhan di Indonesia.

2.1.1. Undang-Undang Pokok

Fondasi dari seluruh regulasi reklamasi terletak pada beberapa undang-undang (UU) pokok yang menjadi payung hukum utama. Ketiga UU berikut ini adalah yang paling fundamental dan relevan.

1. Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran (Republik Indonesia, 2008).

UU ini adalah landasan hukum utama untuk semua kegiatan yang berkaitan dengan transportasi di perairan, pelabuhan, keselamatan pelayaran, dan perlindungan lingkungan maritim. Dalam konteks reklamasi, UU Pelayaran memberikan dasar hukum bagi penyelenggaraan dan pengembangan pelabuhan. Beberapa pasal kunci yang relevan antara lain:

a. Pasal 70 dan 71:

Mengamanatkan penetapan Rencana Induk Pelabuhan (RIP) nasional oleh Pemerintah Pusat dan RIP untuk setiap pelabuhan oleh Menteri Perhubungan. Sebagaimana telah dibahas di Bab 2, RIP adalah dokumen yang menjadi dasar bagi setiap pengembangan fisik di pelabuhan, termasuk reklamasi. Dengan demikian, UU Pelayaran secara tidak langsung menyatakan bahwa reklamasi untuk pengembangan pelabuhan haruslah merupakan bagian dari sebuah rencana induk yang telah disahkan.

b. Pasal 81:

Memberikan hak kepada Otoritas Pelabuhan (untuk pelabuhan utama) atau Unit Penyelenggara Pelabuhan (untuk pelabuhan pengumpul/pengumpan) untuk merencanakan dan melaksanakan pembangunan pelabuhan. Ini memberikan mandat hukum kepada institusi tersebut untuk dapat menjadi inisiator proyek reklamasi.

c. Pasal 92 dan 93:

Mengatur tentang kegiatan pengerukan dan reklamasi di dalam wilayah perairan pelabuhan. Pasal ini secara eksplisit menyatakan bahwa kegiatan pengerukan dan reklamasi wajib mendapatkan izin dari Menteri

Perhubungan. Izin ini diberikan setelah mempertimbangkan berbagai aspek, termasuk kelayakan teknis, ekonomi, dan lingkungan, serta kesesuaian dengan RIP.

Secara esensial, UU Pelayaran menempatkan kegiatan reklamasi dalam kerangka manajemen dan pengembangan pelabuhan yang terencana, serta menetapkan Kementerian Perhubungan sebagai regulator utama yang mengeluarkan izin pelaksanaan reklamasi di dalam area pelabuhan.



Gambar 2.1. Pengerukan alur masuk pelabuhan (*Sumber: Royal IHC – Capital Dredging*)

2. Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 jo (Republik Indonesia, 2007). Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (UU PWP3K) (Republik Indonesia, 2014a).

Jika UU Pelayaran berfokus pada aspek fungsional kepelabuhanan, maka UU PWP3K berfokus pada aspek tata ruang dan ekologis wilayah pesisir secara lebih luas. UU ini diperkenalkan untuk mengatasi tumpang tindih pemanfaatan ruang di wilayah pesisir yang semakin meningkat dan untuk melindungi ekosistem pesisir yang

rentan. Peran UU ini menjadi sangat sentral dalam pengaturan reklamasi setelah Mahkamah Konstitusi pada tahun 2010 memutuskan bahwa setiap reklamasi harus didasarkan pada peraturan daerah tentang rencana zonasi (Mahkamah Konstitusi Republik Indonesia, 2010).

Beberapa ketentuan kunci dalam UU PWP3K yang sangat relevan dengan reklamasi adalah:

a. Pasal 7:

Mengamanatkan pemerintah daerah provinsi untuk menyusun dan menetapkan Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K). Seperti telah dibahas, RZWP3K adalah instrumen utama untuk alokasi ruang di wilayah laut hingga 12 mil, dan setiap kegiatan pemanfaatan ruang laut, termasuk reklamasi, harus sesuai dengan rencana zonasi ini.

b. Pasal 16 dan 17:

Mengatur tentang Izin Lokasi dan Izin Pengelolaan. Pasal ini (sebelum era UU Cipta Kerja) menetapkan bahwa setiap orang yang melakukan pemanfaatan ruang di wilayah pesisir secara menetap wajib memiliki izin lokasi dan izin pengelolaan dari bupati/walikota atau gubernur sesuai kewenangannya. Izin ini hanya dapat diberikan jika lokasi tersebut telah dialokasikan untuk kegiatan yang diusulkan dalam RZWP3K. Pasca UU Cipta Kerja, mekanisme perizinan ini terintegrasi ke dalam sistem KKPRL (Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Laut) yang tetap berbasis pada RZWP3K.

c. Pasal 34:

Secara spesifik menyebutkan bahwa reklamasi hanya dapat dilakukan jika ditinjau dari aspek teknis,

lingkungan, dan sosial ekonomi dinyatakan layak dan telah mendapatkan izin. Pasal ini juga melarang reklamasi pada kawasan konservasi, suaka perikanan, dan alur laut, kecuali untuk kepentingan strategis nasional.

UU PWP3K secara fundamental mengubah lanskap hukum reklamasi di Indonesia. Ia menegaskan bahwa reklamasi bukanlah sekadar aktivitas konstruksi, melainkan sebuah bentuk alokasi ruang laut yang harus direncanakan secara komprehensif melalui RZWP3K, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara pembangunan ekonomi dan kelestarian ekologi.

3. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang PPLH (Republik Indonesia, 2009b).

UU ini merupakan payung hukum untuk semua aspek yang berkaitan dengan perlindungan lingkungan hidup di Indonesia. UU PPLH memperkenalkan instrumen-instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup, yang paling utama di antaranya adalah Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Setiap rencana usaha dan/atau kegiatan yang diperkirakan akan menimbulkan dampak penting terhadap lingkungan hidup wajib memiliki AMDAL.

Ketentuan kunci dalam UU PPLH yang menjadi landasan bagi aspek lingkungan dalam proyek reklamasi meliputi:

- a. Pasal 22:

Menetapkan kewajiban memiliki AMDAL bagi rencana usaha dan/atau kegiatan yang (a) mengubah bentuk lahan dan bentang alam secara signifikan, (b) berpotensi menimbulkan pencemaran atau kerusakan

lingkungan hidup, atau (c) pemanfaatannya dapat memengaruhi pelestarian kawasan konservasi. Proyek reklamasi pelabuhan secara inheren memenuhi semua kriteria ini, sehingga wajib hukumnya untuk memiliki AMDAL.

b. Pasal 36:

Mengatur tentang Izin Lingkungan. Pasal ini menyatakan bahwa setiap usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki AMDAL wajib pula memiliki Izin Lingkungan. Izin Lingkungan ini diterbitkan berdasarkan rekomendasi dari hasil penilaian dokumen AMDAL oleh Komisi Penilai AMDAL. Tanpa Izin Lingkungan (atau Persetujuan Lingkungan dalam terminologi UU Cipta Kerja), izin usaha atau izin pelaksanaan konstruksi tidak dapat diterbitkan.

c. Prinsip-prinsip Perlindungan Lingkungan:

UU PPLH juga menggariskan prinsip-prinsip penting yang harus menjadi acuan, seperti prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*), prinsip pencemar membayar (*polluter pays principle*), dan partisipasi masyarakat dalam proses pengambilan keputusan lingkungan.

UU PPLH memastikan bahwa pertimbangan lingkungan menjadi bagian integral dan prasyarat mutlak dalam proses pengambilan keputusan proyek reklamasi. Ia menyediakan mekanisme formal (AMDAL) di mana semua potensi dampak lingkungan dari proyek harus diidentifikasi, dianalisis, dan dicarikan solusi pengelolaannya secara transparan dan melibatkan partisipasi publik, sebelum proyek tersebut dapat memperoleh persetujuan untuk dilaksanakan.

Ketiga undang-undang pokok ini—UU Pelayaran, UU PWP3K, dan UU PPLH—membentuk sebuah "segitiga hukum" yang mengikat setiap proyek reklamasi. Sebuah proyek harus memenuhi aspek fungsional kepelabuhanan (UU Pelayaran), aspek kesesuaian tata ruang laut (UU PWP3K), dan aspek kelayakan lingkungan (UU PPLH) secara simultan. Peraturan-peraturan pemerintah dan menteri yang lebih teknis kemudian akan merinci lebih lanjut bagaimana kewajiban-kewajiban dalam ketiga UU ini harus dipenuhi.

2.1.2. Peraturan Pemerintah dan Peraturan Presiden

Undang-undang pokok yang telah dibahas sebelumnya bersifat umum dan strategis. Untuk dapat diimplementasikan di lapangan, diperlukan peraturan turunan yang lebih teknis dan operasional. Peraturan ini biasanya berbentuk Peraturan Pemerintah (PP) atau Peraturan Presiden (Perpres). Dalam konteks reklamasi pelabuhan, terdapat beberapa PP dan Perpres kunci yang menjadi rujukan utama bagi para perencana dan pelaksana. Peraturan-peraturan ini seringkali mengalami perubahan seiring dengan dinamika kebijakan, terutama setelah lahirnya Undang-Undang Cipta Kerja yang bertujuan untuk menyederhanakan dan menyinkronkan berbagai regulasi.

1. Peraturan Sektor Perhubungan (Kepelabuhanan)

Sebagai turunan dari UU No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran (Republik Indonesia, 2008), pemerintah menerbitkan beberapa PP yang mengatur secara lebih rinci tentang kepelabuhanan. Yang paling relevan adalah Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2009 tentang Kepelabuhanan (Republik Indonesia, 2009a), yang kemudian telah beberapa kali diubah, terakhir melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 (Republik Indonesia, 2021).

PP ini memberikan detail teknis dan administratif mengenai berbagai aspek yang diamanatkan oleh UU Pelayaran. Beberapa poin penting terkait reklamasi antara lain:

a. Detail Rencana Induk Pelabuhan (RIP):

PP ini merinci muatan yang harus ada dalam sebuah dokumen RIP, termasuk di dalamnya adalah rencana peruntukan lahan daratan dan perairan, serta rencana kebutuhan lahan untuk pengembangan jangka pendek, menengah, dan panjang. Ini mempertegas bahwa usulan reklamasi harus memiliki dasar yang kuat dalam dokumen perencanaan jangka panjang pelabuhan.

b. Prosedur Izin Pengerukan dan Reklamasi:

PP ini menguraikan secara lebih detail mengenai prosedur untuk mendapatkan izin pengerukan dan reklamasi dari Menteri Perhubungan. Diatur bahwa permohonan izin harus dilengkapi dengan berbagai dokumen persyaratan, yang pada intinya merupakan hasil dari studi kelayakan, seperti:

- 1) Dokumen studi kelayakan teknis, ekonomi, dan lingkungan.
- 2) Desain teknis awal dari rencana reklamasi.
- 3) Metode kerja pelaksanaan.
- 4) Rekomendasi dari instansi terkait, termasuk gubernur dan bupati/walikota.
- 5) Dokumen lingkungan (AMDAL) yang telah disetujui.

c. Kewajiban Pasca-Reklamasi:

PP ini juga mengatur kewajiban pemegang izin setelah pekerjaan reklamasi selesai, seperti kewajiban untuk

melakukan pemeliharaan terhadap hasil pekerjaan dan melaporkan penyelesaian pekerjaan kepada Menteri Perhubungan.

PP Kepelabuhanan ini berfungsi sebagai panduan operasional bagi Kementerian Perhubungan dan penyelenggara pelabuhan dalam merencanakan dan mengelola kegiatan pembangunan fisik di pelabuhan, termasuk reklamasi. Ia menerjemahkan amanat UU Pelayaran menjadi langkah-langkah administratif yang harus ditempuh oleh inisiator proyek.

2. Peraturan Turunan Sektor Kelautan dan Pesisir

Sebagai turunan dari UU PWP3K, peraturan yang paling signifikan dalam mengatur reklamasi adalah Peraturan Presiden Nomor 122 Tahun 2012 tentang Reklamasi di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (Presiden Republik Indonesia, 2012). Perpres ini, meskipun beberapa ketentuannya telah disesuaikan oleh UU Cipta Kerja dan peraturan turunannya, masih menjadi rujukan penting karena ia adalah satu-satunya peraturan setingkat Perpres yang secara khusus dan komprehensif mengatur tentang reklamasi.

Peraturan Presiden Nomor 122 Tahun 2012 memberikan definisi, kriteria, dan prosedur yang jelas untuk pelaksanaan reklamasi (Presiden Republik Indonesia, 2012). Beberapa poin krusial dari Perpres ini adalah:

a. Definisi dan Tujuan:

Perpres ini mendefinisikan reklamasi sebagai kegiatan untuk meningkatkan manfaat sumber daya lahan dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi melalui pengurugan, pengeringan, atau drainase. Tujuannya

bisa untuk berbagai kepentingan, termasuk pengembangan kawasan pemukiman, industri, jasa, dan tentu saja, infrastruktur seperti pelabuhan.

b. Kriteria Lokasi:

Perpres ini menetapkan kriteria yang sangat penting, yaitu bahwa lokasi reklamasi harus berada pada kawasan budidaya dan sesuai dengan Rencana Tata Ruang (RTRW dan RZWP3K). Ini menegaskan kembali prinsip bahwa reklamasi tidak boleh dilakukan di kawasan lindung atau konservasi.

c. Mekanisme Perizinan (sebelum UU Cipta Kerja):

Perpres ini menguraikan mekanisme perizinan yang terdiri dari dua tahap: Izin Lokasi dan Izin Pelaksanaan Reklamasi. Izin Lokasi berfungsi sebagai izin prinsip yang menyatakan bahwa lokasi tersebut secara tata ruang memang diperbolehkan untuk direklamasi. Setelah Izin Lokasi didapat dan studi kelayakan serta AMDAL selesai, barulah inisiator dapat mengajukan Izin Pelaksanaan Reklamasi. Izin ini dikeluarkan oleh Menteri Kelautan dan Perikanan, Gubernur, atau Bupati/Walikota sesuai dengan kewenangannya.

d. Hak dan Kewajiban:

Perpres ini juga mengatur hak atas tanah hasil reklamasi dan kewajiban pelaksana reklamasi, seperti kewajiban untuk menyediakan lahan untuk fasilitas umum dan fasilitas sosial, serta kewajiban untuk memelihara kelestarian lingkungan hidup.

Meskipun mekanisme perizinan dalam Perpres ini telah terintegrasi ke dalam sistem perizinan berusaha berbasis risiko melalui UU Cipta Kerja (yaitu melalui KKPRL dan Persetujuan Lingkungan), namun prinsip-prinsip dasar, kriteria lokasi, dan kewajiban yang diatur di dalamnya masih sangat relevan dan seringkali diadopsi ke dalam peraturan yang lebih baru. Perpres ini adalah tonggak penting yang menandai upaya pemerintah untuk menata kegiatan reklamasi secara lebih sistematis dan terkendali dari perspektif kelautan dan pesisir (Wiyono & Hufiadi, 2014).

3. Peraturan Turunan Sektor Lingkungan Hidup

Sebagai implementasi dari UU PPLH dan UU Cipta Kerja, pemerintah menerbitkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Republik Indonesia, 2021). PP ini merupakan sebuah peraturan "raksasa" yang mengintegrasikan berbagai ketentuan lingkungan hidup, termasuk yang berkaitan dengan AMDAL dan perizinan lingkungan.

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, menjadi panduan utama bagi penyusunan dokumen lingkungan untuk proyek reklamasi di era pasca-UU Cipta Kerja (Republik Indonesia, 2021). Beberapa perubahan dan penegasan penting yang dibawahnya antara lain:

a. Integrasi Persetujuan Lingkungan:

Konsep "Izin Lingkungan" yang sebelumnya terpisah kini dilebur menjadi Persetujuan Lingkungan. Persetujuan Lingkungan ini bukan lagi izin yang berdiri sendiri, melainkan menjadi prasyarat mutlak yang terintegrasi dalam proses penerbitan Perizinan Berusaha (untuk swasta) atau Persetujuan

Pemerintah (untuk proyek pemerintah). Artinya, tanpa adanya Persetujuan Lingkungan yang didasarkan pada AMDAL yang telah dinilai layak, maka izin untuk melakukan kegiatan (termasuk konstruksi reklamasi) tidak akan pernah bisa terbit.

b. Kriteria Wajib AMDAL:

PP ini melampirkan daftar jenis usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki AMDAL. Dalam daftar tersebut, kegiatan reklamasi dengan luas 5 hektar atau lebih secara eksplisit dinyatakan sebagai kegiatan yang wajib AMDAL. Ini memberikan kepastian hukum mengenai kewajiban AMDAL untuk proyek-proyek reklamasi pelabuhan yang umumnya memiliki skala jauh lebih besar dari itu.

c. Proses Penilaian AMDAL:

PP ini mengatur secara rinci mengenai proses penyusunan dan penilaian AMDAL, termasuk pembentukan Tim Uji Kelayakan Lingkungan Hidup (yang menggantikan Komisi Penilai AMDAL), standar penyusunan dokumen (KA-ANDAL, ANDAL, dan RKL-RPL), serta mekanisme keterlibatan masyarakat. Salah satu penekanan penting adalah pada uji kelayakan, di mana tim penilai harus secara tegas memberikan rekomendasi "layak lingkungan" atau "tidak layak lingkungan".

d. Sanksi Administratif:

PP ini juga mempertegas sanksi administratif bagi pelanggaran di bidang lingkungan hidup, mulai dari teguran tertulis, paksaan pemerintah, denda, hingga pencabutan Persetujuan Lingkungan dan Perizinan Berusaha.

Dengan adanya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, proses persetujuan lingkungan untuk proyek reklamasi menjadi lebih terstruktur dan terintegrasi dengan sistem perizinan berusaha nasional (Republik Indonesia, 2021). Hal ini bertujuan untuk menciptakan proses yang lebih pasti dan efisien, namun tetap dengan menjaga ketat standar kelayakan lingkungan sebagai garda terdepan pencegahan dampak negatif.

2.1.3. Peraturan Menteri

Lapisan regulasi yang paling detail dan teknis berada di tingkat Peraturan Menteri. Masing-masing kementerian sektoral—Kementerian Perhubungan (Kemenhub), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)—mengeluarkan peraturan menteri (Permen) untuk memberikan petunjuk pelaksanaan (juklak) dan petunjuk teknis (juknis) dari undang-undang dan peraturan pemerintah yang ada.

1. Peraturan Menteri Perhubungan (Permenhub)

Kemenhub mengeluarkan berbagai Permenhub yang mengatur detail teknis kepelabuhanan. Contoh yang relevan adalah peraturan mengenai tata cara penyusunan Rencana Induk Pelabuhan, standar desain dermaga, atau prosedur teknis untuk pengajuan izin pengerukan dan reklamasi. Peraturan-peraturan ini menjadi panduan langsung bagi Otoritas Pelabuhan dan konsultan perencana dalam menyusun dokumen-dokumen teknis. Misalnya, sebuah Permenhub mungkin menetapkan secara spesifik format dan konten minimum yang harus ada dalam dokumen permohonan izin reklamasi yang diajukan ke Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.

2. Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan (Permen KP)

KKP, sebagai pembina sektor kelautan, mengeluarkan peraturan menteri yang merinci pelaksanaan UU PWP3K dan PP turunannya. Sebelum era UU Cipta Kerja, KKP mengeluarkan Permen KP yang sangat detail mengenai tata cara penerbitan Izin Lokasi dan Izin Pelaksanaan Reklamasi. Pasca UU Cipta Kerja, peran KKP bergeser menjadi regulator utama dalam penerbitan Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Laut (KKPRL). Oleh karena itu, Permen KP yang relevan saat ini adalah yang mengatur tentang tata cara dan persyaratan untuk mendapatkan KKPRL. Peraturan ini akan merinci, misalnya, bagaimana sistem OSS akan memverifikasi usulan lokasi proyek terhadap Perda RZWP3K yang ada, data apa saja yang harus diunggah oleh pemohon, dan bagaimana prosedur penerbitan persetujuan tersebut.

3. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK)

KLHK mengeluarkan serangkaian Permen LHK yang menjadi panduan wajib bagi para penyusun AMDAL dan tim penilai. Peraturan-peraturan ini sangat teknis dan krusial. Contohnya meliputi:

- a. Permen LHK tentang jenis rencana usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki AMDAL.
- b. Permen LHK tentang pedoman penyusunan dokumen AMDAL (KA-ANDAL, ANDAL, RKL-RPL). Peraturan ini memberikan panduan *step-by-step* mengenai metodologi prakiraan dampak, evaluasi dampak, hingga format penulisan dokumen.

- c. Permen LHK tentang tata laksana uji kelayakan lingkungan hidup.
- d. Permen LHK tentang baku mutu air laut, baku mutu emisi, dan standar-standar lingkungan lainnya yang menjadi acuan dalam memprakirakan dan memantau dampak proyek.

Bagi tim konsultan lingkungan, Permen-permen LHK ini adalah "kitab" harian mereka. Kepatuhan terhadap setiap detail dalam peraturan-peraturan ini seringkali menjadi penentu apakah sebuah dokumen AMDAL akan dinilai "memadai secara administrasi dan teknis" atau akan dikembalikan untuk diperbaiki.

Memahami hierarki regulasi ini—dari UU yang bersifat strategis, PP/Perpres yang bersifat operasional, hingga Permen yang bersifat teknis—adalah kunci untuk menavigasi proses hukum dan perizinan reklamasi. Inisiator proyek harus memastikan bahwa setiap langkah yang diambil dan setiap dokumen yang disusun telah mengacu pada lapisan regulasi yang tepat dan yang paling mutakhir.

2.2. Proses Perizinan Reklamasi

Setelah memahami lanskap regulasi yang ada, langkah selanjutnya adalah menerjemahkan pemahaman tersebut ke dalam sebuah alur proses perizinan yang sistematis. Proses perizinan untuk proyek reklamasi pelabuhan adalah sebuah maraton, bukan sprint. Proses ini melibatkan serangkaian tahapan yang saling terkait dan bersifat sekuensial, artinya satu tahap harus selesai dan disetujui sebelum dapat melangkah ke tahap berikutnya. Sejak implementasi Undang-Undang Cipta Kerja, alur perizinan ini telah mengalami perubahan signifikan, dengan tujuan untuk menyederhanakan, mempercepat, dan

mengintegrasikan berbagai izin ke dalam satu sistem terpadu, yaitu Perizinan Berusaha Berbasis Risiko melalui *Online Single Submission* (OSS).

Meskipun sistem OSS bertujuan untuk menyederhanakan, bukan berarti persyaratan substantif menjadi hilang. Persyaratan-persyaratan dasar seperti kesesuaian tata ruang, kelayakan lingkungan, dan kelayakan teknis tetap menjadi inti dari proses persetujuan. Sistem OSS pada dasarnya mengubah "wajah" atau antarmuka dari proses perizinan, dari yang tadinya berbasis pengajuan dokumen fisik dari satu kementerian ke kementerian lain, menjadi berbasis platform digital yang terintegrasi.

Alur proses perizinan untuk proyek reklamasi pelabuhan di era pasca-UU Cipta Kerja secara umum dapat dibagi ke dalam tiga "gerbang" utama yang harus dilalui secara berurutan:

1. Gerbang Kesesuaian Tata Ruang:

Memastikan bahwa lokasi yang direncanakan untuk reklamasi telah sesuai dengan semua produk perencanaan tata ruang yang relevan.

2. Gerbang Kelayakan Lingkungan:

Membuktikan melalui studi AMDAL yang komprehensif bahwa dampak lingkungan dari proyek dapat dikelola secara bertanggung jawab.

3. Gerbang Perizinan Pelaksanaan:

Mendapatkan izin akhir yang memberikan hak hukum untuk memulai kegiatan konstruksi fisik di lapangan.

Kegagalan dalam melewati salah satu gerbang ini akan menghentikan seluruh proses. Oleh karena itu, setiap gerbang harus dipersiapkan dengan cermat dan dengan pemahaman mendalam mengenai persyaratan substantif yang melandasinya.

Istilah-istilah perizinan ini mengalami evolusi seiring dengan perubahan regulasi. "Izin Lokasi" dan "Izin Pelaksanaan Reklamasi" adalah terminologi yang sangat sentral dalam Peraturan Presiden Nomor 122 Tahun 2012 (Presiden Republik Indonesia, 2012). Di era sekarang, konsep-konsep ini telah bertransformasi menjadi sebuah alur yang terintegrasi dalam sistem OSS. Mari kita urai alur tersebut menggunakan terminologi yang paling mutakhir.

Tahap 1:

Memperoleh Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR)

Ini adalah gerbang pertama dan paling fundamental. Sebelum melakukan investasi lebih lanjut untuk studi detail, inisiator proyek harus terlebih dahulu mendapatkan kepastian bahwa lokasi yang dipilih memang diizinkan secara tata ruang. Dalam sistem OSS, proses ini disebut sebagai pemenuhan persyaratan dasar Perizinan Berusaha, yaitu Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang (KKPR). Untuk kegiatan di laut seperti reklamasi, KKPR ini memiliki nama spesifik: Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Laut (KKPRL).

1. Proses:

Permohonan KKPRL diajukan melalui sistem OSS. Inisiator proyek (misalnya, BUMN Pelabuhan) akan memasukkan data mengenai profil perusahaan, rencana kegiatan, dan yang terpenting, koordinat geografis dari poligon area yang akan direklamasi.

2. Verifikasi:

Sistem OSS akan secara otomatis meneruskan permohonan ini ke Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). KKP kemudian akan melakukan verifikasi dengan cara menumpangtindihkan (*overlay*) poligon yang diajukan dengan peta digital Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) Provinsi yang berlaku.

3. Hasil:

- a. Jika poligon yang diajukan berada sepenuhnya di dalam zona yang diperuntukkan bagi pelabuhan atau reklamasi menurut Perda RZWP3K, maka KKP akan menerbitkan Persetujuan KKPRL. Dokumen inilah yang berfungsi sebagai "Izin Lokasi" di era sebelumnya.
- b. Jika poligon yang diajukan tidak sesuai dengan RZWP3K (misalnya, masuk ke zona konservasi atau perikanan tangkap), maka permohonan akan ditolak. Inisiator harus mencari lokasi lain atau menempuh jalur revisi RZWP3K yang panjang dan kompleks.

Persetujuan KKPRL memberikan kepastian hukum awal bagi inisiator untuk melanjutkan ke tahap berikutnya. Dokumen ini menyatakan bahwa secara spasial, negara telah menyetujui lokasi tersebut untuk kegiatan reklamasi.

Tahap 2:

Memperoleh Persetujuan Lingkungan

Dengan memegang Persetujuan KKPRL, inisiator proyek kini memiliki dasar hukum untuk memulai studi yang lebih mahal dan mendalam, yaitu penyusunan dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

1. Proses Penyusunan dan Penilaian:

Inisiator menunjuk konsultan lingkungan yang terlisensi untuk menyusun dokumen AMDAL, yang terdiri dari Kerangka Acuan (KA), Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL), dan Rencana Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup (RKL-RPL). Proses penyusunan ini wajib melibatkan konsultasi publik untuk menjangkau saran, pendapat, dan tanggapan dari masyarakat terdampak. Setelah selesai, dokumen-dokumen ini diajukan kepada Tim Uji Kelayakan Lingkungan Hidup (TUK-LH) di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) untuk dinilai, karena proyek pelabuhan strategis biasanya menjadi kewenangan pusat.

2. Uji Kelayakan:

TUK-LH, yang terdiri dari para ahli dan perwakilan pemerintah, akan menguji kelayakan lingkungan dari rencana kegiatan tersebut. Mereka akan menilai apakah prakiraan dampak yang dilakukan sudah cermat, dan apakah rencana pengelolaan dan pemantauan yang diusulkan sudah memadai untuk menanggulangi dampak negatif.

3. Hasil:

- a. Jika TUK-LH menilai bahwa proyek tersebut layak lingkungan, mereka akan menerbitkan Rekomendasi Kelayakan Lingkungan. Berdasarkan rekomendasi ini, Menteri LHK akan menerbitkan Surat Keputusan Kelayakan Lingkungan Hidup (SKKLH).
- b. Jika proyek dinilai tidak layak lingkungan, maka akan diterbitkan Surat Keputusan Ketidaklayakan, dan proyek tersebut tidak dapat dilanjutkan.

SKKLH inilah yang kemudian diunggah ke dalam sistem OSS untuk mendapatkan Persetujuan Lingkungan. Persetujuan Lingkungan ini adalah "gerbang" kedua yang berhasil dilewati. Ia menyatakan bahwa dari segi dampak lingkungan, proyek tersebut telah disetujui dengan serangkaian kewajiban pengelolaan dan pemantauan yang mengikat (yang tertuang dalam RKL-RPL).

Tahap 3:

Memperoleh Perizinan Berusaha/Persetujuan Pelaksanaan Konstruksi

Setelah dua gerbang utama (tata ruang dan lingkungan) berhasil dilalui, barulah inisiator dapat melangkah ke gerbang terakhir untuk mendapatkan izin melakukan konstruksi fisik. Dalam konteks reklamasi pelabuhan, izin ini secara spesifik adalah Izin Pengerukan dan Reklamasi yang kewenangannya berada di Kementerian Perhubungan.

1. Proses:

Permohonan untuk izin ini diajukan melalui sistem OSS. Inisiator harus melampirkan semua persetujuan yang telah didapat sebelumnya (terutama Persetujuan KKPR dan Persetujuan Lingkungan). Selain itu, inisiator juga harus melampirkan dokumen teknis yang lebih rinci, seperti *Detailed Engineering Design* (DED) dari rencana reklamasi, spesifikasi material, metode kerja konstruksi, dan jadwal pelaksanaan.

2. Verifikasi Teknis:

Sistem OSS akan meneruskan permohonan ini ke Kementerian Perhubungan (cq. Direktorat Jenderal Perhubungan Laut). Tim teknis dari Kemenhub akan melakukan verifikasi terhadap kelayakan dan keamanan rencana teknis yang diajukan. Mereka akan memastikan

bahwa desain struktur penahan sudah kuat, elevasi reklamasi sudah memperhitungkan kenaikan muka air laut, dan metode kerja tidak akan membahayakan keselamatan pelayaran di sekitarnya.

3. Hasil:

Jika semua persyaratan teknis dinilai telah terpenuhi, maka Menteri Perhubungan akan menerbitkan Izin Pelaksanaan Reklamasi.

Dengan terbitnya Izin Pelaksanaan Reklamasi inilah, inisiator proyek secara hukum telah sah untuk memulai mobilisasi peralatan dan melakukan pekerjaan konstruksi fisik di lapangan. Seluruh proses, dari pengajuan KKPRL hingga terbitnya Izin Pelaksanaan Reklamasi, bisa memakan waktu beberapa tahun, tergantung pada kompleksitas proyek dan kelancaran setiap tahapan. Alur yang terintegrasi melalui OSS ini diharapkan dapat memberikan kepastian waktu yang lebih baik, namun tidak mengurangi ketatnya persyaratan substantif yang harus dipenuhi di setiap "gerbang" perizinan.

2.3. Peran dan Kewenangan Pemerintah Pusat dan Daerah dalam Regulasi

Pengaturan reklamasi di Indonesia melibatkan pembagian peran dan kewenangan yang jelas antara Pemerintah Pusat, Pemerintah Provinsi, dan Pemerintah Kabupaten/Kota. Memahami siapa berwenang melakukan apa adalah hal yang sangat penting untuk menghindari kesalahan prosedur dalam proses perizinan dan koordinasi. Pembagian kewenangan ini didasarkan pada prinsip otonomi daerah dan desentralisasi, namun dengan tetap menempatkan proyek-proyek strategis nasional dalam kendali Pemerintah Pusat. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah menjadi landasan utama dalam pembagian kewenangan ini, terutama dalam urusan kelautan dan penataan ruang (Republik Indonesia, 2014b).

2.3.1. Kewenangan Pemerintah Pusat (Kementerian Perhubungan, KKP, KLHK)

Pemerintah Pusat, melalui kementerian-kementerian teknis, memegang peran sentral dalam pengaturan proyek reklamasi berskala besar dan strategis, terutama yang terkait dengan pengembangan pelabuhan utama.

1. Kementerian Perhubungan (Kemenhub):

Sebagai pembina sektor transportasi, Kemenhub memiliki kewenangan absolut dalam hal teknis kepelabuhanan. Kewenangannya meliputi:

- a. Menetapkan Rencana Induk Pelabuhan (RIP) Nasional dan mengesahkan RIP untuk pelabuhan-pelabuhan utama.
- b. Menerbitkan Izin Pengerukan dan Reklamasi untuk kegiatan yang berada di dalam Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) pelabuhan utama dan pelabuhan pengumpul. Ini adalah kewenangan final yang memberikan "lampu hijau" untuk konstruksi.
- c. Melakukan pengawasan terhadap aspek keselamatan pelayaran selama dan setelah pekerjaan reklamasi.

2. Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP):

Sebagai pembina sektor kelautan, KKP memegang peran kunci dalam aspek tata ruang laut. Kewenangannya adalah:

- a. Memberikan persetujuan dan rekomendasi dalam proses penyusunan Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) oleh provinsi.
- b. Menerbitkan Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Laut (KKPRL) untuk kegiatan yang bersifat

strategis nasional atau yang berada di lintas provinsi. Untuk proyek reklamasi pelabuhan yang masuk dalam PSN, penerbitan KKPRL menjadi kewenangan KKP.

3. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK):

Sebagai otoritas tertinggi di bidang lingkungan, KLHK berwenang penuh atas persetujuan lingkungan untuk proyek-proyek yang memiliki dampak penting dan berskala nasional. Kewenangannya mencakup:

- a. Menetapkan norma, standar, prosedur, dan kriteria (NSPK) untuk perlindungan lingkungan, termasuk baku mutu.
- b. Menjadi instansi penanggung jawab untuk proses penilaian AMDAL bagi kegiatan yang bersifat strategis nasional, berlokasi di lintas provinsi, atau berlokasi di laut lepas (di luar 12 mil).
- c. Menerbitkan Surat Keputusan Kelayakan Lingkungan Hidup (SKKLH) dan Persetujuan Lingkungan yang menjadi prasyarat mutlak bagi perizinan lainnya.

Singkatnya, untuk proyek reklamasi pelabuhan strategis, ketiga kementerian ini menjadi aktor utama yang memegang kunci perizinan di tingkat pusat.

2.3.2. Kewenangan Pemerintah Daerah (Provinsi dan Kabupaten/Kota)

Meskipun proyek pelabuhan strategis banyak ditarik ke pusat, pemerintah daerah tetap memiliki peran dan kewenangan yang signifikan, terutama dalam hal perencanaan tata ruang wilayahnya.

1. Pemerintah Provinsi:

Berdasarkan UU No. 23 Tahun 2014 (Republik Indonesia, 2014b), Pemerintah Provinsi memiliki kewenangan utama dalam pengelolaan wilayah laut dari garis pantai hingga 12 mil. Kewenangan ini sangat krusial untuk reklamasi. Peran utamanya adalah:

- a. Menyusun dan menetapkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi.
- b. Menyusun dan menetapkan Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) Provinsi dalam bentuk Peraturan Daerah (Perda). Perda RZWP3K inilah yang menjadi dasar hukum utama bagi KKP dalam menerbitkan KKPR. Tanpa adanya Perda ini, secara de jure tidak ada kegiatan pemanfaatan ruang laut yang dapat diizinkan.
- c. Memberikan rekomendasi atau pertimbangan dalam proses perizinan yang ditarik ke pusat, sebagai representasi dari kepentingan daerahnya.

2. Pemerintah Kabupaten/Kota:

Setelah UU No. 23 Tahun 2014 (Republik Indonesia, 2014b), kewenangan kabupaten/kota di wilayah laut dihapuskan dan ditarik ke provinsi. Namun, mereka tetap memiliki peran penting dalam penataan ruang di wilayah daratnya. Kewenangannya meliputi:

- a. Menyusun dan menetapkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten/Kota. RTRW ini harus selaras dengan RTRW Provinsi.
- b. Mengatur dan mengendalikan pembangunan infrastruktur pendukung di darat yang akan terhubung dengan pelabuhan hasil reklamasi, seperti jalan akses, drainase, dan utilitas lainnya.
- c. Memberikan rekomendasi dalam proses AMDAL dan perizinan lainnya, terutama yang berkaitan dengan dampak sosial-ekonomi terhadap masyarakat di wilayahnya.

Pembagian kewenangan ini menciptakan sebuah sistem *checks and balances*. Meskipun Pemerintah Pusat memiliki kewenangan eksekusi untuk proyek strategis, pelaksanaannya tetap harus berlandaskan pada produk hukum tata ruang (RTRW dan RZWP3K) yang disusun dan ditetapkan oleh Pemerintah Daerah dengan melibatkan partisipasi masyarakat lokal. Koordinasi dan komunikasi yang efektif antara semua tingkatan pemerintahan ini menjadi kunci keberhasilan implementasi proyek reklamasi yang kompleks.



BAB 3

DASAR-DASAR TEKNIK PANTAI

3.1. Pendahuluan

Wilayah pesisir merupakan zona transisi antara daratan dan laut yang sangat dinamis serta memiliki peran penting dalam kegiatan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Keberadaan permukiman padat penduduk, pelabuhan, kawasan wisata, dan industri di wilayah pesisir menjadikan kawasan ini sangat rentan terhadap dampak dari proses oseanografis seperti gelombang, pasang surut, dan erosi. Dalam konteks ini, teknik pantai (*coastal engineering*) hadir sebagai bidang keilmuan yang berupaya memahami dan mengelola dinamika wilayah pesisir demi tujuan perlindungan dan pemanfaatan yang berkelanjutan (Dean & Dalrymple, 2002).

Teknik pantai mencakup kegiatan perencanaan, perancangan, dan pengelolaan struktur atau sistem untuk melindungi pantai dari erosi, mendukung reklamasi, mengelola sedimentasi, serta meningkatkan stabilitas garis pantai. Menurut Komar (1998), hampir seluruh proses pergerakan dan transportasi sedimen di wilayah pesisir dipengaruhi oleh dinamika gelombang dan arus laut. Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap proses fisis pantai menjadi landasan penting dalam penerapan teknik pantai.

Kebutuhan akan teknik pantai semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk pesisir dan perubahan iklim global. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021) memperingatkan bahwa kenaikan muka laut dan meningkatnya frekuensi badai tropis dapat memperburuk kondisi garis pantai, menimbulkan kerusakan infrastruktur, serta memperluas wilayah yang terdampak banjir rob. Dalam skenario ini, teknik pantai tidak hanya berperan sebagai pelindung fisik, tetapi juga sebagai alat adaptasi terhadap perubahan iklim yang berbasis bukti dan pendekatan ilmiah.

Teknik pantai juga sangat berkaitan dengan pendekatan interdisipliner. Selain aspek teknik sipil, pendekatan ini juga melibatkan bidang oseanografi, geologi pantai, ekologi, dan kebijakan tata ruang. French (2001) menyatakan bahwa pendekatan multidisiplin sangat penting dalam memahami interaksi antara faktor alami dan aktivitas manusia di wilayah pesisir. Hal ini memberikan landasan untuk merancang solusi teknik yang tidak hanya efektif secara struktural, tetapi juga ramah lingkungan dan sosial.

Akhirnya, teknik pantai di era modern memanfaatkan teknologi canggih seperti pemodelan numerik (Delft3D, SWAN, MIKE21), analisis spasial berbasis GIS, dan penginderaan jauh untuk mendukung perencanaan dan pengambilan keputusan. Dengan pendekatan berbasis data dan permodelan, insinyur pantai dapat merancang intervensi yang adaptif dan berbasis

risiko. Oleh karena itu, pengembangan teknik pantai harus diarahkan tidak hanya untuk melindungi kawasan pesisir saat ini, tetapi juga untuk memastikan keberlanjutannya bagi generasi mendatang (Goda, 2000).

3.2. Pantai

Pantai adalah sebuah bentuk geografis yang terdiri dari pasir, dan terdapat di daerah pesisir laut. Daerah pantai menjadi batas antara daratan dan perairan laut. Kawasan pantai berbeda dengan pesisir walaupun antara keduanya saling berkaitan. Panjang garis pantai diukur mengelilingi seluruh pantai yang merupakan daerah teritorial suatu negara.

Profil pantai bentuknya sangat dipengaruhi oleh hempasan gelombang, sifat sedimen, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus serta bathimetri pantai. Pantai bisa terbentuk dari material dasar yang berupa lumpur, pasir atau kerikil. Kelandaian pantai tergantung pada bentuk dan ukuran material dasar. Kelandaian pantai lumpur sangat kecil mencapai 1:5000, kelandaian pantai pasir lebih besar yang berkisar antara 1:20 dan 1:50, dan kelandaian pantai kerikil bisa mencapai 1:4.

Pantai berlumpur banyak dijumpai di daerah pantai di mana banyak sungai yang mengangkut sedimen suspensi yang bermuara di pantai tersebut dan gelombangnya relatif kecil. Contoh pantai berlumpur di Indonesia adalah Pantai utara Jawa dan timur Sumatera, sedangkan pantai berpasir adalah sebagian besar pantai yang menghadap ke Samudera Indonesia, seperti pantai selatan Jawa, Bali, Nusa Tenggara, dan pantai barat Sumatera.

1. Pantai Pasir

Pantai pasir mempunyai bentuk serupa seperti pada Gambar 1. Pada gambar tersebut pantai dibagi menjadi *backshore* dan *foreshore*. Batas antara kedua zona tersebut

adalah puncak berm, yaitu titik dari runup maksimum pada kondisi gelombang normal (biasa). Pengertian runup itu adalah naiknya gelombang pada permukaan miring. Pada saat terjadi gelombang badai runup gelombang mencapai batas antara pesisir dan pantai. Batas daerah surfzone adalah terbentang dari titik di mana gelombang pertama kali pecah sampai titik runup di sekitar gelombang pecah. Pada lokasi terjadinya gelombang pecah terdapat bar (tonjolan) berupa gundukan pasir di dasar yang memanjang sepanjang pantai sehingga biasa disebut sebagai longshore bar.

Pantai akan membentuk profilnya agar mampu menghancurkan energi gelombang pada kondisi gelombang normal. Namun jika terjadi gelombang yang lebih besar maka pantai tidak akan mampu meredam energi gelombang sehingga terjadilah erosi. Sedimen pantai yang tererosi akan terangkut ke arah laut dan setelah sampai di daerah yang kecepatan arus di dasarnya kecil maka sedimen tersebut akan terendap. Endapan sedimen tersebut akan terakumulasi dan membentuk offshore bar, yaitu gundukan sedimen di dasar pantai yang memanjang sejajar pantai. Offshore bar berada pada lokasi yang kedalaman airnya kecil, sehingga menyebabkan lokasi gelombang pecah berada lebih jauh dari garis pantai.



Gambar 3.1. Profil Pantai
(Sumber : Shore Protection Manual)

2. Pantai Berlumpur

Pantai berlumpur terjadi di daerah pantai di mana terdapat banyak muara sungai yang membawa sedimen suspense dalam jumlah besar ke laut. Selain itu kondisi gelombang di pantai tersebut relatif tenang sehingga tidak mampu membawa (dispersi) sedimen tersebut ke perairan dalam di laut lepas. Sedimen suspense tersebut dapat menyebar pada suatu daerah perairan yang luas sehingga membentuk pantai yang luas, datar dan dangkal. Kemiringan dasar laut/pantai sangat kecil.

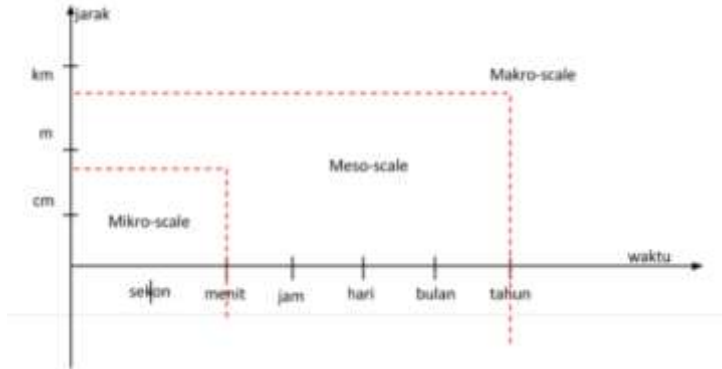
Pantai berlumpur biasanya sangat rendah dan merupakan daerah rawa yang terendam air pada saat muka air tinggi (pasang). Daerah ini sangat subur bagi tumbuhan pantai seperti pohon bakau (mangrove). Mangrove adalah tumbuhan berupa semak dan pohon dengan akar tunggang, yaitu akar yang banyak tumbuh dari batang menjadi penopang tumbuhan tersebut.



Gambar 3.2. Pantai Berlumpur
(Sumber: <http://kelestarianhutan>)

Mempelajari tentang proses pantai, maka kita dapat membedakan proses yang terjadi di pantai dalam beberapa skala yang secara skematis dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.3. (Horikawa, 1978). Perubahan skala panjang (*macro scale*) meliputi perubahan pantai karena proses geologi, naiknya muka air laut, dan sebagainya.

Perubahan skala sedang (*meso scale*) adalah perubahan harian karena pasang surut, perubahan tahunan karena suplai sedimen yang tidak seimbang. Yang termasuk perubahan skala pendek (*micro scale*) adalah perubahan yang terjadi dalam satu siklus gelombang atau dalam satu kelompok gelombang.



Gambar 3.3. Skala proses pantai (Horikawa, 1978)

Seperti telah dikemukakan, pantai selalu mengalami perubahan. Dalam skala pendek (mikro scale) pantai berubah pada setiap gerakan ombak dan pasang-surut air laut. Pada skala yang lebih lama (meso scale) pantai mengalami perubahan musiman karena berubahnya karakteristik musim yang mempunyai siklus tahunan. Perubahan pada tingkat micro dan meso scale ini umumnya didominasi oleh angkutan sedimen tegak-lurus pantai (*on-off shore* dan *cross-shore* sediment transport). Pada skala waktu dan ruang yang lebih panjang pantai dapat dikatakan mengalami erosi atau akresi bila garis pantai rata-rata maju atau mundur selama jangka waktu tersebut. Jangka waktu perubahan macro scale ini perlu dicermati karena seringkali pantai mengalami perubahan siklik yakni perubahan dengan periode ulang jangka panjang, sehingga pantai mungkin mengalami erosi selama beberapa tahun diikuti dengan akresi selama tahun-tahun berikutnya. Oleh karenanya perubahan macro scale harus dilihat dari catatan/pengukuran selama bertahun-tahun. Karena sifat perubahannya, perubahan *macro scale* lebih tergantung pada imbalan angkutan sedimen sejajar pantai (*longshore transport*).

3.3. Proses Dinamika Pantai

Dinamika pantai merujuk pada proses-proses fisik yang terjadi secara alami di wilayah pesisir akibat interaksi antara atmosfer, laut, dan daratan. Proses utama yang memengaruhi stabilitas dan morfologi pantai antara lain adalah gelombang laut, arus pantai, pasang surut, dan angin. Semua proses ini bekerja secara kompleks dan saling memengaruhi dalam membentuk atau mengikis garis pantai. Oleh karena itu, pemahaman terhadap dinamika pantai menjadi prasyarat utama dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek teknik pantai (Komar, 1998).

Gelombang laut adalah kekuatan dominan dalam proses perubahan pantai. Ketika gelombang bergerak dari laut dalam menuju perairan dangkal, ia mengalami transformasi seperti refraksi, difraksi, hingga pecah di pantai. Proses ini menghasilkan energi yang dapat menyebabkan erosi atau akresi tergantung pada arah datang dan tinggi gelombangnya. Dean and Dalrymple (2002) menekankan bahwa “transformasi gelombang menentukan distribusi energi sepanjang pantai dan menjadi indikator utama dalam mendesain struktur pantai”.

Selain gelombang, arus pantai juga memainkan peran penting dalam transportasi sedimen. Arus sejajar pantai (longshore current) yang dihasilkan oleh gelombang miring ke pantai, mengangkut pasir secara horizontal sepanjang garis pantai. Sementara itu, arus tegak lurus pantai (cross-shore current) menggerakkan sedimen masuk dan keluar dari pantai, terutama saat gelombang badai. Menurut U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2002), pola arus ini secara langsung membentuk profil pantai dan menentukan stabilitas garis pantai dari waktu ke waktu.

Pasang surut dan angin juga memberikan pengaruh besar dalam sistem pantai. Pasang surut menentukan area mana dari pantai yang terpapar atau terendam secara periodik, sehingga memengaruhi pola erosi dan sedimentasi. Di sisi lain,

angin tidak hanya mengontrol pembentukan gelombang, tetapi juga dapat membentuk gunduk pasir (dune) yang menjadi benteng alami terhadap badai dan gelombang tinggi. Fenomena ini penting dalam sistem pantai berpasir yang luas, seperti di Australia dan Pantai Selatan Jawa (Bird, 2000).

Dinamika pantai tidak hanya bersifat fisik tetapi juga temporal dan spasial. Artinya, perubahan garis pantai dapat terjadi dalam skala harian hingga tahunan, tergantung musim, intensitas badai, dan gangguan antropogenik. Oleh karena itu, pengukuran berkelanjutan serta pemodelan numerik sangat diperlukan untuk memahami tren jangka panjang. Model seperti Delft3D dan SWAN telah digunakan secara luas dalam simulasi perubahan garis pantai dan perencanaan intervensi (Roelvink & Reniers, 2012). Dengan pendekatan ilmiah yang terukur, intervensi teknik pantai dapat lebih tepat sasaran dan berkelanjutan.

3.4. Erosi dan Akresi

Erosi pantai adalah proses pengikisan material pantai oleh aksi gelombang, arus, pasang surut, dan badai, yang menyebabkan mundurnya garis pantai. Fenomena ini merupakan salah satu permasalahan paling umum dan serius di wilayah pesisir karena dapat menyebabkan hilangnya lahan, rusaknya infrastruktur, dan terganggunya ekosistem pesisir. Menurut Bird (2000), erosi pantai adalah hasil dari ketidakseimbangan antara pasokan dan pengangkutan sedimen dalam sistem pantai yang dinamis.

Akresi pantai adalah proses alami penambahan material sedimen ke wilayah pantai, yang mengakibatkan bertambahnya luas daratan atau kemajuan garis pantai ke arah laut. Berbeda dengan erosi yang mengikis daratan, akresi justru memperluas wilayah pesisir melalui deposisi pasir, lumpur, atau material lainnya yang terbawa oleh arus dan gelombang. Menurut Komar (1998), akresi merupakan bagian dari siklus dinamis pantai

yang menunjukkan kemampuan alami sistem pantai dalam memulihkan atau menyeimbangkan diri terhadap gangguan eksternal.

3.4.1. Erosi Pantai

Proses erosi biasanya dipicu oleh gelombang berenergi tinggi yang memukul pantai secara terus-menerus. Ketika energi gelombang yang datang lebih besar daripada kapasitas pantai untuk menyerap atau menggantikan sedimen yang hilang, maka akan terjadi pengikisan. Dean and Dalrymple (2002) menjelaskan bahwa energi gelombang tinggi yang datang selama musim badai atau akibat cuaca ekstrem sangat berkontribusi terhadap peristiwa erosi besar-besaran. Dalam banyak kasus, hanya dalam beberapa hari, pantai yang stabil dapat kehilangan sejumlah besar sedimen karena kombinasi gelombang tinggi dan air pasang.



Gambar 3.4. Kerusakan akibat erosi pantai

Selain faktor alami, aktivitas manusia juga mempercepat laju erosi pantai. Pembangunan infrastruktur seperti pelabuhan, groin, dan pemecah gelombang tanpa perencanaan sedimentasi yang tepat dapat mengganggu arus dan distribusi sedimen alami. Komar (1998) menyatakan bahwa intervensi manusia

sering kali menyebabkan terputusnya aliran sedimen dari sungai ke pantai, sehingga mengurangi pasokan material pengisi pantai. Hal ini juga terjadi akibat pengerukan pasir pantai yang tidak terkontrol serta deforestasi vegetasi pelindung seperti mangrove.

Dampak dari erosi pantai sangat merugikan. Di berbagai daerah di Indonesia, erosi telah menyebabkan hilangnya pemukiman, sawah, dan infrastruktur publik seperti jalan raya dan jembatan. Selain kerugian ekonomi, erosi juga mengancam keberlanjutan ekosistem pantai seperti padang lamun, hutan mangrove, dan terumbu karang yang bergantung pada kestabilan garis pantai. USACE (2002) menekankan bahwa keberhasilan pengelolaan pantai bergantung pada pemahaman menyeluruh mengenai proses erosi dan faktor pemicunya.

Penting untuk memahami bahwa erosi bersifat kompleks dan tidak selalu bersifat linier. Dalam beberapa kasus, pantai dapat mengalami erosi musiman yang bersifat sementara dan pulih secara alami (*natural recovery*). Namun, jika laju erosi melampaui kapasitas alami pemulihan pantai, maka intervensi teknik dibutuhkan. Oleh karena itu, pemetaan zona rawan erosi serta monitoring jangka panjang menjadi komponen kunci dalam manajemen wilayah pesisir (Goda, 2000).

Berbagai pendekatan teknik telah dikembangkan untuk menanggulangi erosi pantai, mulai dari struktur keras seperti seawall dan revetment hingga pendekatan lunak seperti restorasi vegetasi dan pengisian kembali pasir (*beach nourishment*). Pilihan intervensi harus mempertimbangkan kondisi fisik pantai, sumber daya lokal, serta aspek sosial dan ekologis. Menurut French (2001), strategi penanganan erosi yang berhasil adalah yang mampu mengintegrasikan antara perlindungan infrastruktur dan pelestarian lingkungan secara seimbang.

3.4.2. Akresi Pantai

Proses akresi terjadi akibat penurunan energi gelombang atau arus sehingga sedimen yang terbawa tidak lagi memiliki cukup tenaga untuk ditransportasikan, lalu terendapkan di dekat pantai. Fenomena ini umum terjadi pada sisi pantai yang terlindungi dari gelombang besar, seperti di balik tanjung, pulau kecil, atau struktur pelindung seperti breakwater. Dean and Dalrymple (2002) mencatat bahwa kondisi topografi dasar laut yang landai dan pasokan sedimen yang stabil sangat menunjang proses akresi alami.

Selain faktor hidrodinamika, vegetasi pesisir seperti mangrove dan rumput laut juga berkontribusi terhadap proses akresi. Akar-akar tumbuhan tersebut memperlambat arus dan menjerat sedimen yang terbawa, sehingga mempercepat penimbunan material. Menurut Bird (2000), kawasan mangrove yang sehat dapat menangkap hingga beberapa sentimeter lumpur per tahun, yang dalam jangka panjang menghasilkan kemajuan daratan yang signifikan. Oleh karena itu, rehabilitasi vegetasi pesisir sering kali digunakan sebagai strategi akresi berbasis alam.



Gambar 3.5. Akresi pantai

Meskipun akresi dianggap sebagai proses positif, dalam beberapa kasus ia juga menimbulkan tantangan, terutama jika terjadi di lokasi yang tidak diinginkan atau mengganggu fungsi pelabuhan dan jalur pelayaran. Sedimentasi berlebih di mulut sungai atau kolam pelabuhan dapat menyulitkan akses kapal dan menuntut pengerukan rutin yang mahal. USACE (2002) menekankan bahwa pengelolaan akresi harus mempertimbangkan keseimbangan antara manfaat ekologis dan dampak teknis terhadap infrastruktur pesisir.

Dalam konteks teknik pantai, akresi juga bisa dipicu oleh intervensi buatan. Pembangunan struktur seperti groin atau detached breakwater sering kali dimaksudkan untuk menjebak sedimen dan membentuk pantai yang lebih lebar. Namun, keberhasilan strategi ini sangat bergantung pada pemahaman yang baik terhadap arah transportasi sedimen dominan. Jika desain struktur tidak memperhitungkan dinamika regional, maka akresi lokal dapat menyebabkan erosi di tempat lain (Pilkey & Wright, 1988).

Akresi juga memainkan peran penting dalam kegiatan reklamasi pantai. Dalam banyak proyek reklamasi, proses akresi alami dimanfaatkan sebagai dasar untuk memperluas daratan secara bertahap, sebelum dilakukan pengurugan buatan. French (2001) menyebutkan bahwa kombinasi antara akresi alami dan teknik sipil dapat mengurangi biaya reklamasi dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan, terutama jika digabungkan dengan pendekatan berbasis vegetasi atau zona penyangga ekologis.

Dengan demikian, akresi bukan hanya fenomena geomorfologi, tetapi juga komponen penting dalam manajemen wilayah pesisir. Pemahaman mendalam

mengenai proses akresi memungkinkan perencanaan tata ruang pantai yang lebih adaptif, termasuk dalam mitigasi risiko banjir rob, perlindungan ekosistem, serta optimalisasi ruang untuk pembangunan. Ketika dikombinasikan dengan pendekatan konservasi dan teknologi modern, akresi dapat menjadi bagian dari solusi jangka panjang dalam pengelolaan pantai yang berkelanjutan.

3.5. Struktur Perlindungan Pantai

Struktur Perlindungan Pantai adalah bangunan atau sistem buatan manusia yang dirancang untuk melindungi wilayah pesisir dari kerusakan akibat proses alami laut, seperti erosi, gelombang tinggi, pasang surut, arus, dan badai. Tujuan utamanya adalah menjaga stabilitas garis pantai, melindungi aset dan infrastruktur di pesisir, serta mengendalikan proses sedimentasi agar tidak menimbulkan kerusakan baru.

Fungsi Utama Struktur Perlindungan Pantai :

1. Mengurangi energi gelombang yang menghantam pantai.
2. Menstabilkan garis pantai dari perubahan akibat erosi atau akresi ekstrem.
3. Melindungi permukiman, jalan, pelabuhan, dan fasilitas penting lainnya.
4. Mengatur aliran dan transportasi sedimen agar tetap seimbang.
5. Menambah luas daratan dalam proyek reklamasi.

3.5.1. Struktur Keras

Struktur keras (*hard engineering structures*) dalam teknik pantai adalah bentuk intervensi fisik permanen yang dirancang untuk mengontrol dinamika pantai, melindungi garis pantai dari erosi, dan menjaga stabilitas wilayah pesisir. Struktur-struktur ini dibangun dari bahan seperti beton, batu besar (revetment), baja,

atau geotekstil yang diformulasikan untuk menahan energi gelombang dan mengarahkan aliran sedimen. Menurut Dean and Dalrymple (2002), pendekatan struktural ini merupakan respons tradisional terhadap tekanan abrasi, banjir rob, dan ancaman terhadap infrastruktur pesisir.



Gambar 3.6. *Breakwater*

(Sumber :

<https://saykarinfratech.com/services/breakwater/>)

Salah satu jenis struktur keras paling umum adalah breakwater, yaitu bangunan pemecah gelombang yang ditempatkan sejajar atau miring terhadap garis pantai. Breakwater berfungsi meredam energi gelombang sebelum mencapai pantai, menciptakan perairan tenang di belakangnya yang dapat dimanfaatkan untuk pelabuhan atau melindungi pantai dari erosi langsung. Terdapat dua jenis utama: breakwater terbuka

(detached) dan terhubung ke daratan (attached). Komar (1998) menyatakan bahwa breakwater sering kali menyebabkan akumulasi sedimen di sisi terlindung namun bisa memicu erosi di sisi lainnya akibat perubahan pola arus.

Groin atau krib adalah struktur tegak lurus pantai yang bertujuan menghambat aliran sedimen sejajar pantai. Groin bekerja dengan memblokir longshore sediment transport dan menjebak pasir di sisi hulu arus. Struktur ini efektif dalam membentuk kembali pantai yang menyempit, namun jika dibangun secara individual tanpa sistem groin-field yang dirancang dengan cermat, dapat menyebabkan erosi serius di sisi hilirnya. Pilkey and Wright (1988) memperingatkan bahwa pemasangan groin yang tidak seimbang justru memindahkan masalah erosi ke tempat lain, bukannya menyelesaikan secara menyeluruh.



Gambar 3.7. *Groin*

Seawall adalah struktur vertikal yang dibangun sejajar dengan garis pantai dan berfungsi untuk menahan hempasan gelombang secara langsung, terutama di

daerah dengan nilai ekonomi tinggi seperti kawasan perkotaan dan wisata. *Seawall* melindungi properti dan infrastruktur dari kerusakan akibat abrasi, namun dapat menyebabkan hilangnya pantai di depannya karena refleksi gelombang mempercepat erosi dasar pantai. USACE (2002) menyatakan bahwa desain seawall harus mempertimbangkan efek reflektif terhadap sedimen agar tidak mengurangi efektivitas jangka panjangnya.



Gambar 3.8. *Seawall*

(Sumber: <https://kumparan.com/bagus-kurniansyah/macam-macam-bangunan-pelindung-pantai-1utaXKVDizh/3>)

Selain seawall, revetment juga digunakan untuk perlindungan pantai. Revetment biasanya memiliki permukaan miring dan dibangun dengan susunan batu besar (armor rocks) atau blok beton. Fungsinya mirip dengan seawall, namun karena bentuknya yang lebih adaptif terhadap gelombang, revetment cenderung memiliki dampak reflektif yang lebih rendah. Revetment sering digunakan di sepanjang sungai, tanggul pantai, dan

jalan raya pesisir. Menurut French (2001), revetment yang dirancang dengan sistem filter geotekstil mampu memperpanjang umur struktur dan mengurangi risiko kerusakan akibat pencucian material halus dari balik struktur.

Struktur keras umumnya efektif dalam perlindungan jangka pendek dan menyediakan pengamanan terhadap aset ekonomi penting, namun cenderung bersifat tidak adaptif terhadap perubahan lingkungan jangka panjang seperti kenaikan muka laut. Selain itu, dampaknya terhadap ekosistem dan morfologi pantai harus dipertimbangkan dengan hati-hati. Oleh karena itu, pendekatan kombinasi antara struktur keras dan lunak (*hybrid engineering*) kini semakin direkomendasikan dalam praktik teknik pantai modern (Roelvink & Reniers, 2012).

Perencanaan pembangunan struktur keras harus didasarkan pada studi hidrodinamika, data sedimentasi, dan simulasi numerik yang akurat. Kegagalan memahami pola arus dan arah transportasi sedimen dapat membuat struktur menjadi kontraproduktif.

3.5.2. Struktur Lunak

Struktur lunak (*soft engineering*) dalam teknik pantai merujuk pada pendekatan non-struktural atau semi-alami yang dirancang untuk bekerja bersama proses alami pantai, bukan menahannya secara langsung seperti struktur keras. Pendekatan ini semakin diminati karena menawarkan solusi berkelanjutan, ramah lingkungan, dan adaptif terhadap perubahan iklim serta dinamika laut yang kompleks. Menurut French (2001), struktur lunak bukan hanya alat perlindungan pantai, tetapi juga strategi konservasi ekosistem pesisir.



Gambar 3.9. Kawasan mangrove yang rusak
(Sumber : <https://lestari.kompas.com/read/>)

Salah satu metode paling umum dalam struktur lunak adalah rehabilitasi vegetasi pantai, terutama dengan penanaman mangrove, rumput laut, dan rumput pantai seperti *Ipomoea pes-caprae*. Vegetasi ini memiliki kemampuan untuk meredam gelombang, menahan sedimen, dan memperkuat struktur tanah. Akar-akarnya menjebak lumpur, sementara tajuknya memperlambat aliran air, mengurangi energi gelombang yang mencapai pantai. Bird (2000) menyatakan bahwa kawasan mangrove yang sehat mampu menstabilkan pantai lebih efektif dibandingkan banyak struktur buatan.

Pengisian kembali pasir pantai (beach nourishment) adalah teknik lunak lainnya yang banyak diterapkan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Teknik ini melibatkan pengambilan pasir dari daerah luar (offshore atau estuari) untuk disebarkan kembali ke pantai yang tererosi. Tujuannya adalah mengembalikan bentuk alami pantai, memperlebar garis pantai, dan menyediakan penyangga alami terhadap gelombang ekstrem. Komar (1998) menekankan bahwa meskipun

bersifat temporer, pengisian kembali yang dilakukan secara periodik dapat sangat efektif bila dikombinasikan dengan vegetasi.

Dune management atau penataan bukit pasir (sand dune) merupakan pendekatan berbasis morfologi alami pantai. Bukit pasir bertindak sebagai benteng alami terhadap badai dan intrusi air laut. Dalam praktiknya, manajemen dune dilakukan dengan penanaman vegetasi khusus seperti *Spinifex* atau *Pandanus*, serta pemasangan pagar penahan pasir (sand fences) untuk mencegah pergerakan pasir oleh angin. USACE (2002) menyebutkan bahwa pemeliharaan bukit pasir sangat penting sebagai bagian dari sistem pelindung pantai terpadu.

Pendekatan lunak juga dapat melibatkan zona buffer atau sabuk hijau pesisir. Konsep ini menekankan pentingnya menjaga jarak antara garis pantai aktif dengan kawasan pembangunan melalui tata ruang yang bijak. Buffer zone ini mengurangi risiko kerusakan infrastruktur dan memberi ruang bagi proses alami seperti akresi dan fluktuasi pasang. Dean and Dalrymple (2002) menegaskan bahwa perencanaan zonasi pantai harus didasarkan pada proyeksi jangka panjang perubahan garis pantai dan kenaikan muka laut.

Keunggulan struktur lunak terletak pada kemampuannya untuk beregenerasi, menyesuaikan diri, dan sekaligus memperbaiki kualitas lingkungan. Misalnya, selain melindungi pantai, vegetasi mangrove juga meningkatkan biodiversitas, menjadi habitat bagi biota laut, dan menyerap karbon. Inilah sebabnya mengapa pendekatan ini sangat sejalan dengan prinsip nature-based solutions dalam mitigasi perubahan iklim dan pengurangan risiko bencana pesisir (IPCC, 2021).

Namun demikian, penerapan struktur lunak membutuhkan waktu, pemeliharaan berkelanjutan, dan dukungan masyarakat lokal. Tidak seperti struktur keras yang efeknya bisa langsung terlihat, hasil dari struktur lunak biasanya bersifat bertahap. Oleh karena itu, edukasi dan pelibatan komunitas menjadi kunci sukses implementasinya. Menurut French (2001), keberhasilan pendekatan lunak bergantung pada integrasi antara teknologi, kelembagaan, dan pemahaman budaya masyarakat pesisir.

Dengan mempertimbangkan efisiensi biaya jangka panjang, dampak lingkungan yang minimal, serta nilai tambah ekologis, struktur lunak kini semakin banyak dipilih sebagai bagian dari strategi manajemen pantai terpadu. Pendekatan ini tidak hanya merespons tantangan pesisir secara teknis, tetapi juga memperkuat ketahanan sosial dan ekologis terhadap dinamika perubahan alam. Maka dari itu, dalam konteks pembangunan berkelanjutan, struktur lunak merupakan pilihan yang relevan dan perlu terus dikembangkan.

3.6. Interaksi Laut dan Struktur Buatan

Interaksi antara laut dan struktur buatan (coastal structures) merupakan topik fundamental dalam teknik pantai, karena keberhasilan suatu infrastruktur pesisir sangat ditentukan oleh pemahaman terhadap gaya-gaya alami laut dan respons struktur terhadap gaya tersebut. Struktur seperti breakwater, groin, seawall, jetty, dan platform lepas pantai dibangun untuk melindungi pantai, memfasilitasi pelayaran, atau mendukung aktivitas industri laut. Namun, laut adalah lingkungan yang sangat dinamis. Tanpa perhitungan dan desain yang tepat, struktur dapat gagal berfungsi atau bahkan memperburuk kondisi pesisir seperti erosi atau sedimentasi tidak terkendali.

3.6.1. Gaya-Gaya Laut yang Berinteraksi dengan Struktur

Struktur buatan di wilayah pesisir dan laut harus dirancang untuk menghadapi berbagai gaya alami yang berasal dari dinamika laut. Gaya-gaya ini bersifat kompleks dan saling memengaruhi, sehingga pemahaman mendalam terhadap masing-masing gaya sangat penting dalam perencanaan dan desain struktur pantai yang aman dan efektif. Interaksi antara laut dan struktur akan menimbulkan beban yang bervariasi dalam arah, frekuensi, dan intensitas, tergantung pada jenis gaya laut dan karakteristik strukturnya.

1. Gaya Gelombang (*Wave Forces*)

Gelombang laut adalah sumber gaya paling dominan yang bekerja pada struktur pantai. Gelombang membawa energi yang dapat menghasilkan gaya tekan (*impact*) maupun gaya angkat (*uplift*) terhadap bagian struktur yang terkena langsung. Jenis gelombang yang bekerja terhadap struktur dapat berupa gelombang pecah (*breaking waves*), gelombang geser (*surgings*), atau gelombang pantul. Menurut Dean and Dalrymple (2002), tekanan akibat gelombang dapat menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan, terutama saat terjadi gelombang ekstrem seperti badai tropis atau tsunami.

2. Gaya Arus Laut (*Current Forces*)

Arus laut memberikan beban horizontal secara terus-menerus pada struktur yang tertanam atau berdiri di dalam air, seperti tiang-tiang jembatan, jetty, dan platform lepas pantai. Gaya arus dihitung berdasarkan kecepatan arus dan luas permukaan struktur yang terkena. Selain gaya langsung, arus juga dapat menyebabkan *scouring* atau penggerusan

material dasar di sekitar fondasi struktur. Komar (1998) menjelaskan bahwa scouring menjadi salah satu penyebab utama ketidakstabilan fondasi pada struktur pantai yang tidak dilindungi.

3. Tekanan Hidrostatik dan Hidrodinamik

Tekanan hidrostatik berasal dari perbedaan kedalaman air dan bekerja secara statis pada struktur. Sementara itu, tekanan hidrodinamik muncul akibat gerakan air, seperti aliran balik dari gelombang yang memantul (backwash). Gaya ini dapat memperbesar tekanan terhadap permukaan datar pada struktur seperti dinding laut (seawall). Jika tidak dirancang untuk mengatasi tekanan gabungan ini, struktur dapat mengalami retak atau bahkan runtuh.

4. Gaya Pasang Surut (*Tidal Forces*)

Perubahan muka air laut akibat pasang surut menyebabkan fluktuasi vertikal yang memengaruhi efektivitas perlindungan struktur. Dalam kondisi pasang tinggi, gelombang dapat mengenai bagian atas struktur, sementara saat surut, fondasi lebih terpapar terhadap erosi. Selain itu, variasi pasang surut juga memengaruhi elevasi operasi dan kapasitas fungsi struktur seperti pelabuhan, dermaga, dan pintu air.

5. Gaya Badai dan Tsunami

Gelombang akibat badai atau tsunami memberikan tekanan sangat besar dalam waktu singkat (impulsive load). Tekanan ini bisa melebihi beban desain normal dan menyebabkan kerusakan masif jika struktur tidak dirancang untuk menahannya. USACE (2002) menyarankan bahwa struktur kritis di zona pesisir harus memperhitungkan skenario beban ekstrem sebagai bagian dari pendekatan berbasis risiko.

6. Gaya Angin terhadap Struktur di Zona Intertidal

Meskipun berada di bawah permukaan laut, struktur seperti tiang pancang atau pemecah gelombang yang menjulang ke atas juga harus mempertimbangkan tekanan angin, terutama jika terdapat bagian struktur yang menonjol di atas muka air laut. Gaya angin akan menjadi signifikan pada bangunan seperti mercusuar, platform pengeboran, dan jembatan pesisir.

Dalam praktik teknik pantai modern, perhitungan semua gaya ini dilakukan menggunakan model numerik dan pendekatan probabilistik, termasuk model Morison Equation untuk kombinasi arus dan gelombang. Evaluasi ini memastikan bahwa struktur yang dibangun dapat bertahan dalam kondisi ekstrem sekalipun.

3.6.2. Jenis Interaksi dan Respons Struktur

Interaksi antara laut dan struktur buatan di wilayah pesisir tidak hanya bersifat mekanis, melainkan juga memengaruhi bentuk pantai, pola sedimentasi, serta stabilitas ekosistem lokal. Oleh karena itu, jenis interaksi yang terjadi dan bagaimana struktur merespons gaya-gaya tersebut menjadi aspek penting dalam perencanaan dan evaluasi teknis. Respons struktur ditentukan oleh bentuk geometri, material penyusun, sistem fondasi, serta lokasi pemasangan struktur dalam sistem pesisir yang dinamis.

1. Interaksi Fisik (Fisis-Struktural)

Interaksi fisik mengacu pada gaya langsung yang diterima oleh struktur dari elemen laut seperti gelombang, arus, pasang surut, dan tekanan air. Interaksi ini menghasilkan gaya tekan, gaya geser, gaya angkat, serta gaya impulsif yang bekerja pada

bagian struktur. Contohnya, pada breakwater, gelombang datang menimbulkan tekanan horizontal dan vertikal yang jika tidak diakomodasi oleh sistem fondasi dan struktur utama, dapat menyebabkan retakan, ketidakstabilan, bahkan kegagalan struktural total (Dean & Dalrymple, 2002).

Setiap jenis struktur menunjukkan karakteristik respons yang berbeda. Seawall vertikal, misalnya, lebih memantulkan energi gelombang (high reflection), yang dapat menyebabkan erosi di dasar struktur akibat peristiwa backwash. Sementara itu, revetment miring memiliki permukaan menyerap gelombang (dissipative surface) dan mengurangi energi yang dipantulkan, sehingga memberikan respons yang lebih baik terhadap proses abrasi (French, 2001). Pemilihan desain struktur menjadi krusial untuk menyesuaikan dengan kondisi lokal seperti tinggi gelombang maksimum dan karakter dasar laut.

2. Interaksi Morfologis (Perubahan Bentuk Pantai)

Struktur pantai tidak hanya menerima gaya laut, tetapi juga memengaruhi pola aliran air dan transportasi sedimen di sekitarnya. Inilah yang disebut interaksi morfologis. Misalnya, pemasangan groin menyebabkan gangguan terhadap longshore current yang membawa sedimen sejajar pantai. Akibatnya, terjadi akresi di sisi hulu (updrift) dan erosi di sisi hilir (downdrift), yang dalam jangka panjang dapat merusak garis pantai di luar area perlindungan struktur (Komar, 1998).

Demikian pula, breakwater yang dipasang secara lepas (detached) dapat menciptakan zona tenang di belakangnya, namun dapat memicu tombolo (tanah timbul menghubungkan pantai dan breakwater) atau sedimentasi yang tidak terkendali. Respons ini perlu diprediksi dengan menggunakan pemodelan numerik agar tidak merugikan aktivitas lain seperti navigasi kapal atau fungsi ekosistem lokal (Roelvink & Reniers, 2012).

3. Respons Dinamis terhadap Kondisi Ekstrem

Respons struktur terhadap peristiwa ekstrem seperti badai, tsunami, atau banjir rob juga menjadi fokus penting. Struktur yang tidak cukup fleksibel dapat mengalami tekanan luar biasa saat menerima beban gelombang tinggi atau tekanan hidrodinamik. Dalam beberapa kasus, struktur mengalami resonansi atau fatigue, yaitu kelelahan material akibat beban berulang yang mengakibatkan degradasi kekuatan secara bertahap. Oleh karena itu, desain struktur harus memperhitungkan kondisi dinamis dan ketidakpastian iklim dengan menggunakan pendekatan berbasis risiko (USACE, 2002).

4. Perubahan Kondisi Perairan dan Ekosistem

Selain berdampak pada proses fisik, struktur juga mengubah kondisi lingkungan seperti kecepatan arus, tingkat turbulensi, dan kualitas air. Perubahan ini dapat mengganggu ekosistem terumbu karang, lamun, dan biota perairan lainnya. Sebagai contoh, struktur yang terlalu besar atau memblokir sirkulasi air dapat menyebabkan stagnasi, penurunan oksigen terlarut, dan peningkatan endapan lumpur. Oleh karena itu, desain struktur sebaiknya mempertimbangkan respons ekohidraulik agar tidak menyebabkan dampak ekologis negatif.

3.6.3. Efek Jangka Panjang terhadap Lingkungan

Pembangunan struktur buatan di wilayah pesisir memberikan dampak langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan laut dan pesisir, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Efek jangka panjang ini meliputi perubahan morfologi pantai, degradasi habitat pesisir, perubahan kualitas air, serta gangguan terhadap keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, dalam praktik teknik pantai modern, sangat penting untuk mengevaluasi dampak lingkungan sejak tahap perencanaan awal.

1. Gangguan terhadap Pola Sedimentasi dan Morfologi

Struktur pantai seperti groin, breakwater, atau jetty dapat menyebabkan perubahan pola arus dan transportasi sedimen secara signifikan. Gangguan ini dapat mengakibatkan akresi berlebihan di satu sisi dan erosi parah di sisi lainnya. Dalam jangka panjang, hal ini menyebabkan ketidakseimbangan morfologi pantai secara spasial. Komar (1998) menyatakan bahwa ketidakseimbangan sedimen jangka panjang akibat struktur keras merupakan penyebab utama kemunduran garis pantai di wilayah pesisir berstruktur.

Perubahan morfologi ini tidak hanya berdampak pada bentuk fisik pantai, tetapi juga pada dinamika ekosistem lokal. Daerah yang dulunya berupa padang lamun atau kawasan mangrove bisa terkubur oleh sedimen atau tergerus akibat arus balik yang meningkat. Hal ini mengubah komposisi dan fungsi habitat alami yang sangat penting bagi berbagai spesies laut.

2. Fragmentasi dan Degradasi Ekosistem Pesisir

Struktur buatan yang besar dan masif, seperti tanggul laut dan pelabuhan, berpotensi memutus konektivitas ekosistem pesisir, menghambat migrasi biota, dan menurunkan fungsi ekologis kawasan pesisir. Terputusnya hubungan antara darat dan laut, misalnya, dapat mengganggu siklus kehidupan spesies seperti ikan, udang, dan kepiting yang bergantung pada muara sungai sebagai tempat pemijahan (spawning ground). Bird (2000) mencatat bahwa infrastruktur pesisir yang tidak memperhatikan aspek ekologi dapat mempercepat kepunahan habitat pesisir secara tidak langsung.

Di samping itu, struktur pelindung pantai yang dibangun terlalu dekat dengan ekosistem sensitif seperti terumbu karang juga dapat menyebabkan kerusakan mekanis, terutama saat konstruksi atau jika terjadi refleksi gelombang besar yang menghantam kembali terumbu. Efek ini bersifat kumulatif dan sulit dipulihkan secara alami dalam jangka waktu singkat.

3. Penurunan Kualitas Air dan Sirkulasi Laut

Beberapa struktur, terutama breakwater tertutup dan dermaga panjang, dapat mengganggu sirkulasi air laut dan menyebabkan terbentuknya zona stagnan di belakang struktur. Zona ini cenderung memiliki konsentrasi nutrisi yang tinggi, kadar oksigen terlarut rendah, dan dapat memicu pertumbuhan alga berlebihan (eutrofikasi). Fenomena ini sering kali berdampak pada perubahan komposisi plankton, ikan kecil, serta mengganggu rantai makanan laut. USACE (2002) menyarankan bahwa evaluasi hidrodinamik mutlak dilakukan sebelum pembangunan struktur yang menutup arus laut alami.

Selain itu, aktivitas konstruksi di pesisir juga dapat meningkatkan kekeruhan air (turbiditas), yang mengganggu fotosintesis lamun dan terumbu karang. Dalam jangka panjang, kualitas air yang menurun ini akan memengaruhi produktivitas perikanan dan jasa ekosistem lainnya.

4. Dampak Sosial-Lingkungan Jangka Panjang

Efek lingkungan dari struktur pantai juga berdampak terhadap aspek sosial. Masyarakat pesisir yang menggantungkan hidup pada perikanan, pertanian tambak, dan pariwisata bisa terdampak oleh perubahan ekosistem akibat struktur yang dibangun. Misalnya, hilangnya pantai berpasir akibat keberadaan seawall dapat menurunkan daya tarik wisata, sedangkan akumulasi sedimen di muara sungai bisa mengganggu aktivitas nelayan. Oleh karena itu, aspek sosial-ekologis harus menjadi bagian integral dari penilaian dampak jangka panjang.

French (2001) menekankan bahwa pendekatan teknik pantai yang tidak mempertimbangkan keberlanjutan ekosistem akan menimbulkan *external cost* tinggi di masa depan, berupa biaya rehabilitasi lingkungan dan kerugian ekonomi lokal.

3.6.4. Strategi Desain Adaptif dan Berbasis Risiko

Desain struktur pantai di masa kini dituntut untuk tidak hanya tahan terhadap kondisi lingkungan saat ini, tetapi juga mampu menyesuaikan diri terhadap ketidakpastian masa depan, seperti kenaikan muka laut, frekuensi badai yang meningkat, serta perubahan pola gelombang dan arus akibat perubahan iklim. Dalam konteks ini, pendekatan desain adaptif dan berbasis risiko menjadi kerangka kerja penting dalam teknik pantai modern.

1. Konsep Desain Adaptif

Desain adaptif adalah pendekatan yang memungkinkan suatu struktur untuk dimodifikasi, diperluas, atau disesuaikan seiring berjalannya waktu. Pendekatan ini mengakui bahwa kondisi pesisir selalu berubah, dan karenanya desain struktur harus fleksibel serta dapat diupgrade sesuai dinamika tersebut. Sebagai contoh, breakwater modular yang dapat ditinggikan atau diperpanjang sesuai prediksi kenaikan muka laut merupakan bentuk desain adaptif (Roelvink & Reniers, 2012). Pendekatan ini bertolak belakang dengan desain konvensional yang cenderung kaku dan tidak memperhitungkan dinamika jangka panjang.

2. Pendekatan Berbasis Risiko (*Risk-Based Approach*)

Desain berbasis risiko menekankan pentingnya mempertimbangkan frekuensi kejadian ekstrim (seperti tsunami, gelombang ekstrem, atau badai tropis) dan konsekuensi kerusakan terhadap infrastruktur serta masyarakat. Dalam kerangka ini, risiko dihitung berdasarkan kombinasi antara peluang kejadian dan dampaknya. USACE (2002) merekomendasikan penggunaan metode probabilistik dalam menentukan parameter desain, seperti tinggi gelombang rancangan (design wave height) dan elevasi banjir maksimum. Pendekatan ini memungkinkan struktur dirancang dengan toleransi terhadap risiko yang dapat diterima secara sosial dan ekonomi.

3. Integrasi Pemodelan dan Data Observasi

Strategi desain adaptif membutuhkan dukungan dari data lingkungan yang akurat dan pemodelan numerik. Model seperti Delft3D, MIKE21, dan SWAN digunakan untuk memprediksi dampak perubahan iklim terhadap arus, gelombang, dan sedimentasi. Dengan pemodelan tersebut, insinyur dapat menyusun berbagai skenario perubahan lingkungan dan mengevaluasi kinerja struktur dalam setiap kondisi. Dean and Dalrymple (2002) menekankan bahwa model semacam ini sangat membantu dalam memahami bagaimana suatu struktur akan berfungsi dalam rentang waktu 10–50 tahun ke depan.

4. Penggunaan Material Inovatif dan Struktur Modular

Desain adaptif juga mencakup penggunaan material yang tahan terhadap korosi, gelombang tinggi, dan fluktuasi suhu. Material seperti beton berpori (permeable concrete), geobag, dan bahan komposit kini banyak digunakan untuk memungkinkan struktur lebih ringan dan fleksibel. Struktur modular, seperti pemecah gelombang dengan elemen prafabrikasi, mempermudah modifikasi dan perawatan. Selain itu, struktur hybrid yang menggabungkan struktur keras dan elemen alami (vegetasi, pasir, dan sistem dune) menjadi solusi inovatif yang adaptif sekaligus ramah lingkungan.

5. Pendekatan Berbasis Solusi Alam (*Nature-Based Solutions*)

Sebagai bagian dari strategi adaptif, pendekatan *nature-based solutions* (NBS) atau solusi berbasis alam telah diintegrasikan dalam perencanaan

teknik pantai. Pendekatan ini memanfaatkan fungsi alami seperti hutan mangrove, padang lamun, dan terumbu karang untuk meredam energi gelombang dan memperkuat struktur pantai secara alami. IPCC (2021) menyebutkan bahwa ekosistem pesisir alami tidak hanya berfungsi sebagai perlindungan, tetapi juga menyediakan manfaat tambahan seperti penyerapan karbon dan peningkatan biodiversitas.

6. Partisipasi Stakeholder dan Evaluasi Sosial

Desain adaptif yang efektif harus melibatkan partisipasi pemangku kepentingan lokal (nelayan, komunitas pesisir, pemerintah daerah) sejak awal proses perencanaan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa struktur yang dibangun tidak hanya aman secara teknis, tetapi juga diterima secara sosial dan memiliki nilai tambah ekonomi. Evaluasi sosial ini mencakup analisis manfaat dan risiko bagi masyarakat lokal, serta kesiapan institusi dalam mendukung operasi dan pemeliharaan jangka panjang.

3.6.5. Studi Kasus Interaksi Laut-Struktur

Untuk memahami secara praktis bagaimana struktur buatan berinteraksi dengan laut, diperlukan studi kasus nyata di lapangan. Studi kasus ini memberikan gambaran tentang keberhasilan maupun kegagalan dalam penerapan teknik pantai serta pelajaran yang dapat diambil untuk perencanaan dan desain masa depan. Interaksi laut dan struktur bersifat kompleks, sehingga penting untuk melihat bagaimana respons lingkungan, sosial, dan teknis dalam konteks geografis dan morfologi lokal.