

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



Profesor Harman Ajiwibowo

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB 24 Agustus 2024

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung

TEKNIK PANTAI:

Peran Infrastruktur Pengaman Pantai dalam Pembangunan Masyarakat Pesisir

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung

TEKNIK PANTAI:

Peran Infrastruktur Pengaman Pantai dalam Pembangunan Masyarakat Pesisir

Prof. Harman Ajiwibowo

24 Agustus 2024 Aula Barat ITB





Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin tertulis dan resmi dari penerbit

Orași Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:

Teknik Pantai: Peran Infrastruktur Pengaman Pantai dalam Pembangunan Masryarakat Pesisir

Penulis : Prof. Harman Ajiwibowo

Reviewer : Prof. Irawati

Editor Bahasa: Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-542-2

e-ISBN : 978-623-297-541-5 (PDF)



Gedung STP ITB, Lantai 1, Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132

+62 22 20469057

www.itbpress.idoffice@itbpress.id

Anggota Ikapi No. 043/JBA/92 APPTI No. 005.062.1.10.2018

PRAKATA

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah Swt., saya merasa sangat terhormat dan bangga dapat menyampaikan orasi ilmiah ini. Dalam kesempatan yang berharga ini, saya ingin mengajak kita semua untuk merenungkan serta memahami lebih dalam tentang peran infrastruktur pengaman pantai dalam pembangunan masyarakat pesisir, sebuah topik yang sangat relevan dan krusial bagi keberlanjutan ekosistem dan kesejahteraan sosial-ekonomi di wilayah pesisir.

Pesisir Indonesia, yang terbentang luas dari Sabang hingga Merauke, merupakan kawasan strategis yang memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah serta keanekaragaman hayati yang tinggi. Namun, wilayah pesisir juga menghadapi berbagai tantangan serius seperti abrasi, bencana alam, dan perubahan iklim yang semakin intensif. Kondisi ini menuntut adanya langkah konkret dan inovatif dalam pengelolaan serta perlindungan kawasan pesisir, salah satunya melalui pengembangan infrastruktur pengaman pantai yang efektif dan berkelanjutan.

Infrastruktur pengaman pantai tidak hanya berfungsi sebagai penghalang fisik dari ancaman laut, tetapi juga berperan penting dalam mendukung aktivitas ekonomi masyarakat pesisir, menjaga kelestarian lingkungan, serta meningkatkan ketahanan dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Dalam orasi ini, saya akan membahas aspek terkait peran infrastruktur pengaman pantai, mulai dari konsep, implementasi kebijakan pengambilan keputusan, hingga dampaknya terhadap pembangunan masyarakat pesisir.

Saya berharap orasi ini dapat memberikan wawasan baru serta inspirasi bagi kita semua untuk terus berkontribusi dalam upaya perlindungan dan pengembangan wilayah pesisir.

Bandung, 24 Agustus 2024

Prof. Ir. Harman Ajiwibowo, M.S., Ph.D.

SINOPSIS

Buku ini mengupas peran vital infrastruktur pengaman pantai dalam upaya pembangunan dan perlindungan masyarakat pesisir di Indonesia. Kawasan pesisir menghadapi ancaman signifikan dari erosi, abrasi, dan banjir akibat perubahan iklim dan aktivitas manusia. Infrastruktur pengaman pantai menjadi solusi kunci untuk mengatasi masalah ini, memastikan keberlanjutan dan kesejahteraan masyarakat pesisir.

Bab pertama memberikan gambaran umum tentang kondisi geografis dan sosial ekonomi masyarakat pesisir, serta berbagai tantangan yang mereka hadapi. Ditekankan bahwa kawasan pesisir memiliki peran penting dalam perekonomian, terutama di sektor perikanan, pariwisata, dan perdagangan.

Bab kedua menjelaskan jenis-jenis infrastruktur pengaman pantai yang ada, seperti penanganan dengan struktur lunak seperti sistem adaptif dengan membangun pemukiman dengan sistem pelantaran, penanaman vegetasi pantai seperti mangrove. Juga dijelaskan penanganan dengan struktur keras seperti dengan offshore breakwater, revetment, tembok laut, groin dan jetty pengaman muara. Setiap jenis infrastruktur diuraikan fungsinya dalam melindungi garis pantai dari kerusakan serta manfaat tambahan yang dapat diberikan, seperti peningkatan keanekaragaman hayati dan penyediaan habitat alami. Disajikan pula beberapa studi kasus struktur pengaman pantai yang telah direncanakan dan diawasi pembangunannya oleh penulis. Ditunjukkan dalam bab ini bagaimana infrastruktur ini berhasil mengurangi bencana, meningkatkan kualitas hidup, mendukung risiko serta perekonomian lokal.

Bab ketiga mengulas beberapa contoh macam-macam armor yang dipakai sebagai infrastruktur pengaman pantai terhadap masyarakat pesisir. Foto-foto armor ini diambilkan dari pengalaman penulis dan juga ada beberapa dari internet.

Bab keempat mengidentifikasi satu dampak bagi pemukiman pada kasus pengaman pantai offshore breakwater, yakni pada pemukiman di belakang dari gap breakwater tersebut, dan penganggulangannya. Kasus ini terjadi pada kondisi-kondisi tertentu pada beberapa titik di pantai, tidak seluruh pantai.

Bab terakhir mendeskripsikan penelitian yang diperlukan untuk mengetahui perilaku kasus pada bab keempat di atas, dengan suatu pemodelan fisik yang nantinya akan didapatkan rumusan empiris untuk besar kemunduran garis pantai pada area di belakang gap offshore breakwater. Rumusan empiris ini dapat dipakai sebagai pegangan awal dalam mendesain pengamanan pantai jenis offshore breakwater ini.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gelombang laut pecah di garis gelombang pecah, membentuk arus yag diuraikan menjadi komponen
	arus tegak lurus pantai dan sejajar pantai7
Gambar 2.2	Efek transport sedimen sejajar pantai dengan adanya
	bangunan yang menjorok ke arah laut, yakni
	sedimentasi di hulu dan penggerusan/erosi di sisi
	hilir bangunan8
Combon 2 2	_
Gambar 2.3	Efek angkutan sedimen sejajar pantai pada pantai
	dengan bangunan yang menjorok ke arah laut
Gambar 2.4	Komponen arus tegak lurus pantai membawa
	sedimen dalam perjalanannya ke arah pantai, dapat
	menyebabkan erosi dan abrasi (akibat gelombang
	laut)9
Gambar 2.5	Efek angkutan sedimen tegak lurus pantai, yakni
	erosi (akibat arus) dan abrasi (akibat gelombang
	laut). (Sumber: Antara Foto, diunduh 2 Juli 2024)9
Gambar 2.6	Pola alternatif pengamanan pantai akibat gaya
	lingkungan pada perairan di depan pantai10
Gambar 2.7 (a)	Pemukiman dengan sistem adaptatif terhadap
	kenaikan muka air laut dan erosi/abrasi pantai yaitu
	dengan sistem pelantaran atau sistem dermaga,
	rumah2 di atas fundasi kayu di atas perairan.
	(Sumber: https://www.teritorial24.com, diunduh 13
	Juli 2024)
Gambar 2.7 (b)	Buffer Zone berupa tanaman mangrove pada area
	bagian pantai dengan energi gelombang dan arus
	yang lemah. (Sumber: Kementrian Kelautan dan
	Perikanan, 2024)
Gambar 2.7 (c)	Beach nourishment (Pengisian Pasir). (Sumber:
Gambai 2.7 (C)	Shutterstock, 2024)
Gambar 2.7 (d)	Sand Bypassing (pemindahan pasir) pada muara
Gainbai 2.7 (a)	
	sungai. (Sumber: Shore Protection Manual, 1984)12

Gambar 2.8	Formasi tombolo, yaitu sedimen yang memanjang
	dari pantai menyentuh bangunan offshore breakwater.
	(Sumber: dokumen pribadi, 2020)13
Gambar 2.9	Formasi sedimen yang disebut Salient, yaitu sedimen
	pasir yang memanjag dari pantai ke arah laut tetapi
	tidak sampai menyentuh breakwater. Tampak
	mangrove ditanam di belakang breakwater. (Sumber:
	dokumen pribadi (2021)
Gambar 2.10 (a)	Pada sisi kiri adalah pantai sebelum terbangun
	offshore breakwater, dan pada sisi kanan adalah
	proses pembangunan <i>breakwater</i> dengan metoda
	membangun akses alat berat dari darat. (Sumber:
	dokumen pribadi, 2018) 14
Gambar 2.10 (b)	Pada sisi kiri, tampak <i>breakwater</i> sudah terbangun
	100%, dan pada sisi kanan mulai terbentuk salient.
	(Sumber: dokumen pribadi, tahun 2018 dan 2022) 14
Gambar 2.10 (c)	Tampak foto kanan adalah foto udara pada tahun ini
	yakni 2024, di mana sudah terbentuk formasi
	Tombolo yakni sedimen sudah mulai menyentuh
	breakwater. (Sumber dokumen pribadi, 2022 dan
	2024)
Gambar 2.11 (a)	Lokasi pantai Penyak 2, mulai dari sebelum ada
	konstruksi dan setelah dimulainya pembangunan
	breakwater. (Sumber dokumen pribadi, 2017 dan
	2018)
Gambar 2.11 (b)	Tampak gambar kanan pada 22 Desember 2018
	sudah mulai terbentuk salient. (Sumber: dokumen
	pribadi, 2018)
Gambar 2.11 (c)	Tampak pantai pada 30 Mei 2021 di sebelah kanan
	sudah tumbuh sedimen berbentuk salient dan sudah
	ada tanaman yang tumbuh pada sedimen tersebut.
	(Sumber: dokumen pribadi, 2018 dan 2021)16
Gambar 2.11 (d)	Tampak pada 25 April 2024 di gambar sebelah kanan,
	sudah terbentuk formasi sedimen salient dan
	tombolo. Kegiatan penduduk pada pemukiman
	tersebut tidak berubah dan tetap bisa mengakses

	pantai dengan tambahan pasir di depan pantai
	tersebut. (Sumber: dokumen pribadi, 2021 dan 2024) 16
Gambar 2.12	Penggunaan mal dari kayu dengan penampang
	rencana breakwater. (sumber dokumen pribadi, 2018)17
Gambar 2.13	Kondisi Pantai Matras sebelum dibangun breakwater
	(kiri) dan setelah dibangun konstruksi offshore
	breakwater dari batu alam. Bahan breakwater dari
	batu alam. (Sumber: dokumen pribadi, 2014 dan
	2015)
Gambar 2.14 (a)	Pantai Matras sebelum dibangun konstruksi offshore
	breakwater. (Sumber: Google Earth Pro, September
	2014)
Gambar 2.14 (b)	Pantai Matras pada September 2015, sudah terbentuk
	tombolo yang besar hanya dalam 1 tahun (Sumber:
	Google Earth Pro, September 2015)18
Gambar 2.14 (c)	Foto Udara Pantai Matras pada Desember 2018,
	tampak offshore breakwater sudah terbangun dan
	sudah terbentuk tombolo pada depan pantai.
	(Sumber: dokumen pribadi, Desember 2018)19
Gambar 2.15 (a)	Lokasi pantai Dadap di Kab Indramayu, sebelum ada
	offshore breakwater (kiri) dan setelah ada
	pembangunan di bulan Juli 2021. (Sumber: dokumen
	pribadi, 2021)20
Gambar 2.15 (b)	Pada gambar kanan, terlihat salient sudah mulai
	terbentuk pada Desember 2021. <i>Breakwater</i> terbuat
	dari kubus beton. (Sumber: dokumen pribadi, 2021) 20
Gambar 2.16	Offshore breakwater dibangun di depan pantai Pasir
	Padi, Pangkalpinang. Tampak sudah terbentuk
	salient di depan pantai. Penambahan pasir ini
	terlihat nyata di belakang offshore breakwater yang
	terbuat dari kubus beton. (Sumber: dokumen
	pribadi, Agustus 2018)21
Gambar 2.17a	Offshore breakwater menerus tanpa gap berbentuk
	lengkung alis mata dibangun di Pantai Terentang.
	Tampak salient sudah tumbuh di depan pantai
	tersebut. Material <i>breakwater</i> adalah dari batu alam.
	(Sumber: dokumen pribadi, Agustus 2020)22

Gambar 2.17b	Offshore breakwater menerus tanpa gap berbentuk
	lengkung alis mata dibangun di Pantai Terentang.
	Tampak salient sudah tumbuh di kedua ujung
	breakwater, tanpa terjadi lekukan di depan gap.
	(Sumber: dokumen pribadi, Desember 2021) 22
Gambar 2.18 (a)	Lokasi pantai Arung Dalam sebelum dikonstruksi
	revetment (kiri) dan setelah mulai dibangun
	revetment. Material revetment terbuat dari batu alam.
	(Sumber: dokumen pribadi, 2022 dan 2023)24
Gambar 2.18 (b)	Foto udara pantai Arung Dalam. Tampak tak terlihat
	pasir pantai di depan revetment ke arah laut.
	(Sumber: dokumen pribadi, 2023)24
Gambar 2.19	Revetment terbuat dari material beton tetrapod pada
	pantai di Pulau Nipah yang berhadapan langsung
	dengan Singapura. (Sumber: dokumen pribadi, 2013) 25
Gambar 2.20	Revetment dari batu alam di lahan reklamasi tepi Kota
	Manado. Area ini adalah area bisnis yang di atas nya
	ada mal Kota Manado, restoran-restoran seafood dsb.
	Tampak tak ada pasir di pantai ini. (Sumber:
	dokumen pribadi, 2016)
Gambar 2.21 (a)	Pantai Modong di Belitung Timur, di mana foto kiri
	menunjukkan Pantai Modong sebelum konstruksi,
	dan foto kanan adalah proses pembangunan tembok
	laut. Tembok laut terbuat dari beton yang masif.
	(Sumber: dokumen pribadi, 2020)27
Gambar 2.21 (b)	Pembangunan tembok laut pantai modong, di mana
	foto kiri menunjukkan progres saat 50% konstruksi,
	dan foto kanan menunjukkan progrres setelah 100%
	selesai konstruksi. Tampak tak ada pasir pantai lagi
	di depan tembok laut (Sumber: dokumen pribadi,
	2020)
Gambar 2.22 (a)	Foto kiri menunjukkan pantai samak sebelum
	konstruksi tembok laut, dan foto kanan adalah
	proses pembangunan dimulai. Material dari tembok
	laut adalah Buis Beton. (Sumber: dokumen pribadi,
	2015)28

Gambar 2.22 (b)	Pada foto sisi kanan, tampak tembok laut sudah
	selesai dibangun, dan beberapa hari kemudian, pasir
	di depan tembok laut sudah tidak tampak. (Sumber:
	dokumen pribadi, 2015)28
Gambar 2.23	Efek adanya <i>groin</i> pada pantai, di mana terjadi
	sedimentasi di hulu <i>groin</i> dan sebagai ganti pasir
	yang terendapkan di hulu ini, energi arus mengambil
	pasir di hilir groin atau terjadi erosi di hilir groin 29
Gambar 2.24	Contoh groin di tanjung atau pantai yang
	melengkung. (Sumber: Diktat Kuliah Bangunan
	Pantai, 2024)29
Gambar 2.25	Contoh bangunan <i>groin</i> di pantai. Tampak
	sedimentasi di satu sisi dan erosi di sisi lainnya.
	(Sumber: Diktat Kuliah Bangunan Pantai, 2024)30
Gambar 2.26	Efek <i>groin</i> pada pantai yang dilindungi. Jadi lokasi
	pantai yang dilindungi terletak pada hulu <i>groin</i> yang
	terjadi sedimentasi atau garis pantai maju. (Sumber:
	Shore Protection Manual, 1984)30
Gambar 2.27	Lokasi <i>groin</i> di Pantai Bungko, sebelum (kiri) dan
	sesudah konstruksi (kanan). (Sumber: dokumen
	pribadi, 2023)31
Gambar 2.28	Groin di Pantai Gebang, Cirebon, Jawa Barat.
	Material adalah kubus beton
Gambar 2.29 (a)	Muara sungai Lombang di Kab Indramayu sebelum
	ada konstruksi Jetty Pengaman Muara. (Sumber:
	google map, 2016)
Gambar 2.29 (b)	Muara sungai Lombang setelah ada <i>jetty</i> pengaman
	muara. (Sumber: google map, 2024)33
Gambar 2.29 (c)	Konstruksi jetty pengaman muara saat pelaksanaan
	pembangunannya. (Sumber dokumen pribadi, 2016) 34
Gambar 2.29 (d)	Tampak dekat <i>jetty</i> sisi kiri (utara) dan sisi kanan
	(selatan). (Sumber: dokumen pribadi, 2016)34
Gambar 2.30	Jetty pengaman muara di muara sungai Glayem,
	Indramayu. (Sumber: dokumen pribadi, 2016) 35
Gambar 3.1	Kubus Beton38
Gambar 3.2	Tetrapod
Gambar 3.3	Akmon38

Gambar 3.4	A-Jack	39
Gambar 3.5	Dolos	39
Gambar 3.6	X-Block	39
Gambar 3.7	Accropode	40
Gambar 4.1	Lekuk pada formasi tombolo (lingkaran merah) yang	
	bisa melebihi mundur daripada garis pantai aslinya	41
Gambar 4.2	Posisi di darat pada lekukan tombolo/salient, atau	
	daerah tepat di depan gap antara breakwater	42
Gambar 4.3	Struktur offshore breakwater tanpa gap untuk	
	menghindarkan efek belakang gap atau lekukan	
	pada tombolo/salient	42
Gambar 5.1 (a)	Kotak merah adalah area yang menjadi fokus dalam	
	riset pemodelan fisik	45
Gambar 5.1 (a)	Variabel yang terlibat	46
Gambar 5.2	Kolam gelombang 3-dimensi untuk pemodelan fisik	48
Gambar 5.3	Pembangkit gelombang monokromatik pada kolam	
	gelombang 3-D.	48

1 Latar Belakang

1.1 Indonesia: Negara Kepulauan Terbesar dengan Garis Pantai Lebih dari 95.000 Kilometer

Indonesia, negara yang terletak di kawasan Asia Tenggara, dikenal sebagai negara kepulauan terbesar di dunia. Dengan lebih dari 17.000 pulau yang tersebar di sepanjang khatulistiwa, Indonesia memiliki garis pantai yang membentang sepanjang lebih dari 95.000 kilometer. Hal ini menempatkan Indonesia di posisi keempat dunia untuk panjang garis pantai, setelah Kanada, Norwegia, dan Rusia.

Garis pantai yang panjang ini tidak hanya menjadi ciri geografis yang menonjol, tetapi juga memainkan peran vital dalam kehidupan ekonomi, sosial, dan budaya masyarakat Indonesia. Berikut adalah beberapa aspek penting dari panjangnya garis pantai Indonesia:

1. Kekayaan Sumber Daya Alam

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati laut yang luar biasa. Terumbu karang, hutan mangrove, dan padang lamun adalah beberapa ekosistem penting yang ditemukan di sepanjang garis pantai Indonesia. Ekosistem ini mendukung kehidupan berbagai jenis ikan, krustasea, dan biota laut lainnya yang menjadi sumber penghidupan bagi jutaan masyarakat pesisir.

2. Perikanan

Sektor perikanan merupakan salah satu tulang punggung perekonomian Indonesia. Dengan garis pantai yang panjang, Indonesia memiliki salah satu industri perikanan terbesar di dunia. Penangkapan ikan, budidaya perikanan, dan industri pengolahan ikan memberikan kontribusi signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) serta menyediakan lapangan kerja bagi jutaan orang.

3. Pariwisata

Keindahan alam pantai Indonesia menarik jutaan wisatawan setiap tahunnya. Destinasi seperti Bali, Lombok, Raja Ampat, dan Kepulauan Seribu terkenal dengan pantai-pantainya yang memukau, spot *diving* yang menakjubkan, dan keindahan bawah laut yang luar biasa. Pariwisata pesisir ini memberikan

kontribusi besar terhadap perekonomian nasional melalui devisa dan penciptaan lapangan kerja.

4. Transportasi dan Perdagangan

Sebagai negara kepulauan, transportasi laut menjadi komponen penting dalam mobilitas barang dan orang. Pelabuhan-pelabuhan di sepanjang garis pantai Indonesia menjadi pusat utama kegiatan perdagangan, baik domestik maupun internasional. Ini mendukung distribusi logistik yang efisien dan menghubungkan berbagai wilayah di Indonesia dengan pasar global.

5. Budaya dan Kehidupan Sosial

Masyarakat pesisir Indonesia memiliki budaya dan tradisi yang unik, yang sangat dipengaruhi oleh lingkungan laut mereka. Kearifan lokal dalam mengelola sumber daya laut, upacara adat yang berkaitan dengan laut, dan seni maritim adalah bagian integral dari identitas budaya masyarakat pesisir.

6. Tantangan Lingkungan

Namun, panjangnya garis pantai juga membawa tantangan tersendiri. Abrasi, kenaikan permukaan air laut akibat perubahan iklim, dan pencemaran laut adalah beberapa isu lingkungan yang harus dihadapi. Oleh karena itu, upaya konservasi dan pengelolaan sumber daya pesisir secara berkelanjutan menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa kekayaan alam ini dapat dinikmati oleh generasi mendatang.

1.2 Lebih dari 60% Penduduk Indonesia Tinggal di Wilayah Pesisir

Salah satu fakta menonjol mengenai demografi Indonesia adalah bahwa lebih dari 60% penduduknya tinggal di wilayah pesisir. Kawasan pesisir Indonesia tidak hanya menjadi tempat tinggal bagi sebagian besar penduduk, tetapi juga menjadi pusat kehidupan ekonomi, sosial, dan budaya yang penting. Meskipun menghadapi berbagai tantangan, dengan pengelolaan yang tepat dan upaya mitigasi yang efektif, wilayah pesisir dapat terus menjadi aset berharga bagi pembangunan nasional yang berkelanjutan. Beberapa keunggulan Wilayah Pesisir adalah sebagai berikut:

1. Akses ke Sumber Daya Alam

Masyarakat pesisir memiliki akses langsung ke sumber daya laut yang melimpah, seperti ikan, kerang, dan berbagai biota laut lainnya. Sumber daya ini menjadi tulang punggung ekonomi lokal, terutama melalui sektor perikanan yang menyediakan mata pencaharian bagi jutaan orang.

2. Pusat Ekonomi

Banyak kota besar dan pusat ekonomi terletak di wilayah pesisir, seperti Jakarta, Surabaya, dan Makassar. Kota-kota ini bukan hanya menjadi pusat perdagangan dan industri, tetapi juga pelabuhan utama yang menghubungkan Indonesia dengan pasar global. Aktivitas ekonomi di pesisir mencakup perdagangan internasional, perikanan, pariwisata, dan industri pengolahan hasil laut.

3. Pariwisata

Wilayah pesisir Indonesia adalah destinasi utama pariwisata, dengan pantaipantai yang indah dan lokasi menyelam yang terkenal di dunia seperti Bali, Lombok, dan Raja Ampat. Pariwisata pesisir memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional, menciptakan lapangan kerja, dan meningkatkan pendapatan masyarakat lokal.

Tantangan dan Ancaman yang dihadapi masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir adalah sebagai berikut.

1. Perubahan Iklim

Wilayah pesisir menghadapi ancaman serius dari perubahan iklim, seperti kenaikan permukaan air laut dan peningkatan frekuensi badai. Ini dapat mengakibatkan abrasi pantai dan banjir rob yang mengancam kehidupan dan properti masyarakat pesisir.

2. Degradasi Lingkungan

Aktivitas manusia yang intensif, seperti pembangunan pesisir, penangkapan ikan yang berlebihan, dan pencemaran laut, telah menyebabkan degradasi ekosistem pesisir. Hutan mangrove dan terumbu karang yang berfungsi sebagai pelindung alami semakin berkurang, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap bencana alam.

3. Kepadatan Penduduk

Tingginya konsentrasi penduduk di pesisir menimbulkan masalah sosial dan ekonomi, seperti kemiskinan, kurangnya akses terhadap sanitasi yang baik, dan layanan kesehatan yang memadai. Kepadatan ini juga memberikan tekanan tambahan pada infrastruktur dan sumber daya lokal.

Upaya mitigasi dan pengelolaan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembangunan Infrastruktur Pengaman Pantai

Pemerintah dan berbagai organisasi berupaya membangun infrastruktur pengaman pantai, seperti tanggul dan pemecah gelombang, untuk melindungi wilayah pesisir dari abrasi dan banjir.

2. Pelestarian Lingkungan

Program rehabilitasi hutan mangrove dan pelestarian terumbu karang sedang digalakkan untuk memulihkan ekosistem pesisir yang rusak dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim.

3. Perencanaan Tata Ruang

Perencanaan tata ruang yang lebih baik diperlukan untuk memastikan pembangunan pesisir yang berkelanjutan, mengurangi risiko bencana, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat pesisir. Berikut kita bahas tentang "Peran Strategis Wilayah Pesisir sebagai Tempat Tinggal, Sumber Penghidupan, dan Penggerak Ekonomi".

Wilayah pesisir Indonesia memiliki peran strategis yang tak tergantikan dalam kehidupan bangsa. Wilayah pesisir juga berfungsi sebagai sumber penghidupan utama dan penggerak ekonomi nasional. Berikut adalah tinjauan mengenai peran strategis wilayah pesisir dalam tiga aspek utama.

1. Sebagai Tempat Tinggal

Komunitas yang Padat:

Sebagai tempat tinggal, wilayah pesisir Indonesia merupakan rumah bagi jutaan penduduk yang mendiami berbagai kota besar, desa nelayan, dan permukiman pantai. Kawasan pesisir ini menyediakan lingkungan yang ideal

bagi kehidupan manusia karena akses mudah ke laut dan sumber daya alamnya.

Akses ke Layanan dan Infrastruktur:

Sebagai tempat tinggal, wilayah pesisir sering kali dilengkapi dengan infrastruktur penting seperti pelabuhan, bandara, jalan raya, dan fasilitas umum lainnya. Hal ini mempermudah mobilitas penduduk dan barang, serta mendukung aktivitas sehari-hari.

Keberagaman Budaya:

Sebagai tempat tinggal, masyarakat pesisir memiliki kekayaan budaya dan tradisi yang unik. Kearifan lokal dalam pengelolaan sumber daya laut, upacara adat, dan seni maritim adalah bagian integral dari identitas budaya mereka. Interaksi budaya ini menciptakan dinamika sosial yang kaya dan beragam.

2. Sumber Penghidupan

Dalam bidang perikanan:

Sebagai sumber penghidupan, sektor perikanan merupakan tulang punggung ekonomi bagi masyarakat pesisir. Dengan laut yang kaya akan berbagai jenis ikan dan biota laut lainnya, perikanan menjadi sumber penghidupan utama. Baik melalui penangkapan ikan tradisional maupun budidaya perikanan, jutaan orang bergantung pada laut untuk mata pencaharian mereka.

Dalam bidang Pariwisata:

Sebagai sumber penghidupan, keindahan alam pantai, terumbu karang, dan destinasi menyelam menarik jutaan wisatawan domestik dan mancanegara setiap tahunnya. Industri pariwisata pesisir menciptakan lapangan kerja, meningkatkan pendapatan masyarakat lokal, dan mendukung usaha kecil dan menengah (UKM) yang bergerak di sektor pariwisata dan jasa.

Pertanian dan Kehutanan:

Sebagai sumber penghidupan, selain perikanan, wilayah pesisir juga mendukung kegiatan pertanian dan kehutanan, terutama di daerah delta dan lahan basah. Penanaman mangrove, misalnya, selain memberikan

penghidupan melalui produk-produk hutan, juga berperan penting dalam pelestarian lingkungan.

3. Penggerak Ekonomi

Lokasi Pelabuhan dan Perdagangan:

Sebagai penggerak ekonomi, pelabuhan-pelabuhan utama di Indonesia, seperti Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta dan Pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya, terletak di wilayah pesisir. Pelabuhan ini menjadi pintu gerbang utama bagi perdagangan internasional dan domestik, menghubungkan Indonesia dengan pasar global dan mendukung distribusi logistik nasional.

Industri Maritim:

Wilayah pesisir juga menjadi pusat bagi berbagai industri maritim, termasuk galangan kapal, industri pengolahan ikan, dan produksi peralatan laut. Industri ini tidak hanya menyediakan lapangan kerja, tetapi juga mendorong pertumbuhan ekonomi melalui ekspor produk-produk maritim.

Sebagai Sumber Energi dan Sumber Daya Alam:

Eksplorasi dan produksi minyak dan gas lepas pantai, serta pengembangan energi terbarukan seperti energi angin dan gelombang laut, merupakan kontribusi signifikan dari wilayah pesisir terhadap perekonomian nasional. Potensi energi ini membantu memenuhi kebutuhan energi domestik dan mendukung pembangunan nasional.

2 JENIS – JENIS INFRASTRUKTUR PENGAMAN PANTAI DAN EFEK FISIKNYA TERHADAP PANTAI

2.1 Gaya Lingkungan pada Perairan

Gaya lingkungan yang akan kita bahas sebagai penyebab erosi atau abrasi di pantai dalam hal ini adalah gelombang dan arus laut. Gelombang laut datang ke pantai dengan sudut datang tertentu akan pecah di dekat pantai menimbulkan *radiation stress* yang membangkitkan arus laut. Area tempat gelombang pecah ini disebut area gelombang pecah atau *surf zone*. Arus yang terbentuk dari gelombang yang datang membentuk sudut terhadap pantai akan diuraikan menjadi komponen arus tegak lurus dan sejajar pantai, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Gelombang laut pecah di garis gelombang pecah, membentuk arus yag diuraikan menjadi komponen arus tegak lurus pantai dan sejajar pantai.

Untuk komponen arus yang sejajar pantai, akan membawa serta sedimen pasir dalam perjalanannya. Hal ini disebut transport sedimen sejajar pantai atau *Longshore Sediment Transport*. Efeknya terhadap fisik garis pantai adalah, jika ada bangunan yang menjorok ke arah laut di pantai (Lihat Gambar 2), maka sedimen pasir akan tertahan di hulu dari bangunan ini, dan karena transport sedimen ini tetap harus ada sedimen yang dibawa, maka energinya akan menggerus pantai di sisi hilir dari bangunan tersebut.



Gambar 2.2 Efek transport sedimen sejajar pantai dengan adanya bangunan yang menjorok ke arah laut, yakni sedimentasi di hulu dan penggerusan/erosi di sisi hilir bangunan.

Gambar 2.3 menunjukkan efek angkutan sedimen sejajar pantai ini pada bangunan yang menjorok ke arah laut.



Gambar 2.3 Efek angkutan sedimen sejajar pantai pada pantai dengan bangunan yang menjorok ke arah laut.

Untuk komponen arus tegak lurus pantai, maka arus ini juga akan membawa sedimen dalam perjalanannya dengan arah tegak lurus pantai. Penggerusan pantai akibat arus ini disebut erosi dan penggerusan pantai akibat gelombang laut yang menghantam langsung pantai adalah abrasi. Maka akan terjadi erosi dan abrasi pada garis pantai. Gambar 2.4 menunjukkan komponen arus tegak lurus pantai.



Gambar 2.4 Komponen arus tegak lurus pantai membawa sedimen dalam perjalanannya ke arah pantai, dapat menyebabkan erosi dan abrasi (akibat gelombang laut).

Efeknya terhadap fisik pantai dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Efek angkutan sedimen tegak lurus pantai, yakni erosi (akibat arus) dan abrasi (akibat gelombang laut). (Sumber: Antara Foto, diunduh 2 Juli 2024)

2.2 Alternatif Penanganan Pantai

Dalam menangani permasalahan fisik pada pantai akibat angkutan sedimen sejajar pantai dan angkutan sedimen tegak lurus pantai, dapat dibagi menjadi dua kutub, yakni kegiatan berupa struktur lunak (*soft structure*) dan pembangunan struktur keras (*hard structure*), seperti dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pola alternatif pengamanan pantai akibat gaya lingkungan pada perairan di depan pantai.

Penanganan pantai ini dapat dibagi menjadi dua kutub, yaitu sebagai berikut.

- 1. Penanganan dengan struktur lunak yang meliputi:
 - a. Relokasi area pemukiman/penetapan sempadan pantai.
 - b. Adaptasi. yaitu membangun bangunan-bangunan dengan sistem pelantaran yang berada di atas pantai (lihat Gambar 2.7 (a)).
 - c. Membuat *buffer zone*, yaitu penghijauan pantai dengan mangrove pada pantai dengan energi gelombang/arus yang tidak kuat (Gambar 2.7 (b)).
 - d. *Beach nourisment,* yaitu penambahan pasir pada pantai seperti di pantai Kuta/Sanur di Pulau Bali.
 - e. *Sand Bypassing*, yaitu pemindahan pasir dari area sedimentasi ke area erosi pada area muara sungai.



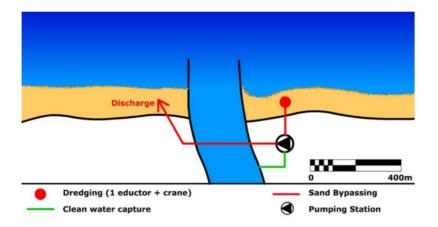
Gambar 2.7 (a) Pemukiman dengan sistem adaptatif terhadap kenaikan muka air laut dan erosi/abrasi pantai yaitu dengan sistem pelantaran atau sistem dermaga, rumah2 di atas fundasi kayu di atas perairan. (Sumber: https://www.teritorial24.com, diunduh 13 Juli 2024)



Gambar 2.7 (b) *Buffer Zone* berupa tanaman mangrove pada area bagian pantai dengan energi gelombang dan arus yang lemah. (Sumber: Kementrian Kelautan dan Perikanan, 2024)



Gambar 2.7 (c) Beach nourishment (Pengisian Pasir). (Sumber: Shutterstock, 2024)



Gambar 2.7 (d) Sand Bypassing (pemindahan pasir) pada muara sungai. (Sumber: Shore Protection Manual, 1984)

2. Penanganan dengan struktur keras, yaitu:

- a. Pada pantai dengan pola angkutan sedimen tegak lurus pantai, pengamanan pantai dilakukan dengan membangun struktur sejajar pantai seperti struktur revetment, tembok laut, offshore breakwater dan khusus pada muara adalah bangunan jetty pengaman muara.
- b. Pada pantai dengan pola angkutan sedimen sejajar pantai, pengamanan pantai dilakukan dengan membangun struktur *groin*, revetment, tembok laut, offshore breakwater dan khusus pada muara adalah bangunan jetty pengaman muara.

Dalam orasi ilmiah Guru Besar kami kali ini, akan kita bicarakan khusus untuk penanganan pantai dengan struktur keras. Bangunan-bangunan struktur keras ini sebagian besar didesain dan diawasi pembangunannya oleh penulis. Sebagian besar lokasi pembangunannya adalah di Provinsi Bangka Belitung dan Perairan Pantai Utara Jawa di Kabupaten Cirebon dan Kabupaten Indramayu.

2.3 Offshore Breakwater

Offshore breakwater:

- Adalah Bangunan yang diletakkan di lepas pantai.
- Berfungsi mematahkan energi gelombang dari berbagai arah, di perairan yang jauh dari pantai.

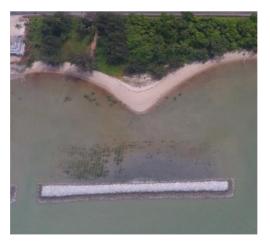
• Setelah energi gelombang dipatahkan, energi gelombang yang sudah lemah akan bergerak ke belakang *breakwater* dan menjatuhkan sedimen pasir di belakangnya, membentuk Tombolo atau Salient.

Adapun Tombolo adalah sedimen pasir di belakang *breakwater* yang tumbuh dan menyentuh bangunan *offshore breakwater* di lepas pantai, dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Formasi tombolo, yaitu sedimen yang memanjang dari pantai menyentuh bangunan offshore breakwater. (Sumber: dokumen pribadi, 2020)

Dan Salient adalah formasi sedimen pasir yang memanjang dari pantai ke arah laut di belakang *breakwater* yang tidak menyentuh *breakwater*. Gambar 2.9 menunjukkan formasi sedimen salient.



Gambar 2.9 Formasi sedimen yang disebut Salient, yaitu sedimen pasir yang memanjag dari pantai ke arah laut tetapi tidak sampai menyentuh *breakwater*. Tampak mangrove ditanam di belakang *breakwater*. (Sumber: dokumen pribadi (2021)

Berikut adalah struktur struktur keras yang kami desain dan kami awasi pembangunannya dan saat ini sudah dapat dilihat efeknya terhadap pantai.

2.3.1 Lokasi Pantai Penyak 1, di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Bangka Belitung

Pada lokasi Pantai Penyak 1 ini, banyak pemukiman pada pantainya, dan sebagian besar pendubuk ini berprofesi sebagai nelayan. Sebelum dibangunnya struktur *breakwater*, area pemukiman terancam dari penggerusan pantai akibat angkutan sedimen tegak lurus pantai. Perkembangan pantainya mulai dari sebelum dibangun *breakwater* sampai dengan sekarang dapat dilihat pada Gambar 2.10 (a) sampai dengan 2.10 (c) berikut ini.





Lokasi Pantai <u>Penyak</u>, Prov Babel, 2 <u>Januari</u> 2018 Sumber: <u>Dokumen Pribadi</u> (2018)

Lokasi Pantai Penyak, Prov Babel, 25 September 2018 Sumber: Dokumen Pribadi (2018)

Gambar 2.10 (a) Pada sisi kiri adalah pantai sebelum terbangun *offshore breakwater*, dan pada sisi kanan adalah proses pembangunan *breakwater* dengan metoda membangun akses alat berat dari darat. (Sumber: dokumen pribadi, 2018)



Lokasi Pantai <u>Penyak</u>, Prov Babel, 28 November 2018 Sumber: Dokumen Pribadi (2018)



Lokasi Pantai <u>Penyak</u>, Prov Babel, 12 Juli 2022 Sumber: Dokumen Pribadi (2022)

Gambar 2.10 (b) Pada sisi kiri, tampak *breakwater* sudah terbangun 100%, dan pada sisi kanan mulai terbentuk salient. (Sumber: dokumen pribadi, tahun 2018 dan 2022)





Lokasi Pantai <u>Penyak</u>, Prov Babel, 12 Juli 2022

Lokasi Pantai <u>Penyak</u>, Prov Babel, 22 <u>Maret</u> 2024 Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Sumber: Dokumen Pribadi (2022)

Gambar 2.10 (c) Tampak foto kanan adalah foto udara pada tahun ini yakni 2024, di mana sudah terbentuk formasi Tombolo yakni sedimen sudah mulai menyentuh *breakwater*. (Sumber dokumen pribadi, 2022 dan 2024)

2.3.2 Lokasi Pantai Penyak 2, di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Bangka Belitung

Pada lokasi Pantai Penyak 2 ini, juga banyak pemukiman nelayan yang sudah terancam erosi/abrasi. Gambar 2.11 (a)-(d) menunjukkan perkembangan pantai tersebut mulai dari sebelum ada konstruksi sampai dengan sekarang.





Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 1 Nov 2017 Sumber: Dokumen Pribadi (2017)

Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 7 Maret 2018 Sumber: Dokumen Pribadi (2018)

Gambar 2.11 (a) Lokasi pantai Penyak 2, mulai dari sebelum ada konstruksi dan setelah dimulainya pembangunan *breakwater*. (Sumber dokumen pribadi, 2017 dan 2018)



Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 7 Maret 2018 Sumber: Dokumen Pribadi (2018)

Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 22 Desember 2018 Sumber: Dokumen Pribadi (2018)

Gambar 2.11 (b) Tampak gambar kanan pada 22 Desember 2018 sudah mulai terbentuk salient. (Sumber: dokumen pribadi, 2018)



Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 22 Desember 2018 Sumber: Dokumen Pribadi (2018)

Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 30 Mei 2021 Sumber: Dokumen Pribadi (2021)

Gambar 2.11 (c) Tampak pantai pada 30 Mei 2021 di sebelah kanan sudah tumbuh sedimen berbentuk salient dan sudah ada tanaman yang tumbuh pada sedimen tersebut. (Sumber: dokumen pribadi, 2018 dan 2021)



Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 30 Mei 2021

Sumber: Dokumen Pribadi (2021)



Lokasi Pantai Penyak-2, Prov Babel, 25 April 2024 Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Gambar 2.11 (d) Tampak pada 25 April 2024 di gambar sebelah kanan, sudah terbentuk formasi sedimen salient dan tombolo. Kegiatan penduduk pada pemukiman tersebut tidak berubah dan tetap bisa mengakses pantai dengan tambahan pasir di depan pantai tersebut. (Sumber: dokumen pribadi, 2021 dan 2024)

Gambar 2.12 menunjukkan proses pembangunan *breakwater* tersebut dengan menggunakan mal dari kayu yang membentuk penampang dari *breakwater* yang direncanakan.



Gambar 2.12 Penggunaan mal dari kayu dengan penampang rencana *breakwater*. (sumber dokumen pribadi, 2018)

2.3.3 Lokasi Pantai Matras, di Kabupaten Bangka Induk, Provinsi Bangka Belitung

Pantai Matras terletak di Kabupaten Bangka Induk, suatu kawasan pantai wisata yang sebelumnya terkikis akibat abrasi dari gelombang laut yang mencapai tinggi 2 meter mencapai pantai pada musim-musim badai. Pada musim tidak badai, banyak wisatawan lokal yang datang ke pantai ini. Pada beberapa waktu sebelumnya sudah dibangun beberapa pengaman pantai berupa *T-Groin* yang tidak punya efek sama sekali pada pantai, kemudian dibangun *reveetment* dari geobag yang dalam waktu 6 bulan setelah pembangunannya sudah rusak dan menyebabkan pemandangan yang kurang sedap di pantai tersebut. Material dari pantai matras adalah material pasir kwarsa yang terlihat indah putih. Pada saat kami datang atas undangan Balai Besar Wilayah Sungai Sumatra 8 saat itu, kami merencanakan suatu bentuk *Offshore Breakwater* karena kami melihat angkutan sedimen yang terjadi di pantai ini adalah angkutan sedimen tegak lurus pantai. Selain merencanakan, kami juga mengawasi pembangunan dari struktur tersebut sampai selesai.

Pembangunan struktur pengamanan pantai di Pantai Matras ini dijadikan 2 tahap.



Gambar 2.13 Kondisi Pantai Matras sebelum dibangun *breakwater* (kiri) dan setelah dibangun konstruksi *offshore breakwater* dari batu alam. Bahan *breakwater* dari batu alam. (Sumber: dokumen pribadi, 2014 dan 2015)



Gambar 2.14 (a) Pantai Matras sebelum dibangun konstruksi *offshore breakwater.* (Sumber: Google Earth Pro, September 2014)



Gambar 2.14 (b) Pantai Matras pada September 2015, sudah terbentuk tombolo yang besar hanya dalam 1 tahun (Sumber: Google Earth Pro, September 2015)



Gambar 2.14 (c) Foto Udara Pantai Matras pada Desember 2018, tampak *offshore breakwater* sudah terbangun dan sudah terbentuk tombolo pada depan pantai. (Sumber: dokumen pribadi, Desember 2018)

Gambar 2.14 (a)-(c) menunjukkan perkembangan pembentukan tombolo pada Pantai Matras. Hanya dalam waktu kurang dari setahun sudah terbentuk formasi sedimen tombolo di depan pantai. Kegiatan di Pantai Matras sekarang sudah bertambah dari tempat wisata, masyarakat lokal yang berprofesi sebagai nelayan sudah membangun Tempat Pelelangan Ikan (TPI) dan kapal2 nelayan banyak sekali yang berlabuh pada pantai Matras, yang dijadikan pelabuhan pantai oleh mereka para nelayan. Vegetasi yang berupa pohon ketapang pun sudah mulai tumbuh pada formasi tombolo di depan pantainya. Jadi dengan struktur keras berupa *offshore breakwater* ini menyebabkan pertumbuhan kegiatan masyarakat yang signifikan pada pantai ini, yang tentunya menumbuhkan perekonomian masyarakat lokal dan pemerintah daerah.

2.3.4 Lokasi Pantai Dadap, di Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat

Lokasi Pantai Dadap adalah suatu area tambak masyarakat yang saat sebelum dibangun offshore breakwater terancam erosi dari arus laut. Angkutan sedimen pada pantai ini adalah berupa angkutan sedimen sejajar pantai (Longshore Sediment Transport). Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung memberikan amanah kepada tim kami untuk mendesain dan mengawasi pembangunannya.



Gambar 2.15 (a) Lokasi pantai Dadap di Kab Indramayu, sebelum ada *offshore breakwater* (kiri) dan setelah ada pembangunan di bulan Juli 2021. (Sumber: dokumen pribadi, 2021)

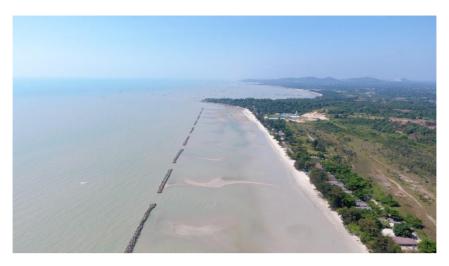


Gambar 2.15 (b) Pada gambar kanan, terlihat salient sudah mulai terbentuk pada Desember 2021.

Breakwater terbuat dari kubus beton. (Sumber: dokumen pribadi, 2021)

2.3.5 Lokasi Pantai Pasir Padi, Kota Pangkalpinang, Provinsi Bangka Belitung

Pantai Pasir Padi di Kota Pangkalpinang, merupakan suatu pantai wisata. Pada sore hari banyak masyarakat yang memanfaatkan pantai ini untuk melakukan motor cross tracking, dan wisata lainnya. Pantai di Pasir Padi adalah sangat landai, tetapi dengan tinggi gelombang yang relatif besar mencapai 1 meter pada musim badai. Saat sebelum dikonstruksi offshore breakwater, pantai pasir padi terancam abrasi dari gelombang laut yang datang tegak lurus ke pantai Pasir Padi. Gambar 2.16 menunjukkan foto udara pantai Pasir Padi setelah dibangun offshore breakwater, tampak pasir pantai bertambah di depan pantai dengan terbentuk salient di bawah air pada saat air tinggi. Pada saat air surut, tampak daratan salient tersebut.



Gambar 2.16 Offshore breakwater dibangun di depan pantai Pasir Padi, Pangkalpinang. Tampak sudah terbentuk salient di depan pantai. Penambahan pasir ini terlihat nyata di belakang offshore breakwater yang terbuat dari kubus beton. (Sumber: dokumen pribadi, Agustus 2018)

2.3.6 Lokasi Pantai Terentang, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Bangka Belitung

Lokasi Pantai Terentang adalah suatu pantai wisata yang sebelum dibangun offshore breakwater terancam kemunduran garis pantai akibat abrasi akibat gelombang laut yang datang menggempur pantai dengan arah tegak lurus. Di lokasi ini kami mencoba membangun offshore breakwater tanpa gap, yakni satu breakwater yang lurus menerus untuk melihat efeknya pada pantai. Karena untuk lokasi-lokasi dengan arah datang gelombang laut dominan tegak lurus pantai, efek gap pada bangunan offshore breakwater sedikit menimbulkan masalah yakni pembentukan lengkungan yang kadang menyebabkan pantai di belakang gap tersebut mundur. Gambar 2.17 menunjukkan bentuk fisik Pantai Terentang setelah dibangun offshore breakwater berbentuk lengkung alis mata tanpa gap. Material breakwater adalah terbuat dari batu alam. Tampak di pantai tidak terbentuk lengkung-lengkung salient atau tombolo yang bisa merugikan masyarakat di pantai pada kasus-kassus pantai dengan arah datang gelombang tegak lurus pantai.



Gambar 2.17a Offshore breakwater menerus tanpa gap berbentuk lengkung alis mata dibangun di Pantai Terentang. Tampak salient sudah tumbuh di depan pantai tersebut. Material breakwater adalah dari batu alam. (Sumber: dokumen pribadi, Agustus 2020)

Saat ini Pantai Terentang telah berkembang menjadi ikon di Kabupaten Bangka Tengah sebagai tempat wisata yang lebih besar. Setelah satu tahun, terdapat perubahan bentuk pantai, dimana terdapat pembentukan salient pada kedua ujung breakwater tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.17b.



Gambar 2.17b Offshore breakwater menerus tanpa gap berbentuk lengkung alis mata dibangun di Pantai Terentang. Tampak salient sudah tumbuh di kedua ujung breakwater, tanpa terjadi lekukan di depan gap. (Sumber: dokumen pribadi, Desember 2021)

2.4 Revetment (Bangunan Sejajar Pantai)

Beberapa hal tentang revetment adalah sebagai berikut:

- Revetment adalah bangunan yang menempel di bibir pantai/tepi pantai.
- Berbentuk bangunan fleksibel, yakni tanpa pasangan semen.
- Berfungsi mematahkan energi gelombang dari berbagai arah, di bibir pantai.
- Pada prinsipnya energi gelombang atau arus tetap harus membawa pasir dalam perjalanannya, sehingga jika energi gelombang atau arus dicegah untuk mengambil pasir di pantai, maka setelah dibangun *revetment*, akan tetap mengambil pasir dari sisi depan *revetment* itu sendiri.
- Energi gelombang atau arus akan mengambil pasir di depan *revetment*, sehingga di depan *revetment* tidak akan ada lagi pasir pantai yang terlihat dari daratan.

Jadi efek revetment terhadap pantai adalah melindungi garis pantai, tetapi tidak mengonservasi pasir di depan pantai. Juga revetment membatasi penduduk yang semula dapat mengakses pantai dengan mudah, setelah ada revetment, akses ke pantai menjadi berubah dan masyarakat harus menyesuaikan diri. Biaya pembangunan revetment lebih murah daripada offshore breakwater, sehingga untuk wilayah pada kondisi laut di depan pantai adalah perairan dalam atau budget pembangunan terbatas, dipilihlah alternatif revetment ini. Berikut adalah beberapa lokasi pembangunan revetment yang kami rencanakan dan kami awasi pembangunannya.

2.4.1 Lokasi Pantai Arung Dalam, Kab Bangka Tengah, Provinsi Bangka Belitung

Pantai Arung dalam berbatasan langsung dengan jalan raya nasional. Beberapa tempat sudah terabrasi/tererosi sehingga mengancam jalan raya nasional tersebut. Maka karena keterbatasan dana dengan rentang pantai yang panjang, dipilihlah konstruksi *revetment* untuk area ini. Gambar 2.18 menunjukkan *revetment* di pantai arung dalam.



Gambar 2.18 (a) Lokasi pantai Arung Dalam sebelum dikonstruksi revetment (kiri) dan setelah mulai dibangun revetment. Material revetment terbuat dari batu alam. (Sumber: dokumen pribadi, 2022 dan 2023)



Gambar 2.18 (b) Foto udara pantai Arung Dalam. Tampak tak terlihat pasir pantai di depan *revetment* ke arah laut. (Sumber: dokumen pribadi, 2023)

2.4.2 Lokasi Pantai Pulau Nipah, Provinsi Kepulauan Riau

Pantai Nipah mempunyai nilai strategis politik yang berbatasan langsung dengan negara Singapura. Sebelum dibangun *revetment*, Pulau Nipah tergerus erosi/abrasi yang mengancam garis batas negara. Sehingga dibangunlah suatu

bentuk *revetment* terbuat dari material beton tetrapod. Gambar 2.19 adalah *revetment* di Pulau Nipah.



Lokasi Pantai Pulau Nipah Revetment Sumber: Dokumen Pribadi (2013)



Lokasi Pantai Pulau Nipah, Sumber: Dokumen Pribadi (2013)

Gambar 2.19 Revetment terbuat dari material beton tetrapod pada pantai di Pulau Nipah yang berhadapan langsung dengan Singapura. (Sumber: dokumen pribadi, 2013)

2.4.3 Lokasi Pantai Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara

Lokasi pantai Kota Manado ini adalah suatu lahan reklamasi timbunan, untuk memperluas area bisnis di Kota Manado di tepi pantai. Area di depan pantai adalah area dengan perairan dalam (lebih dari 3 meter), sehingga dipilihlah alternatif bentuk *revetment* ini sebagai struktur pengamanan areal reklamasi tersebut. Gambar 2.20 adalah *revetment* batu alam di kota Manado.



Gambar 2.20 Revetment dari batu alam di lahan reklamasi tepi Kota Manado. Area ini adalah area bisnis yang di atas nya ada mal Kota Manado, restoran-restoran seafood dsb. Tampak tak ada pasir di pantai ini. (Sumber: dokumen pribadi, 2016)

2.5 Tembok Laut (Bangunan Sejajar Pantai)

Tembok laut adalah suatu bentuk bangunan yang sejajar pantai, aspek lain tentang tembok laut adalah sebagai berikut:

- Tembok laut adalah bangunan yang menempel di bibir pantai/tepi pantai.
- Bangunannya berbentuk bangunan kaku, tidak fleksibel. Di mana bangunannya menggunakan pasangan semen atau campuran beton kaku menyeluruh pada satu bangunan.
- Bangunan ini berfungsi mematahkan energi gelombang dari berbagai arah, pada posisi bibir pantai
- Sama halnya dengan *revetment*, pada prinsipnya energi gelombang atau arus tetap harus membawa pasir dalam perjalanannya, sehingga jika energi ini dicegah untuk mengambil pasir di pantai, ia akan tetap mengambil pasir dari lokasi sekitaarnya. Dalam hal angkutan sedimen tegak lurus pantai, maka areal yang lebih mudah untuk mengambil pasir adalah dari posisi depan tembok laut.
- Energi gelombang atau arus ini akan tetap mengambil pasir di depan tembok laut, sehingga di depan bangunan tidak akan ada lagi pasir pantai yang terlihat dari daratan. Atau dengan kata lain, tembok laut ini mengkonservasi garis pantai, tetapi tidak mengkonservasi pasir di pantai.
- Akses masyarakat pesisir ke pantai juga menjadi terbatas karena adanya tembok laut ini.

Ada beberapa konstruksi tembok laut yang kami rencanakan dan awasi proses pembangunannya. Sama hal nya dengan *revetment*, biaya pembangunan tembok laut ini lebih murah daripada *Offshore Breakwater*. Pilihan tembok laut adalah juga baik dilakukan pada lokasi dengan perairan pantai di depannya adalah perairan dalam seperti di daerah lokasi Indonesia bagian Timur. Gambar 21 dst berikut ini menunjukkan sebagian konstruksi tembok laut yang pernah kami desain dan awasi pembangunannya.

2.5.1 Lokasi Pantai Modong, Kab Belitung Timur, Provinsi Bangka Belitung

Pantai Modong adalah pantai kawasan pemukiman dan terancam kemunduran garis pantai karena abrasi akibat gempuran gelombang laut dan erosi akibat arus tegak lurus pantai.



Gambar 2.21 (a) Pantai Modong di Belitung Timur, di mana foto kiri menunjukkan Pantai Modong sebelum konstruksi, dan foto kanan adalah proses pembangunan tembok laut. Tembok laut terbuat dari beton yang masif. (Sumber: dokumen pribadi, 2020)



Gambar 2.21 (b) Pembangunan tembok laut pantai modong, di mana foto kiri menunjukkan progres saat 50% konstruksi, dan foto kanan menunjukkan progres setelah 100% selesai konstruksi. Tampak tak ada pasir pantai lagi di depan tembok laut (Sumber: dokumen pribadi, 2020)

Dari Gambar 2.21 (b), pada bagian foto kanan, tembok laut sudah selesai dibangun, dan energi gelombang/arus tetap mengambil pasir dari depan tembok laut sehingga tak ada lagi pasir tekonservasi.

2.5.2 Lokasi Pantai Samak, Kabupaten Belitung, Provinsi Bangka Belitung

Kondisi Pantai Samak pada saat sebelum konstruksi adalah juga terancam erosi/abrasi, dan ada kawasan pemukiman dan jalan kabupaten di sisi daratnya yang harus dilindungi. Konstruksi dipilih dengan material yang banyak tersedia di lokasi, yaitu buis beton. Banyak industri masyarakat lokal

yang memproduksi buis beton, sehingga alternatif ini yang dipilih. Gambar 2.22 (a)-(b) menunjukkan konstruksi tembok laut ini.



Gambar 2.22 (a) Foto kiri menunjukkan pantai samak sebelum konstruksi tembok laut, dan foto kanan adalah proses pembangunan dimulai. Material dari tembok laut adalah Buis Beton. (Sumber: dokumen pribadi, 2015)



Gambar 2.22 (b) Pada foto sisi kanan, tampak tembok laut sudah selesai dibangun, dan beberapa hari kemudian, pasir di depan tembok laut sudah tidak tampak. (Sumber: dokumen pribadi, 2015)

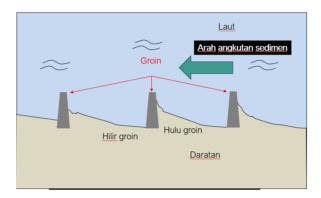
2.6 Groin (Bangunan Tegak Lurus Pantai)

Groin adalah bangunan pantai yang dibangun tegak lurus pantai, diperuntukkan untuk pantai dengan angkutan sedimen sejajar pantai yang dominan. Aspek-aspek pada bangunan *groin* dapat dijelaskan secara singkat berikut ini:

- Groin adalah bangunan pantai yang menempel di bibir pantai/tepi pantai.
- Bangunan *groin* ini berbentuk bangunan fleksibel dari batu alam atau beton, dan juga ada *groin* yang berbentuk kaku yang terbuat dari sheetpile, buis beton, dll..

- Berfungsi menahan sedimen dengan arah menyusur pantai.
- Pada prinsipnya energi gelombang tetap harus membawa pasir dalam perjalanannya, sehingga jika dicegah untuk mengambil pasir di hulu *groin*, maka akan tetap mengambil pasir di hilir *groin*.

Gambar 2.23 menunjukkan fenomena fisik pantai akibat dibangunnya *groin* ini.



Gambar 2.23 Efek adanya *groin* pada pantai, di mana terjadi sedimentasi di hulu *groin* dan sebagai ganti pasir yang terendapkan di hulu ini, energi arus mengambil pasir di hilir *groin* atau terjadi erosi di hilir *groin*.

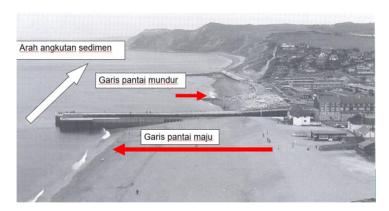


Gambar 2.24 Contoh *groin* di tanjung atau pantai yang melengkung. (Sumber: Diktat Kuliah Bangunan Pantai, 2024)



Gambar 2.25 Contoh bangunan *groin* di pantai. Tampak sedimentasi di satu sisi dan erosi di sisi lainnya. (Sumber: Diktat Kuliah Bangunan Pantai, 2024)

Karena efek erosi di hilir ini menyebabkan pengaplikasian *groin* tidak banyak di Indonesia, dibandingkan bangunan *offshore breakwater, revetment* atau tembok laut. Berikut pada Gambar 2.27 dan 2.28 adalah bangunan *groin* pada pantai di Utara Jawa yang kami rencanakan dan awasi pembangunannya.



Gambar 2.26 Efek *groin* pada pantai yang dilindungi. Jadi lokasi pantai yang dilindungi terletak pada hulu *groin* yang terjadi sedimentasi atau garis pantai maju. (Sumber: Shore Protection Manual, 1984)

2.6.1 Lokasi Pantai Bungko, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat

Pantai Bungko merupakan juga lokasi tambak rakyat yang sudah terancam garis pantainya akibat erosi dari arus laut arah sejajar pantai. Gambar 2.27 adalah *groin* yang terbuat dari armor beton tetrapod dan konstruksinya berbentuk konstruksi fleksibel. Bangunan *groin* ini dibangun pada tahun 2023

tahun lalu. Kami masih belum memantau lagi kondisi pantainya di tahun 2024 ini akibat adanya *Groin* ini.



Gambar 2.27 Lokasi *groin* di Pantai Bungko, sebelum (kiri) dan sesudah konstruksi (kanan). (Sumber: dokumen pribadi, 2023)

2.6.2 Lokasi Pantai Gebang, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat

Pantai Gebang adalah sama kondisi awalnya dengan pantai Bungko, merupakan tambak rakyat. Gambar 2.28 menunjukkan *groin* yang dibangun pada tahun 2024 tahun ini.



Gambar 2.28 Groin di Pantai Gebang, Cirebon, Jawa Barat. Material adalah kubus beton.

Kondisi efek *groin* ini terhadap pantai gebang belum terlihat, karena baru tahun ini dibangun.

2.7 Jetty Pengaman Muara

Beberapa aspek tentang bangunan *jetty* pengaman muara ini adalah sebagai berikut:

- a. Bangunan ini adalah bangunan tegak lurus pantai, yang dibangun di muara sungai.
- b. Berbentuk bangunan fleksibel dan kaku.
- c. Berfungsi untuk:
 - 1) Menahan sedimen dengan arah menyusur pantai.
 - 2) Memelihara alur navigasi dan kedalaman alur sungai pada muara ke laut.
 - 3) Sebagai penggelontor sedimen yang terbentuk di muara.

Beberapa *jetty* pengaman muara yang kami rencanakan dan awasi proses pembangunannya adalah sebagai berikut.

2.7.1 Lokasi Muara Sungai Lombang, Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat

Muara Sungai Lombang adalah lokasi pelabuhan perikanan kecil yang letaknya di muara sungai. Ukuran kapal-kapal di sana adalah sekitar 5-10 GT (*Gross Tonnage*). Total kapal di pelabuhan ini adalah sekitar 200-an kapal. Fakta awal muara sungai Lombang adalah sebagai berikut:

- Sering terjadi sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan pada muara sungai. Karena pendangkalan ini, kapal-kapal nelayan selalu harus manual ditarik tangan oleh para nelayan untuk menuju laut.
- Demikian juga para nelayan yang akan pulang kembali ke pelabuhan dari laut sering dihantam gelombang laut yang menerjang muara sungai pada saat-saat tertentu. Beberapa kali terjadi kecelakaan kapal nelayan yang terbalik.

Untuk itu diperlukan suatu bentuk bangunan *Jetty* Pengaman Muara yang dibangun di sisi kiri dan kanan muara sungai. Gambar 2.29 (a) menunjukkan muara Sungai Lombang sebelum ada konstruksi *jetty*.



Gambar 2.29 (a) Muara sungai Lombang di Kab Indramayu sebelum ada konstruksi *Jetty* Pengaman Muara. (Sumber: google map, 2016)

Gambar 2.29 (b)-(d) memperlihatkan muara sungai setelah dibangun struktur *jetty*, dan tampak dari dekat konstruksinya.



Gambar 2.29 (b) Muara sungai Lombang setelah ada *jetty* pengaman muara. (Sumber: google map, 2024)



Gambar 2.29 (c) Konstruksi *jetty* pengaman muara saat pelaksanaan pembangunannya. (Sumber dokumen pribadi, 2016)

Gambar 2.29 (d) menunjukkan tampak jetty dari dekat.



Gambar 2.29 (d) Tampak dekat *jetty* sisi kiri (utara) dan sisi kanan (selatan). (Sumber: dokumen pribadi, 2016)

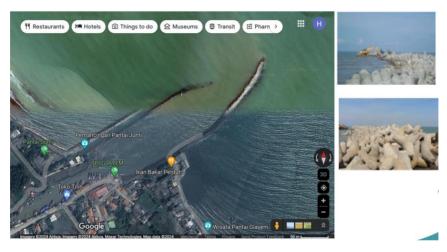
Dua bulan setelah pelaksanaan selesai, penulis mendatangi lagi tempat tersebut yang ternyata faktanya adalah sebagai berikut:

- Tidak ada lagi sedimentasi di muara sungai, jadi efek *jetty* ini juga sebagai penggelontor sedimen di muara sungai. Nelayan sudah dapat di waktu kapan saja melaut dan datang kembali ke pelabuhan pada saat saat musim penangkapan ikan (bukan di musim badai).
- Gelombang yang masuk ke muara sungai sudah tidak ada lagi akibat efek pematahan energi gelombang oleh *jetty* tersebut.

• Terjadi efek sedimentasi di hulu *jetty* (sisi utara, sisi kiri *jetty* kiri) dan erosi di hilir *jetty* (sisi selatan, sisi kanan *jetty* kanan), di mana untuk erosi di hilir *jetty* ini ditanggulangi dengan pembangunan *revetment* di sisi pantainya.

2.7.2 Lokasi Muara Sungai Glayem, Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat

Di tempat ini juga terdapat pelabuhan perikanan yang kecil, dengan jumlah kapal lebih sedikit dari pelabuhan di muara sungai Lombang. Sebelumnya tempat ini juga terdapat gelombang yang menghantam kapal-kapal dari laut yang akan masuk kembali ke pelabuhan. Gambar 2.30 menunjukkan *jetty* pengaman muara di sungai Glayem.



Gambar 2.30 *Jetty* pengaman muara di muara sungai Glayem, Indramayu. (Sumber: dokumen pribadi, 2016)

Perkiraan biaya dalam konstruksi masing-masing bangunan pengaman pantai di atas dapat disarikan dari pengalaman penulis dalam membangun pengamanan pantai. Tabel 1 menunjukkan perkiraan harga masing-masing bangunan pengaman pantai

Tabel 1 Perkiraan harga bangunan pengaman pantai.

No	Nama Bangunan	Harga per meter lari (Rp / meter)
1	Offshore Breakwater	Rp 150,000,000 – Rp 200,000,000
2	Revetment	Rp 70,000,000 – Rp 100,000,000
3	Tembok Laut/Seawall	Rp 80,000,000 – Rp 130,000,000
4	Groin	Rp 60,000,000 – Rp 90,000,000
5	Jetty Pengaman Muara	Rp 60,000,000 – Rp 90,000,000

Pemilihan bentuk pengaman pantai dengan struktur keras disesuaikan dengan hal-hal berikut:

- Kemampuan metoda konstruksi dari kontraktor.
- Kemudahan dalam akses alat berat ke lokasi.
- Ketersediaan bahan material bangunan di lokasi.
- Keterbatasan waktu konstruksi.

3 CONTOH MATERIAL BETON SEBAGAI ARMOR BANGUNAN PANTAI

Armor beton dipilih dikarenakan tidak adanya sumber yang dapat memenuhi jika armornya berupa batu alam, maka dipilihlah material buatan manusia terbuat dari Beton. Tentu ada keterbatasan dari material beton dibandingkan material batu alam, yaitu dari segi ketahanannya. Material beton tahan kirakira 10 tahun, setelah itu akan banyak material beton yang kropos akibat air laut dan waktu. Sedangkan material batu alam tetap akan bertahan sangat lama sampai berpuluh-puluh tahun.

Dalam pemilihan alternatif material beton untuk suatu bangunan pantai adalah faktor kunci antara armornya. Semakin banyak kaki-kaki atau tonjolan pada armor beton, maka efek saling kuncinya makin besar.

Dalam perhitungan berat armor beton dipakai suatu rumusan empiris dari Hudson dalam bentuk berikut ini:

$$W = \frac{w_R H^3}{K_D (S_R - 1)^3 \cot \theta} \tag{1}$$

Di mana

W =berat satu armor yang dibutuhkan (ton)

 W_R = berat jenis armor (ton/m3)

H = tinggi gelombang (m)

 K_D = Koefisien Stabilitas Armor (ini tergantung dari daya kunci dari setiap armor ke armor lainnya)

 S_R = Massa jenis relatif (massa jenis armor/massa jenis air)

 $\theta = \text{sudut terhadap horiontal dari sisi depan penampang bangunan}$

Hal yang menentukan dalam pemilihan faktor K_D di mana faktor ini makin besar apabila saling kunci antar armornya makin besar. Sebagai contoh, rata-rata nilai K_D untuk

Kubus beton = 5.0, tetrapod = 7.0, Dolos = 15.8, A-Jack = 60 dsb.

Sehingga pemakaian armor dengan nilai kestabilan yang tinggi dapat mengurangi berat satu armor dalam desain material pengaman pantai. Berikut adalah gambar-gambar contoh armor material pengaman pantai:



Gambar 3.1 Kubus Beton



Gambar 3.2 Tetrapod



Gambar 3.3 Akmon



Gambar 3.4 A-Jack



Gambar 3.5 Dolos



Gambar 3.6 X-Block



Gambar 3.7 Accropode

Saat ini pun ada beberapa penelitian untuk memvariasikan armor beton untk lebih banyak daya kuncinya, akan tetapi semakin banyak daya kuncinya, biasanya pembuatannya makin kompleks. Sehingga saat ini yang penulis rekomendasikan untuk dipakai sebagai armor karena kemudahan dalam pembuatan dan pengawasan mutu betonnya adalah kubus beton dan tetrapod.

4 PENGALAMAN EMPIRIS PADA PANTAI DENGAN PEMUKIMAN PADAT PADA PANTAI

Jika kita memilih bentuk *Offshore Breakwater* pada pantai yang padat pemukimannya, maka perlu diperhatikan bahwa akan terdapat pengikisan pasir pantai pada lekuk2 tombolo atau salient yang dapat merusak lahan pemukiman. Sebagai contoh Gambar 4.1 menunjukkan lekuk pada tombolo/salient yang kemungkinan ada yang menyentuh pemukiman warga, yaitu sebagai berikut.



Gambar 4.1 Lekuk pada formasi tombolo (lingkaran merah) yang bisa melebihi mundur daripada garis pantai aslinya.

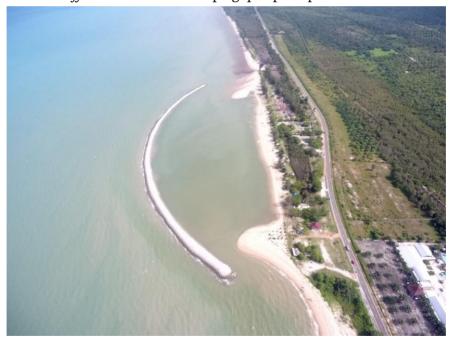
Gambar 4.2 menunjukkan posisi pada lekukan formasi tombolo/salient, tampak pantai mundur melebihi batas pemukiman penduduk.



Gambar 4.2 Posisi di darat pada lekukan tombolo/salient, atau daerah tepat di depan gap antara breakwater.

Hal ini dapat ditanggulangi dengan cara

- 1. Memilih jenis bangunan *revetment* atau tembok laut untuk pantai dengan penduduk padat di sisi pinggir pantainya
- 2. Membuat Offshore Breakwater tanpa gap seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Struktur *offshore breakwater* tanpa gap untuk menghindarkan efek belakang gap atau lekukan pada tombolo/salient.

Menurut pendapat penulis, tetap *offshore breakwater* adalah pengaman pantai yang paling baik karena hal-hal berikut:

- 1. Offshore breakwater tidak mengganggu aktivitas masyarakat pantai.
- 2. Areal di belakang *offshore breakwater* dapat dimanfaatkan oleh masyarakat nelayan untuk melindungi kapal mereka.
- 3. Areal di belakang *offshore breakwater* dapat dimanfaatkan untuk penghijauan pantai seperti penanaman bakau.
- 4. Terdapat penambahan pasir pantai di depan perkampungan masyarakat di pantai.
- 5. Tempat pariwisata yang bagus di mana terdapat pasir pantai yang tumbuh.

Kesimpulan tentang bangunan struktur keras pengamanan pantai adalah sebagai berikut.

- 1. *Groin* merupakan bangunan yang tidak terlalu favorit karena fenomena erosi di sisi hilir *Groin*.
- 2. Bangunan terbaik adalah Offshore Breakwater.
- 3. Tembok laut dan revetment merupakan bangunan yang baik setelah Offshore Breakwater.
- 4. Tembok laut dan *revetment* akan menghilangkan pasir di depan Pantai, tetapi tetap mempertahankan garis pantai.

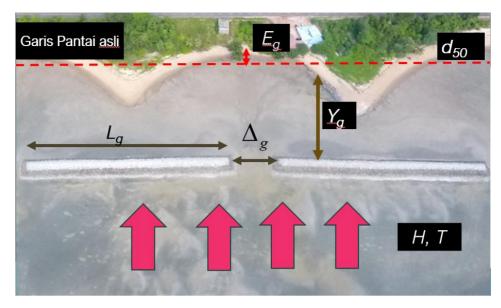
5 KEPERLUAN RISET MENDATANG

Konstruksi *breakwater* dengan gap, pada beberapa kondisi perairan, dapat menyebabkan lekukan tombolo/salient yang melebihi garis pantai asli dan bisa mengganggu ketenangan warga yang kebetulan mempunyai pemukiman tepat di pinggir pantai pada lokasi di belakang gap tersebut. Hal ini terjadi pada beberapa titik di depan gap *breakwater* di pantai Matras di Kab Bangka Induk (2 titik), dan di pantai Penyak Kab Bangka Tengah (2 titik). Tidak semua titik di belakang gap mengalami hal demikian.

Seberapapun kecilnya gap, jika menemui suatu kondisi pantai tertentu, bisa menimbulkan fenomena kemunduran garis pantai pada posisi pantai tepat di belakang gap. Diperlukan suatu hubungan empiris antara besar kemunduran garis pantai ini dalam hubungannya dengan tinggi dan perioda gelombang, lebar gap, jarak *breakwater* ke pantai. Gambar 5.1 (a) dan (b) menunjukkan sketsa keperluan riset yang dimaksud.



Gambar 5.1 (a) Kotak merah adalah area yang menjadi fokus dalam riset pemodelan fisik



Gambar 5.1 (a) Variabel yang terlibat

Definisi dari variabel berdimensi di atas adalah sebagai berikut:

 $E_{\scriptscriptstyle g}$ = besar kemunduran garis pantai pada lekukan

 Y_g = jarak *breakwater* dari garis pantai asli

 Δ_{g} = jarak gap antara breakwater

H = tinggi gelombang

T = periode gelombang

 $L_{\!\scriptscriptstyle g}$ = panjang $\it breakwater$ (dianggap tak berpengaruh terhadap $E_{\scriptscriptstyle g}$)

 $d_{\rm 50}$ = median grain size material pasir di pantai, tidak akan divariasikan karena dianggap tidak berpengaruh besar pada pasir pantai. Kecuali pada pantai berlumpur.

Dengan analisis dimensi metoda Buckingham Pi, didapat variabelvariabel tak berdimensi, dan disusun menjadi suatu persamaan sebagai berikut.

$$\frac{E_g}{H} = A \left(\frac{L_g}{H}\right)^{\alpha} \left(\frac{\Delta_g}{H}\right)^{\beta} \left(\frac{Y_g}{H}\right)^{\gamma} \left(\frac{H}{gT^2}\right)^{\delta} \left(\frac{d_{50}}{H}\right)^{\varepsilon} \tag{2}$$

Dan dengan variabel $L_{\rm g}$ dianggap tak berpengaruh pada besar $E_{\rm g}$, dan kita mengambil pasir sebagai material dan akan dijadikan konstan atau tak divariasikan, atau $d_{\rm 50}$ dianggap tak akan berpengaruh banyak asalkan batasan pada riset ini adalah kondisi pantai adalah pantai berpasir, maka Persamaan (2) dapat dirubah menjadi

$$\frac{E_g}{H} = A \left(\frac{\Delta_g}{H}\right)^{\beta} \left(\frac{Y_g}{H}\right)^{\gamma} \left(\frac{H}{gT^2}\right)^{\delta} \tag{3}$$

Maka untuk mendapatkan koefisien-koefisien A, β , γ dan δ dilakukan pemodelan fisik 3-dimensi pada kolam gelombang dengan tinggi gelombang yang monokromatik. Pemodelan fisik dilakukan terhadap layout pada Gambar 42b. Pemodelan fisik dengan sedimen dilakukan metoda *Densimetric Froude Model*, di mana diambil

$$(F_r)_{\text{model}} = (F_r)_{\text{prototype}}$$
 (4)

yaitu bilangan Froude pada model = bilangan Froude pada prototype. Bilangan Froude adalah

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gL}} \tag{5}$$

Di mana v adalah kecepatan fluida di sekitar material, g percepatan gravitasi dan L adalah diameter/dimensi dari material. Untuk sedimen pasir nya, pasir diayak agar didapatkan hal sbb

$$1.05 < \frac{\rho_{pasir}}{\rho_{air}} < 2.65 \tag{6}$$

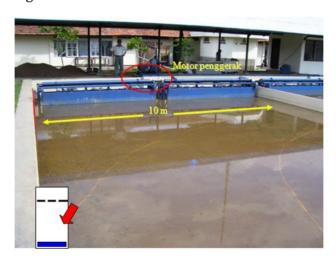
Di mana ρ adalah massa jenis.

Gambar 5.2 adalah wahana kolam gelombang untuk pemodelan fisik dalam riset ini.



Gambar 5.2 Kolam gelombang 3-dimensi untuk pemodelan fisik

Gambar 5.3 menunjukkan pembangkit gelombang monokromatik pada kolam gelombang 3-D tersebut.



Gambar 5.3 Pembangkit gelombang monokromatik pada kolam gelombang 3-D.

Selanjutnya direncanakan skenario variasi dari komponen variabel pada Persamaan (3) di atas. Diharapkan rumus empiris yang diperoleh dapat digunakan dalam perencanaan offshore breakwater selanjutnya untuk mendesain tata letak breakwater pada suatu pantai agar $E_{\rm g}$ dapat diminimalkan.

6 Penutup

Dalam rangka membangun masyarakat pesisir yang tangguh dan berkelanjutan, peran infrastruktur pengaman pantai menjadi sangat krusial. Melalui naskah ini, telah dibahas secara komprehensif berbagai aspek yang terkait dengan pembangunan infrastruktur pengaman pantai, termasuk jenisjenisnya, manfaat, tantangan, serta solusi yang dapat diimplementasikan.

Pertama, pentingnya kawasan pesisir dalam konteks ekonomi dan sosial telah diuraikan dengan jelas. Masyarakat pesisir tidak hanya bergantung pada sumber daya laut untuk mata pencaharian mereka, tetapi juga memainkan peran penting dalam sektor pariwisata dan perdagangan. Oleh karena itu, melindungi kawasan ini dari ancaman alam seperti erosi dan banjir adalah sebuah keharusan.

Jenis-jenis infrastruktur pengaman pantai, seperti tanggul laut, pemecah gelombang (*breakwater*), penanaman vegetasi pantai, dan rehabilitasi mangrove, masing-masing memiliki peran penting dalam mitigasi risiko dan perlindungan lingkungan. Selain itu, solusi berbasis kombinasi antara struktur keras dan struktur lunak seperti vegetasi pantai dan mangrove tidak hanya efektif dalam melindungi garis pantai, tetapi juga menawarkan manfaat tambahan seperti peningkatan keanekaragaman hayati dan penguatan ekosistem lokal.

Dampak positif dari penerapan infrastruktur pengaman pantai terhadap masyarakat pesisir telah terbukti melalui berbagai studi kasus yang disajikan. Infrastruktur ini mampu mengurangi risiko bencana, mendukung stabilitas ekonomi, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Namun, keberhasilan ini sangat bergantung pada keterlibatan aktif masyarakat dalam setiap tahap pembangunan, mulai dari perencanaan hingga implementasi dan pemeliharaan.

Tantangan yang dihadapi dalam pembangunan infrastruktur pengaman pantai tidak dapat diabaikan. Keterbatasan anggaran, serta isu-isu lingkungan dan sosial menjadi hambatan utama yang harus diatasi. Untuk itu, diperlukan solusi inovatif dan kebijakan yang adaptif, termasuk peningkatan kapasitas teknis, penggunaan teknologi terbaru, serta strategi pembiayaan yang berkelanjutan.

Ke depan, sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan pemangku kepentingan lainnya harus diperkuat untuk memastikan keberhasilan inisiatif ini. Pendekatan yang holistik dan partisipatif akan menjadi kunci dalam membangun infrastruktur pengaman pantai yang efektif dan berkelanjutan. Dengan komitmen dan kerjasama yang kuat, diharapkan bahwa masyarakat pesisir akan mampu menghadapi tantangan masa depan dengan lebih baik, serta menikmati kehidupan yang lebih aman, stabil, dan sejahtera.

7 Ucapan Terima Kasih

Dengan selesainya naskah ini, kami ingin mengucapkan puji Syukur kepada Allah Swt., Alhamdulillah kepada Allah yang telah mengizinkan kami untuk mengemban Amanah sebagai Guru Besar

Ucapan terima kasih yang tulus juga kami haturkan kepada pihak ITB dan semua pihak yang telah berjasa dalam men-*support* usaha kita bersama dalam pencapaian ini. Tak lupa kepada kekuarga kami yang telah memberikan warna dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas-tugas sebagai dosen di ITB ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Department of the Army. 1984. *Shore Protection Manual*, Coastal Engineering Research Center, Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, PO BOX 631, Vicksburg, Mississippi 39180, USA
- Department of the Army. 2008. *Coastal Engineering Manual*, Coastal Engineering Research Center, Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, PO BOX 631, Vicksburg, Mississippi 39180, USA
- Ajiwibowo, H. (2012 2022), Laporan-laporan project perencanaan dan supervisi konstruksi bangunan pengaman pantai, Indonesia.

Prof. Harman Ajiwibowo | 53

PROFIL PENULIS

Prof. Ir. Harman Ajiwibowo, M.S., Ph.D.

Harman Ajiwibowo memperoleh gelar Sarjana dari Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung (ITB) serta Master of Science dan Doctor of Philosophy keduanya dari Oregon State University. Harman adalah dosen di ITB, Ketua Kelompok Keahlian Teknik Pantai tahun 2023 - sekarang, Kepala UPT K3L tahun 2012 – 2013, Ketua Program Studi Sarjana Teknik Kelautan pada Desember 2013 – Desember 2016, Wakil Kepala UPT K3L

Februari 2015 – Februari 2018, Anggota Senat FTSL 2023 - sekarang, Anggota Senat Akademik ITB perioda 2023 - sekarang. Sejak tahun 2021, Harman adalah anggota Komite Keselamatan Konstruksi Indonesia untuk sub-komite Bangunan Air.



- Gedung STP ITB, Lantai 1, Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132 \$\bigs\ +62 22 20469057
- www.itbpress.id
- office@itbpress.id Anggota Ikapi No. 043/JBA/92 APPTI No. 005.062.1.10.2018

Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132 E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id Telp. (022) 2512532 fgb.itb.ac.id ffgbItb / FGB_ITB

⊚@fgbitb_1920 Forum Guru Besar ITB

