

Upaya Perlindungan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Pemerintah Provinsi Sumatera Barat dari Ancaman Abrasi dan Perubahan Iklim

Amarulla Octavian*, Marsetio, Abimanyu Hilmawan, Rizqi Rahman

Program Studi Keamanan Maritim. FKN, Universitas Pertahanan, Indonesia

ABSTRAK

Kerusakan pesisir dan pulau-pulau kecil akibat abrasi dan dampak perubahan iklim di Provinsi Sumatera Barat sudah di tingkat yang mengkhawatirkan. Kondisi geografis Sumatera Barat yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia membuat sifat tumbukan gelombang di pesisir relatif kuat sehingga abrasi berlangsung dengan cepat. Kerusakan ekosistem mangrove akibat penebangan, alih fungsi lahan, pencemaran muara, dan kerusakan terumbu karang akibat penggunaan bom, potas, dan pemutihan karang, turut mempercepat terjadinya abrasi. Kerusakan pesisir dan pulau-pulau kecil perlu dicegah karena dapat mengurangi keunggulan strategis pertahanan di wilayah terluar, mengganggu efektivitas fungsi infrastruktur sipil dan militer di pesisir, mengganggu stabilitas ekonomi dan mengurangi ruang hidup masyarakat, membahayakan navigasi, dan mengancam keanekaragaman hayati. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sumberdaya dan upaya pemerintah daerah Provinsi Sumatera Barat dalam melindungi pesisir dan pulau-pulau kecil dari abrasi dan dampak perubahan iklim. Penelitian dilaksanakan pada 15-23 September 2019 di Kota Padang dan di Pulau Sipora. Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi, dan wawancara mendalam kepada pejabat instansi pemerintah daerah dan warga di sekitar pesisir. Data dianalisis menggunakan teknik *data condensation*, *data display*, dan *conclusion drawing*. Hasil penelitian menunjukkan instansi-instansi daerah memiliki keunggulan uniknya masing-masing dalam mendukung pencegahan abrasi dan adaptasi perubahan iklim, namun upaya-upaya yang dilaksanakan masih bersifat sporadis, reaktif, tidak terkoordinasi, dan tidak berkelanjutan. Sumber daya bahan baku untuk pencegahan abrasi dan adaptasi perubahan iklim tersedia melimpah di Sumatera Barat, namun sumber daya keorganisasian yang dimiliki instansi daerah relatif terbatas. Kondisi ini membuat abrasi dan dampak perubahan iklim tidak dapat dicegah secara efektif.

Kata kunci: Pesisir, Pulau-Pulau Kecil, Abrasi, Perubahan Iklim, Perlindungan.

ABSTRACT

West Sumatera Province has an alarming rate of coastal and small islands destruction caused by abrasion and the effect of climate change. Geographical characteristic of West Sumatera Province which directly face Hindia Ocean quickly have it's coastal area eroded with abrasion caused by a strong wave. The destruction of mangrove forest and coral reefs further made the abrasion process worse. Coastal and small islands destruction need to be stopped because it could reduce military strategic advantage in national outer areas, reducing the effectiveness of military and civilian infrastructures, destabilizing economy and narrowing the living space of people, endangering the safety of ship navigation, and threatening nature's biodiversity. The aim of this research is to understand the resources and actions of West Sumatera Province's local government of how it protect the coastal area and small islands from abrasion and to adapt to the effects of climate change. The research was conducted in September 15 to 23 in 2019 at Padang City and Sipora Island of Kepulauan Mentawai Regency. Data collected by field observation and in-depth interview to officials from local government and the locals. Data analyzed by using data condensation, data display, and conclusion drawing analytical technique. The research shows that each provincial departments under West Sumatera Province local government have it's own unique approach and technique to prevent abrasion and adapt to the effects of climate change, but the action taken usually implemented sporadically, reactive, uncoordinated, and not sustainable. Natural resources needed to prevent abrasion and to adapt to climate change are abundant, but the Province's organisational resources is limited, causing the coastal area and small islands ineffectively protected.

Keywords: Coastal Area, Small Islands, Abrasion, Climate Change, Protection

Sitasi: Octavian, A., Marsetio, M., Hilmawan, A., dan Rahman, R. (2022). Upaya Perlindungan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Pemerintah Provinsi Sumatera Barat dari Ancaman Abrasi dan Perubahan Iklim. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 302-315, doi:10.14710/jil.20.2.302-315

1. Pendahuluan

Pesisir merupakan lokasi pertemuan antara daratan dan lautan. Umumnya daerah pesisir dipilih sebagai pusat bisnis, tempat wisata, permukiman,

penempatan infrastruktur strategis, dan pangkalan militer karena keunggulan karakternya yang cocok untuk aktivitas perkapalan dan pergudangan, ekstraksi dan budidaya sumber daya alam, memiliki keindahan

* Penulis Korespondensi: amarulla.octavian@idu.ac.id

alam, dan fungsi yang strategis untuk pertahanan. Pulau-pulau kecil merupakan wilayah daratan yang relatif sempit di tengah laut yang tidak tenggelam saat terjadi pasang. Selain dapat digunakan untuk aktivitas wisata, penempatan pangkalan militer, hingga berperan sebagai titik penentuan garis pangkal, pulau-pulau kecil juga menyimpan keanekaragaman hayati dan penting sebagai fondasi keseimbangan dan kelestarian ekosistem pesisir dan lautan di sekitarnya.

Abrasi dan dampak perubahan iklim merupakan peristiwa yang dapat mengancam keutuhan daerah pesisir dan pulau-pulau kecil. Abrasi yang tidak terkendali dapat mempercepat proses habisnya daerah pesisir dan menghabiskan pulau-pulau kecil. Perubahan iklim dapat memicu kenaikan muka rata-rata air laut dan cuaca ekstrim (IPCC, 2014) sehingga dapat merusak dan menenggelamkan daerah pesisir dan pulau-pulau kecil (Paeniu et al., 2015). Implikasi abrasi dan dampak perubahan iklim cenderung negatif, khususnya jika melanda di tempat manusia bermukim dan beraktivitas. Keduanya dapat mengurangi ruang hidup, merusak infrastruktur, mengganggu aktivitas ekonomi, merusak titik potensial untuk wisata, merusak keseimbangan lingkungan, mendorong dislokasi paksa penduduk, dan mengurangi keunggulan strategis pertahanan. Abrasi dan dampak perubahan iklim yang melanda pulau-pulau kecil dapat membahayakan navigasi kapal, karena ketika pulau-pulau kecil berada di bawah air akan sulit dilihat kapal yang melintas sehingga berpotensi menimbulkan kecelakaan.

Provinsi Sumatera Barat menghadapi persoalan abrasi dan dampak perubahan iklim yang mengkhawatirkan. Di bagian pantai barat Sumatera, abrasi terjadi di berbagai kabupaten seperti di daerah Pesisir Selatan, Pasaman Barat, Agam (Sofyan, 2017), dan Padang Pariaman (Solihuddin, 2011). Di Pantai Padang, kemunduran daerah pesisir terjadi hingga 6 meter per tahun (Istijono, 2013). Di Pulau Pagai Utara, Kepulauan Mentawai, angka kerentanan pesisir menurut perhitungan Indeks Kerentanan Pesisir oleh Remieri et al. (2011) mencapai antara 3,2 (tinggi) hingga 4,2 (sangat tinggi) dari skala maksimal 5 (Mutmainah & Aprizon, 2017). Infrastruktur penahan abrasi seperti groin dapat dengan mudah ditemukan di sepanjang pesisir pantai barat Sumatera (dapat dilihat di 'Google Earth').

Dampak negatif perubahan iklim juga mulai terasa di Sumatera Barat. Cuaca ekstrim berupa hujan deras yang memicu banjir bandang semakin parah dan sering terjadi. Kebakaran hutan dan lahan yang berkepanjangan di provinsi sekitar Sumatera Barat juga menandakan terjadinya musim kering yang ekstrim di dan sekitar kawasan Provinsi Sumatera Barat. Air pasang juga mulai merendam infrastruktur jalan, perumahan penduduk, bahkan instalasi militer milik TNI AD, khususnya di Kota Padang. Banjir rob pernah melanda Kota Padang di tahun 2016 dan merendam hingga ratusan rumah (Tempo, 2016). Badai siklon yang seharusnya tidak terjadi di daerah

khatulistiwa kini terjadi di Sumatera Barat. Dampak perubahan iklim dapat mempercepat proses abrasi akibat rusaknya ekosistem pelindung pesisir seperti terumbu karang, padang lamun, dan mangrove. Perubahan iklim memicu perubahan suhu dan peningkatan keasaman air laut sehingga dapat memicu pemutihan terumbu karang (IPCC, 2014). Kabut asap yang makin sulit dihilangkan akibat dampak perubahan iklim dapat memicu ledakan populasi alga merah sehingga membunuh terumbu karang (Suparno, 2014 dalam bunghatta.ac.id). Selain itu, pertumbuhan mangrove juga akan terganggu akibat terhambatnya proses fotosintesis (Jaafar, 2014). Badai yang parah dapat menimbulkan abrasi dan merusak infrastruktur penahan abrasi (Paeniu et al., 2015; Davies, 2011).

Laju abrasi yang relatif cepat dan ekstrimnya dampak perubahan iklim di Sumatera Barat membutuhkan perhatian serius. Pemerintah daerah adalah pihak yang berwenang dalam memberikan perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil dari abrasi dan dampak perubahan iklim. Namun, penelitian terkait kedua hal ini di Sumatera Barat sebagian besar masih dalam konteks teknis dan jarang yang membahas bagaimana upaya-upaya pemerintah daerah untuk melaksanakan hal tersebut. Tulisan ini bertujuan memberikan gambaran bagaimana upaya-upaya dan program Pemerintah Daerah Provinsi (Pemprov) Sumatera Barat melindungi pesisir dan pulau-pulau kecil dari abrasi dan perubahan iklim, serta menganalisis bagaimana upaya dan program tersebut dapat dikembangkan agar berjalan lebih optimal.

2. Metodologi

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dijalankan pada Tanggal 15-23 September 2019 di Kota Padang dan Pulau Sipora. Kota Padang dipilih karena merupakan lokasi dari seluruh kantor instansi pemerintah di tingkat provinsi di Sumatera Barat dan sebagai representasi dari wilayah di pantai barat Provinsi Sumatera Barat. Pulau Sipora dipilih sebagai representasi kondisi di pulau-pulau kecil, selain merupakan lokasi dari kantor instansi di tingkat kabupaten di Kabupaten Kepulauan Mentawai.

2.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan teknik kualitatif melalui wawancara mendalam dan observasi lapangan (Neuman, 2007). Wawancara mendalam dilaksanakan kepada pejabat-pejabat di beberapa instansi tingkat provinsi yang memiliki wewenang langsung dan pengaruh besar terkait program dan upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil seperti Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP), Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (DPSDA), Dinas Lingkungan Hidup (DLH), Stasiun Meteorologi Maritim (SMM) Teluk Bayur, Dinas Potensi Maritim Lantamal II, dan akademisi dari Universitas Bung Hatta. Observasi dilaksanakan ke beberapa titik pesisir di Kota Padang

dan Pulau Sipora untuk mengetahui langsung kondisi lapangan dan bagaimana efektivitas program perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil yang sudah dijalankan oleh instansi daerah. Tim juga menanyakan pendapat warga sekitar yang mengalami dan merasakan langsung dampak dari abrasi dan dampak perubahan iklim.

2.3 Analisis Data

Data yang terkumpul disederhanakan dengan teknik Miles, Huberman, dan Saldana (2014) yaitu *data condensation*, *data display*, dan *conclusion drawing*, lalu dianalisis menggunakan teori perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil dari aspek bagaimana pendekatan *hard structural engineering method* dan *soft structural engineering method* (Paeniu et al., 2015) yang sudah dijalankan, pendekatan administratif seperti pemberlakuan peraturan perlindungan pantai, penerapan zonasi dan perizinan pengelolaan wilayah pantai, sistem monitoring kondisi perkembangan muka air laut dan gelombang, dan program adaptasi perubahan iklim (Davies, 2011). *Data condensation* dilakukan dengan membandingkan data yang didapat dari berbagai sumber untuk didapatkan informasi yang paling jenuh atau memiliki kesamaan paling banyak antara sumber yang satu dengan yang lainnya. Wawancara juga dilakukan kepada kepala dinas instansi yang bersangkutan agar informasi yang didapat valid dan berdasarkan perspektif pimpinan yang mengetahui rencana besar dari suatu program. *Data display* dilakukan dalam bentuk pemaparan dan analisis dari tulisan ini. *Conclusion drawing* dituliskan di bagian 'Kesimpulan'.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengamatan Lapangan

Di saat observasi dilakukan, Sumatera Barat sedang mengalami angin musim barat sehingga hantaman ombak terjadi dengan keras di daerah

pesisir. Ombak keras merupakan salah satu penyebab cepatnya proses abrasi di Sumatera Barat, khususnya di daerah yang tidak terlindungi infrastruktur keras penahan abrasi dan tanaman pelindung pantai. Provinsi Sumatera Barat yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia dan dipisah Selat Mentawai yang sangat lebar (dapat lebih dari 100 km) membuat laut mendapat tangkapan angin yang besar sehingga menghasilkan gelombang yang tinggi.

Observasi dilakukan di beberapa titik di Kota Padang, yaitu Tugu Merpati Perdamaian dan Masjid Al-Hakim di Pantai Muara Lasak, Pantai Air Manis, Teluk Bayur (Lantamal II), dan Pantai Universitas Bung Hatta. Di Pulau Sipora, observasi dilakukan ke Pantai Mappadega, Pantai Jati, dan Pelabuhan Tuapejat.

Berdasarkan hasil observasi dan pendapat masyarakat sekitar, Pantai Muara Lasak mengalami kemunduran akibat abrasi yang sangat cepat. Pada saat dilakukannya pengambilan data pada 15 September 2019, di titik Tugu Merpati Perdamaian, tugunya sudah sangat dekat dengan air laut dan terlihat adanya rembesan air laut di bagian lantai beton keramik sehingga kapan saja dapat roboh. Untuk menghambat laju abrasi, pemerintah daerah (BPBD) memberikan penghalang karung pasir, namun tidak efektif. Susunan karung pasir roboh diterjang gelombang dan proses abrasi tidak berhenti. Akibat abrasi, tenda payung para pedagang di sekitar Tugu Merpati Perdamaian semakin terdorong ke dalam akibat pesisir yang semakin habis, dan jarak dari laut ke jalanan aspal hanya tinggal sekitar 15 meter.

Masjid Al-Hakim yang sedang dibangun juga berisiko roboh di bagian barat-nya akibat abrasi. Di pesisir bagian masjid ini tidak terdapat tanaman pelindung pantai seperti mangrove. Untuk menahan abrasi, sebelumnya pernah dibangun dinding penahan ombak dari tumpukan batu kali berukuran sedang, namun akhirnya rubuh akibat tidak mampu menahan gelombang yang kuat. Pemilik masjid berupaya secara swadaya menyiapkan *tetrapod* untuk dipasang dan menahan laju abrasi.



Gambar 1. Pantai Muara Lasak di Titik Tugu Merpati Perdamaian Bulan Juli 2019 (kiri) dan titik yang sama pada 15 September 2019 (kanan). Karung pasir disusun untuk menahan abrasi. (Dok. Dinas Potensi Maritim Lantamal II Padang dan Dok. Peneliti)



Gambar 2. Masjid Al-Hakim yang sedang dibangun dan terancam abrasi (kiri) dan *seawall* pelindung masjid yang rusak akibat gelombang (kanan). Foto diambil pada 15 September 2019. (Dok. Peneliti)



Gambar 3. Tenda Pedagang di Sekitar Tugu Merpati Perdamaian. Pantai semakin habis dan amblas akibat abrasi. (Dok. Peneliti)

Masyarakat di sekitar juga menyatakan pernah terjadi air pasang yang sudah mencapai jalan aspal hingga perumahan penduduk, sekitar 100 meter dari Pantai Muara Lasak bahkan sudah mencapai salah satu instalasi militer, yaitu Korem 032 Wira Braja. Tugu Merpati Perdamaian mengalami abrasi yang parah karena belum mendapat tutupan groin (infrastruktur keras penahan abrasi) dan tidak adanya tanaman pencegah abrasi. Menurut informasi yang diterima terakhir oleh Penulis, abrasi sudah merobohkan lantai di Tugu Merpati Perdamaian. Menanggapi hal ini, dibangun infrastruktur pelindung berupa *seawall* dan *groin* (panjipos.com). Hal yang sama juga dilakukan di Masjid Al-Hakim (Infosumbar). Sayangnya upaya perlindungan tidak diikuti dengan *beach nourishment* sehingga area pantai di Tugu Merpati Perdamaian menjadi semakin sempit dibandingkan sebelumnya. Pemasangan pelindung pantai dimulai Februari 2021 dan selesai pada Maret 2021, dengan dana sebesar Rp 19 milyar dari pemerintah pusat (BNPB) untuk perlindungan di Tugu Merpati Perdamaian, Masjid Al-Hakim, dan Pasir Jambak (Infosumbar).

Berbeda dengan Pantai Air Manis dan Teluk Bayur, abrasi relatif tidak terjadi atau tidak separah di Pantai Muara Lasak karena karakter pantainya yang tertutup daratan sehingga gelombangnya tidak terlalu tinggi dan kuat. Pantai Universitas Bung Hatta berdekatan dengan muara sungai, masih sejajar dengan Pantai Muara Lasak, serta menghadap laut lepas dan langsung menghadapi gelombang tinggi. Selain itu, di daerah muara juga tidak terdapat tanaman pelindung pesisir. Kondisi ini menunjukkan risiko abrasi di daerah ini relatif tinggi. Namun karena di bagian bibir pantai dan sungai di sekitar muara sudah dipasang *seawall* dan dibangun *jetties*, tidak terjadi atau sangat sedikit abrasi di wilayah ini.

Di Pulau Sipora, abrasi terjadi di Pantai Mappadega dan Pantai Jati. Pantai Mappadega mengalami pengikisan daratan yang cukup parah yang ditandai adanya pohon kelapa yang rubuh di perairan pantai karena hilangnya pijakan akar akibat abrasi. Di Pantai Jati, abrasi sudah mengancam perumahan penduduk, bahkan beberapa keluarga sudah memundurkan rumahnya sebanyak tiga kali akibat terdesak abrasi.



Gambar 4. Situasi di Teluk Bayur yang Relatif Berombak Tenang (Foto diambil dari Lantamal II Padang). (Dok. Peneliti)



Gambar 5. *Seawall* di sisi Universitas Bung Hatta (kiri), dan *jetties* dan *sea wall* di sekitar Universitas Bung Hatta (kanan). (Dok. Peneliti)

Di Pelabuhan Tuapejat, infrastruktur pelabuhan mengalami kerusakan akibat hantaman ombak walaupun masih dapat digunakan. Di Pulau Sipora, ketersediaan infrastruktur keras penangkal abrasi masih sangat terbatas dan relatif tidak efektif. Di Pantai Mappadega terdapat *sea wall*, namun belum secara menyeluruh menutupi daerah yang rentan abrasi (hanya dibangun di sekitar bungalow dan bangunan wisata lainnya). *Sea wall* ini menghambat proses pergerakan pasir pantai yang terjadi secara alami (akibat gerakan ombak). Kubus-kubus beton juga diletakkan di Pantai Mappadega, namun tidak berhasil untuk menahan abrasi. Di Pantai Jati belum terdapat infrastruktur keras penahan abrasi.

Selain itu, terjadi degradasi lingkungan pantai di Pulau Sipora akibat aktivitas pertambangan pasir dan karang. Kondisi ini dapat mempercepat proses terjadinya abrasi. Terdapat bukti-bukti yang menunjukkan adanya aktivitas penambangan pasir dan karang. Terdapat alat-alat penambang pasir seperti gerobak beroda satu, ember, papan titian, dan tumpukan-tumpukan pasir laut dan karang yang ditumpuk secara sengaja. Di Pantai Jati terjadi aktivitas penebangan mangrove untuk kebutuhan kayu. Buktinya adalah di daerah pantai terdapat akar-akar mangrove yang mati dan sudah membusuk akibat ditebang. Selain itu, bungalow dan bangunan lainnya yang dibangun di Pantai Mappadega dan Jati menggunakan kayu mangrove sebagai tiang-tiang dan tembok. Material pasir laut dan karang juga digunakan untuk pembuatan beton.



Gambar 6. Pohon Kelapa yang rubuh akibat abrasi (perhatikan batang kelapa di bawah air) dan kubus penahan abrasi di Pantai Mapadtega. (Dok. Peneliti)



Gambar 7. Sisa fondasi bangunan perumahan penduduk yang rusak akibat abrasi di Pantai Jati. Lumut yang tebal menunjukkan kerobohan akibat abrasi sudah terjadi cukup lama. (Dok. Peneliti)



Gambar 8. Peralatan yang diduga kuat digunakan untuk penambangan pasir laut dan karang di Pulau Sipora. (Dok. Peneliti)



Gambar 9. Bungalow yang dibangun dari kayu mangrove (kiri), dan bekas akar mangrove yang sudah mati (akibat ditebang) di Pantai Jati (kanan). (Dok. Peneliti)



Gambar 10. Patahan beton saluran pembuangan air limbah (sudah tidak berfungsi) di Pantai Jati yang terbuat dari campuran pasir laut. (Dok. Peneliti)

3.2 Hasil Wawancara Instansi dan Akademisi

Berdasarkan hasil wawancara mendalam, diketahui bahwa upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil oleh Pemprov Sumatera Barat masih berjalan sporadis, tidak terkoordinasi, dan tidak berkelanjutan sehingga pencapaiannya menjadi kurang efektif. Pemprov juga terkesan belum memiliki konsensus dan motivasi yang kuat dalam penanganan abrasi. Upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil didominasi tiga cara, yaitu pembangunan infrastruktur keras pelindung pantai, pendekatan lunak dengan penanaman vegetasi penahan abrasi, dan penyuluhan masyarakat.

Pendekatan pembangunan infrastruktur keras yang efektif untuk kondisi pantai di Sumatera Barat adalah membangun groin/grip. Namun seperti yang terjadi di Pantai Muara Lasak, justru digunakan karung pasir yang sudah terbukti tidak cukup kuat menahan gelombang. Selama ini pembangunan groin didominasi dari bantuan Pemerintah Pusat karena biaya pembangunan groin yang tinggi, yaitu mencapai Rp 1,2 milyar per baris/unit. Walaupun abrasi di Sumatera Barat sudah memprihatinkan, Pemprov Sumatera Barat belum cukup konsisten untuk mempercepat pembangunan groin. Sebagai gambaran, di tahun 2018 DPSDA tidak menganggarkan pembangunan groin dan di tahun 2019 baru dianggarkan kembali sebesar Rp 5 milyar (dari total anggaran Rp 130 milyar). Pembangunan *groin* dan *seawall* di Pantai Muara Lasak pada awal 2021 pun didanai pemerintah pusat karena urgensi Tugu Merpati Perdamaian yang dinilai memiliki fungsi krusial sebagai lambang persahabatan internasional dan memberi manfaat ekonomi kepada masyarakat sebagai tempat wisata. Pembangunan infrastruktur keras lebih terpusat di pesisir barat Sumatera sedangkan di Kabupaten Kepulauan Mentawai masih sangat kurang. Sumatera Barat memiliki sumber daya alam yang melimpah untuk pencegahan abrasi karena memiliki deposit pasir vulkanik dan bebatuan gunung yang melimpah. Namun kendala distribusi masih menjadi halangan, khususnya di Mentawai sehingga masyarakat harus 'rasional' menggunakan pasir laut dan karang sebagai material bangunan karena pasir dari Padang harganya dapat mencapai Rp 700.000 per meter kubik dibandingkan pasir laut yang hanya Rp 90.000 dengan takaran yang sama. Walaupun kualitas bangunan menggunakan pasir laut relatif rendah dan mudah keropos akibat mengandung klorida dan garam (Pattazhy, 2016), hal ini tetap terpaksa dilakukan masyarakat akibat kurang dan mahalnya bahan baku bangunan di Kabupaten Mentawai. Jika pembangunan infrastruktur penangkal abrasi dan dampak perubahan iklim di Kepulauan Mentawai menggunakan pasir laut, terlebih jika komposisinya tidak diatur/sembarang, tentu akan membuat durabilitas dan efektivitas fungsinya menjadi rendah.

Tabel 1. Kegiatan Penanaman Pohon Pelindung Pantai oleh DKP Provinsi Sumatera Barat

Jenis Tanaman	Lokasi	Tahun	Jumlah (Batang)
Cemara Laut, Ketaping, dan Waru	Kab. Padang Pariaman	2006 dan 2007	4.500
Cemara Laut	Kab. Pesisir Selatan	2008	1.100
Cemara Laut	Kab. Agam	2009	800
Cemara Laut	Kab. Pesisir Selatan, Agam, dan Padang Pariaman	2012	1.900
Cemara Laut	Kab. Agam dan Pasaman Barat	2013	1.800
Cemara Laut	Kab. Padang Pariaman	2014	1.800
Cemara Laut	Kab. Pesisir Selatan dan Kota Padang	2015	1.220
Cemara Laut	Kab. Pasaman Barat	2016	300
Cemara Laut	Kab. Agam	2017	1.000
Cemara Laut	Kab. Pesisir Selatan	2018	1.100
Total			15.520

Sumber: DKP Sumatera Barat Tahun 2018

Dalam hal pendekatan lunak, pendekatan perlindungan dari abrasi cenderung inkonsisten dengan kondisi riil di lapangan. Perubahan substrat tanah di pantai barat Sumatera membuat wilayah yang cocok untuk penanaman mangrove semakin sedikit, namun program yang dijalankan oleh DKP justru lebih banyak yang berupa penanaman mangrove, bukan cemara laut yang sebenarnya lebih cocok. Walaupun mangrove diketahui dapat menyerap karbon serta menciptakan ekosistem yang baik untuk pertumbuhan kepiting, udang, kerang, dan ikan-ikan kecil (Ronnback, 1999), peran ekologis cemara laut tidak dapat dikesampingkan. Selain dapat memperbaiki iklim mikro pantai, cemara laut membantu menjaga kesuburan tanah (Harjadi, 2017), dan melindungi pantai dari abrasi akibat angin (Purwantara et al., 2019). Bantuan bibit dari pemerintah pusat lebih banyak yang berupa mangrove akibat kekurangtahuan atas kondisi di lapangan dan tidak memerhatikan kondisi substrat tanah yang ideal, menunjukkan kurangnya koordinasi antara pusat dan daerah. Akibatnya mangrove yang sudah ditanami menjadi mati. Jika mengacu pada kondisi substrat tanah yang semakin tidak cocok untuk penanaman mangrove, program penanaman cemara laut oleh DKP justru jauh lebih kecil dibandingkan mangrove. Antara tahun 2006-2018, jumlah cemara laut yang ditanam adalah 15.520 batang sedangkan penanaman mangrove sejak 2013-2018 mencapai 66.000 batang dan sebagian besar terfokus di daratan Sumatera. Kondisi-kondisi tersebut menunjukkan aspek kuantitas justru lebih ditonjolkan dibandingkan tingkat keberhasilan mangrove atau cemara laut tumbuh hingga besar dan memberi dampak lingkungan yang riil.

Tantangan lain dari upaya perlindungan pantai melalui pendekatan lunak adalah bibit mangrove atau cemara laut yang sudah ditanam seringkali rusak atau mati akibat dimakan ternak milik masyarakat sekitar. Untuk mengatasi hal tersebut, DKP berinisiatif dengan

memberikan pagar pelindung atas bibit yang ditanam. Namun karena keterbatasan sumber daya, pemberian pagar pelindung tidak selalu dapat dilakukan. Sponsor dari Pemerintah Pusat atau pihak swasta memberikan bantuan bibit, namun tidak termasuk pagar pelindung. Bibit yang diberi pagar pelindung memiliki tingkat kepastian tumbuh besar jauh lebih tinggi dibandingkan yang tidak. Selain itu, seringkali setelah penanaman bibit tidak ada program perawatannya sehingga menjadi tidak terawat dan mati. Persoalan lain adalah masih tingginya kekhawatiran dan ketidakpercayaan masyarakat atas program penanaman mangrove dan cemara laut di pesisir. Hal ini didasari atas ketakutan masyarakat bahwa tanah yang ditanami tersebut akan diambil alih oleh pemerintah atau pengusaha. Masyarakat juga ada yang resisten atas program penanaman mangrove dan cemara laut, terutama jika tanah di pesisir tersebut dimiliki ulayat (adat). Untuk mengatasinya, DKP melakukan pendekatan dan memberikan penyuluhan tentang manfaat mangrove dan cemara laut. Masyarakat yang sudah merasakan kemanfaatannya akhirnya memiliki kesadaran sendiri untuk menjaganya. Contohnya ketika pohon cemara laut dapat memberikan tempat yang teduh sehingga dapat digunakan untuk tempat bersantai atau berjualan, masyarakat menjadi berinisiatif sendiri untuk menjaganya.

Secara umum, kondisi lingkungan alam pantai di Sumatera Barat sangat memprihatinkan. Wilayah mangrove di seluruh Sumatera Barat hanya 201,21 km² atau hanya terdapat 0,09² km hutan mangrove per satu kilometer panjang pantai. Luas terumbu karang Sumatera Barat hanya sekitar 0,7% dari luas zona teritorialnya dan luas padang lamun hanya sekitar 5,99 km² (DKP Sumbar) atau besarnya mendekati nol jika dibandingkan dengan luas zona teritorial.

Tabel 2. Kegiatan Penanaman Mangrove oleh DKP Provinsi Sumatera Barat

Jenis Tanaman	Lokasi	Tahun	Jumlah (batang)
<i>Rhizophora Sp</i>	Kota Pariaman	2013	11.000
<i>Rhizophora Sp</i>	Kab. Pesisir Selatan	2013	10.000
<i>Rhizophora Sp</i>	Kab. Pesisir Selatan	2014	13.000
<i>Rhizophora Sp</i>	Kab. Pasaman Barat	2015	15.000
<i>Rhizophora Sp</i>	Kab. Padang Pariaman	2015	7.000
<i>Rhizophora Sp</i>	Kab. Padang Pariaman	2018	10.000
Total			66.000

Sumber: DKP Sumatera Barat Tahun 2018

Tabel 3. Data Umum Kelautan Provinsi Sumatera Barat

Luas Laut Teritorial (12 mil)	57.880 km ²
Panjang Garis Pantai	2.312,71 km
Luas Mangrove	20.120 Ha
Luas Terumbu Karang	39.619,42 Ha
Luas Padang Lamun	598,85 Ha
Luas Kawasan Konservasi	377.545,95 Ha

Sumber: DKP Provinsi Sumatera Barat Tahun 2018



Gambar 11. Program Penanaman dan Pemagaran Bibit Cemara Laut oleh DKP Provinsi Sumatera Barat di Kab. Pesisir Selatan Tahun 2018. (Dok. DKP Provinsi Sumatera Barat)

Kerusakan lingkungan pantai dan laut diperburuk oleh pencemaran bahan kimia di daerah sungai dan muara, praktik pengeboman terumbu karang, penggunaan potas, pengambilan karang, penebangan mangrove, dan praktik *trawling* oleh nelayan dari Sibolga dan nelayan asing. DKP Provinsi, DKP Kabupaten Kepulauan Mentawai, dan Akademisi Universitas Bung Hatta membenarkan masih adanya praktik pengeboman terumbu karang, khususnya di Perairan Mentawai pada September 2019. Kerusakan padang lamun dan terumbu karang juga diperburuk oleh dampak perubahan iklim. Menurut akademisi dari Universitas Bung Hatta, pemutihan terumbu karang sudah terjadi akibat kenaikan suhu laut di antara tahun 2008 dan 2016. Perubahan iklim yang memicu kebakaran lahan dan menimbulkan kabut asap juga memperburuk kondisi terumbu karang, padang lamun,

dan mangrove karena tebalnya asap membuat tumbuhan sulit berfotosintesis dan memicu perkembangan alga merah sehingga banyak terjadi pemutihan terumbu karang dan matinya padang lamun. Kabut asap yang muncul akibat aktivitas manusia, misalnya pembakaran limbah pertanian setelah panen dan pembakaran lahan untuk pembukaan lahan turut memperparah kerusakan tersebut. Badai siklon yang dulunya tidak pernah terjadi, kini terjadi di Sumatera Barat. Selain itu, praktik pengambilan karang yang mati oleh masyarakat turut mempercepat peristiwa abrasi. Menurutnya, tidak hanya terumbu karang hidup dan padang lamun yang berperan mengurangi energi kinetik di dalam laut, tetapi juga terumbu karang mati sehingga keberadaannya tetap perlu dijaga.

Perlindungan hutan mangrove juga menemui hambatan hukum akibat tarik-menarik wewenang dan kepentingan antara DKP dengan Dinas Kehutanan (DLH). Tanggung jawab perlindungan hutan mangrove di Sumatera Barat dipegang oleh DKP sedangkan izin pemanfaatannya dipegang oleh Dinas Kehutanan. Hal ini menimbulkan kondisi saling lempar tanggung jawab ketika terjadi kerusakan hutan mangrove. Akibatnya dari aspek hukum sulit untuk menjamin kepastian pengelolaan hutan mangrove yang lestari dan berkelanjutan karena setiap instansi memiliki perspektif dan kepentingannya masing-masing.

Penebangan pohon mangrove oleh masyarakat juga terjadi, namun dampaknya tidak sebesar penebangan yang dilakukan industri arang. Industri arang justru menimbulkan kerusakan hutan mangrove yang lebih cepat di Sumatera Barat dibandingkan aktivitas penebangan oleh masyarakat. Alih fungsi lahan mangrove untuk perumahan terjadi di Mande. Selain itu, terdapat perkebunan kelapa sawit di dekat Muara Putus, Kabupaten Agam yang berdekatan dengan hutan mangrove. Hal ini berpotensi mengancam kelestarian hutan mangrove, terutama jika aktivitas perkebunan semakin mendekat atau mengambil lahan mangrove.

Total zona konservasi perairan, pesisir, dan pulau-pulau kecil di Sumatera Barat adalah sekitar 3.775,46 km². Landasannya adalah Keputusan Gubernur Sumatera Barat No.523.6/150-2017 Tentang Pencadangan Konservasi Perairan Daerah, Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No.22/KEPMEN-KP/2018 Tentang Kawasan Konserasi Perairan Selat Bunga Laut, Kabupaten Kepulauan Mentawai, dan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. Kep.70/MEN/2009 Tentang Penetapan Kawasan Konservasi Perairan Nasional Pulau Pieh dan Laut Sekitarnya. Luasan ini hanyalah sekitar 6,5% dari zona perairan teritorial Sumatera Barat (57.880km²). Luasan ini tergolong kecil dibandingkan kondisi kerusakan kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil di Sumatera Barat yang sudah tergolong parah seperti yang dijelaskan sebelumnya.

Upaya perlindungan pesisir dan pulau kecil oleh Pemprov Sumatera Barat dalam aspek hukum salah satunya berupa Peraturan Gubernur (Pergub) Sumatera Barat Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Provinsi Sumatera Barat Tahun 2018-2038. Di dalam Pergub ini diatur bagaimana pengelolaan, pemanfaatan, dan perlindungan sumber daya laut dan sudah dibahas secara lengkap. Pergub ini juga membahas abrasi sebagai suatu risiko bencana, dan dikriteriakan risikonya menurut tiga tingkatan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Menurut Pergub Sumatera Barat Nomor 2 tahun 2018, seluruh kabupaten/kota di Sumatera Barat yang memiliki daerah pesisir terancam oleh abrasi dalam tingkatan rendah, sedang, dan tinggi. Kabupaten Pesisir Selatan memiliki 7 kecamatan dengan tingkat abrasi sedang dan 7 dengan tingkat tinggi. Di Kota

Padang terdapat 7 kecamatan dengan risiko abrasi sedang dan 5 dengan tingkat tinggi. Kota Pariaman memiliki 3 kecamatan dengan risiko abrasi sedang. Kabupaten Padang Pariaman terdapat 4 kecamatan dengan risiko abrasi sedang dan 2 tingkat tinggi. Kabupaten Agam terdapat 1 kecamatan dengan risiko abrasi sedang dan 1 tingkat tinggi. Kabupaten Pasaman Barat memiliki 5 kecamatan dengan risiko abrasi sedang dan 2 tingkat tinggi. Di Kabupaten Kepulauan Mentawai terdapat 4 kecamatan dengan risiko abrasi sedang dan 10 tingkat tinggi. Kondisi ini menunjukkan Sumatera Barat sedang dalam keadaan genting abrasi, khususnya Kabupaten Kepulauan Mentawai yang memiliki kecamatan terbanyak dengan risiko abrasi tingkat tinggi.

Sayangnya di dalam peraturan ini belum disebutkan bagaimana memitigasi dampak perubahan iklim beserta arahan langkah untuk penyesuaiannya. Padahal dampak perubahan iklim juga dapat menimbulkan efek yang sama dengan abrasi, yaitu pengurangan ruang hidup di daerah pesisir akibat rendaman air laut; disrupsi kegiatan ekonomi, aktivitas masyarakat, dan proses pemerintahan akibat ancaman cuaca ekstrim; dan percepatan kerusakan ekosistem laut seperti hutan mangrove, terumbu karang, dan padang lamun akibat perubahan suhu. Rusaknya ekosistem laut tersebut dapat mempercepat terjadinya abrasi di pesisir akibat berkurangnya fungsi perlindungan yang ditopang oleh keseimbangan ekosistem laut dan pesisir.

Pencegahan pencemaran juga belum berjalan optimal. Praktik pertambangan ilegal di daerah hulu dan pembuangan limbah industri yang tidak diolah membuat sungai dan muara, khususnya di Kota Padang menjadi tercemar. Peneliti menyaksikan sendiri adanya busa-busa di sungai dekat daerah Sebrang Padang, Kota Padang yang kemungkinan besar berasal dari buangan bahan kimia. Masyarakat juga pernah mengeluhkan pembuangan limbah pabrik karet oleh kawasan industri di Teluk Bayur ke sungai. DLH Sumatera Barat menyatakan praktik pertambangan emas ilegal di daerah hulu Kota Padang juga pernah terjadi dan mengindikasikan kemungkinan adanya pencemaran oleh merkuri. Kondisi ini menunjukkan belum optimalnya penegakkan hukum perlindungan lingkungan dan sangat mungkin hal ini menjadi penyumbang rusak dan sulitnya upaya rehabilitasi tanaman mangrove di daerah muara, serta terumbu karang dan padang lamun di laut. Pencemaran di muara sudah terbukti membuat proses rehabilitasi mangrove terganggu, seperti yang terjadi di Pariaman.

SMM Teluk Bayur, walaupun perannya sangat penting untuk membantu mengawasi abrasi di pesisir, mengawasi perubahan ketinggian permukaan laut terhadap daratan sebagai konsekuensi dari perubahan iklim, dan menjadi penyedia data dalam pembangunan infrastruktur keras dan pendekatan lunak untuk pencegahan abrasi, belum dapat memberikan data oseanografi yang optimal. Kurangnya personil dan peralatan membuat proses pengumpulan data di

lapangan menjadi sangat sulit. Selain itu, wilayah kerja dan tanggung jawab SMM Teluk Bayur sangat luas karena tidak hanya mencakup Kepulauan Mentawai, tetapi juga Provinsi Bengkulu. Akibat kurangnya peralatan pengumpulan data, data tentang cuaca di laut dikumpulkan menggunakan *log book* dari kapal-kapal di pelabuhan. Selain itu, posisi kantor SMM Teluk Bayur tidak berada di pesisir sehingga data yang terkumpul dari *Automatic Weather Station* (AWS) tidak menunjukkan kondisi riil di pesisir bahkan cenderung dipengaruhi oleh kondisi cuaca daerah pegunungan dan dirupsi yang dialami juga tinggi akibat mesin yang terkungkung oleh gedung-gedung lain di sekitarnya. *Buoy* pengumpul data oseanografi juga masih mengalami pencurian atau vandalisme oleh oknum tertentu. Kemampuan jangkauan layanan MSS Teluk Bayur ke Kepulauan Mentawai juga sangat terbatas. Kondisi ini menunjukkan kapabilitas MSS Teluk Bayur dalam pengumpulan data oseanografi yang riil di lapangan, *real time*, mendetail, dan merata di seluruh wilayah perairan Sumatera Barat belum efektif.

Kontribusi TNI AL, khususnya dari Lantamal II Padang dalam perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil adalah dari aspek keamanan. Patroli laut dan darat dilakukan untuk mendeteksi, mencegah, dan menangkap pelaku praktik penangkapan ikan yang ilegal dan penjarahan karang. Aktivitas ini sangat destruktif terhadap keseimbangan ekosistem laut, khususnya terumbu karang dan padang lamun yang berfungsi sebagai penahan abrasi alami. Namun dengan tanggung jawab wilayah pengamanan perairan yang luas yang meliputi Kota Padang, Sibolga, Nias, Kepulauan Mentawai, hingga Bengkulu dan didukung hanya 4 unit kapal patroli, menunjukkan kapabilitas pengamanan laut yang sangat terbatas oleh TNI AL. Di Kepulauan Mentawai terdapat Lanal, namun tidak terdapat kapal patroli dan hanya didukung oleh satu perahu karet. Radar pantai juga belum tersedia, khususnya di Kepulauan Mentawai sehingga kemampuan deteksi di laut hanya dapat mengandalkan dari radar kapal patroli. Kondisi ini membuat pengawasan dan pengamanan laut menjadi sulit dan kurang optimal. Konsekuensinya, walaupun frekuensinya sudah berkurang, praktik pengeboman karang di Kepulauan Mentawai masih terjadi. TNI AL melalui Dispotmar melakukan pembinaan Pramuka Saka Bahari yang anggotanya adalah anak-anak sekolah usia SMP agar memiliki kepedulian terhadap kelestarian laut dan mengadakan program "Bersih Pantai" setiap dua kali seminggu dengan melibatkan masyarakat dan DKP untuk bersama membersihkan pesisir.

3.3 Analisis

Berdasarkan observasi di lapangan dan wawancara mendalam kepada instansi-instansi Pemprov Sumatera Barat, masyarakat, dan akademisi dari Universitas Bung Hatta, tergambar bahwa upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil di Sumatera Barat belum berjalan optimal. Program

perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil yang dijalankan instansi-instansi Provinsi Sumatera Barat cenderung kurang efektif, tidak berkelanjutan, tidak terkoordinasi dengan pusat, dan sporadik. Selain itu, landasan hukum zonasi dan perlindungan sumber daya laut dalam Pergub Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Provinsi Sumatera Barat juga belum memasukkan dampak perubahan iklim sebagai pertimbangan landasan pembuatan peraturan dan kebijakan pengelolaan, pemanfaatan, dan perlindungan sumber daya kelautan di Sumatera Barat. Tanpa adanya konsiderasi faktor dampak perubahan iklim dalam Pergub tersebut, berpotensi dapat menurunkan hingga mengacaukan program-program yang ingin dicapai Pemerintah Daerah Sumatera Barat, khususnya dalam upaya melindungi pesisir dan pulau-pulau kecil maupun eksploitasi sumber daya alam yang tersedia. Konsekuensinya infrastruktur keras penahan abrasi yang dibangun berpotensi tidak efektif untuk waktu yang lama, dampak negatif lingkungan akibat alih fungsi lahan dan eksploitasi sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil dapat terjadi secara eksponensial di luar kalkulasi, serta program rehabilitasi hutan mangrove, padang lamun, dan terumbu karang berpotensi mengalami dirupsi akibat kesalahan kalkulasi kondisi alam yang berubah akibat perubahan iklim.

Agar upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil di Sumatera Barat berjalan lebih efektif, perlu dilakukan beberapa penyesuaian oleh instansi-instansi yang terkait. Hal yang paling utama adalah Pemprov Sumatera Barat perlu mengkaji ulang Pergub Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Peraturan ini perlu mengadaptasi aspek ancaman perubahan iklim agar para pelaksana kebijakan dapat sedini mungkin diingatkan atas kemungkinan yang akan terjadi dan mengambil langkah antisipatif dari risiko perubahan iklim sehingga proses pengelolaan, pemanfaatan, dan perlindungan dapat berjalan lancar dan efektif. Selain itu, Pemprov Sumatera Barat perlu menginisiasikan program pengurangan emisi dan polusi sebagai bentuk partisipasi memperlambat laju perubahan iklim. Peningkatan emisi gas seperti gas CO², metan (CH₄), dan NOX yang meningkat secara global dalam 100 tahun terakhir diketahui sebagai penyebab meningkatnya efek rumah kaca di bumi sehingga menimbulkan perubahan iklim (Wolff et al., 2020). Peningkatan kadar CO² juga menimbulkan peningkatan keasaman air laut yang dapat merusak karang sehingga dapat mengganggu mekanisme perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil secara alami. Oleh karena itu, pengurangan emisi CO² dan polutan lainnya sangat penting dalam mencegah atau memperlambat dampak perubahan iklim. Setidaknya program pengurangan emisi dan polusi dijalankan terlebih dulu di level instansi tingkat provinsi dan kabupaten/kota. Hal yang dapat dilakukan misalnya mulai menggunakan panel surya sebagai substitusi sumber energi yang tidak harus

terus menyala seperti AC, kipas angin, penerangan, air mancur, fasilitas hiburan (TV dan radio), dan lain sebagainya. Hal ini agar beban penggunaan listrik berkurang sehingga emisi dari kegiatan produksi listrik juga ikut berkurang. Penggunaan mobil listrik di lingkungan kedinasan juga perlu dipromosikan, setidaknya untuk aktivitas dinas di dalam kota untuk membantu mengurangi emisi. Perlahan program ini perlu dikenalkan kepada masyarakat agar emisi dan polusi di Sumatera Barat semakin berkurang.

Mengingat ancaman perubahan iklim semakin nyata, perizinan eksploitasi sumber daya alam yang berkaitan dengan pengelolaan dan pemanfaatan pesisir, dan memengaruhi pola hidup hutan mangrove, padang lamun, dan terumbu karang perlu diperketat. Perizinan juga perlu mempertimbangkan studi kelayakan yang juga memasukkan aspek prediksi dampak perubahan iklim. Pemprov Sumatera Barat juga perlu melibatkan SMM Teluk Bayur secara lebih signifikan dalam perencanaan pengelolaan, pemanfaatan, dan perlindungan ruang pesisir dan mendorong untuk dibuatnya peta rujukan yang sifatnya universal yang di dalamnya sudah memasukkan aspek dampak perubahan iklim di Sumatera Barat. Tujuannya agar aktivitas masyarakat, swasta, dan instansi pemerintah tidak terdisrupsi oleh dampak perubahan iklim akibat kurang komprehensifnya pertimbangan dan perencanaan di awal.

SMM Teluk Bayur merupakan garda terdepan dalam menghadapi ancaman abrasi dan dampak perubahan iklim karena fungsinya dalam memberi informasi dasar mengenai tren kondisi oseanografi dan meteorologi maritim di perairan Sumatera Barat. Sejalan dengan Davies (2011), *Union of Concerned Scientist-UCS* (2016) dalam penelitian yang berjudul "*The US Military on the Front Lines of Rising Seas*" menekankan pentingnya kapabilitas *monitoring* muka air laut secara komprehensif dan spesifik menurut lokasinya dalam menghadapi ancaman dampak perubahan iklim. UCS juga menekankan pentingnya pembuatan peta permodelan beresolusi tinggi tentang informasi terkait badai topan, banjir rob, pasang surut, dan informasi meteorologi maritim lainnya yang dapat dijadikan pedoman dalam memitigasi dampak perubahan iklim. Belum optimalnya kemampuan pengumpulan data oleh SMM Teluk Bayur atas wilayah di Sumatera Barat menunjukkan adanya gap yang signifikan yang dapat mengganggu upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil. Oleh karena itu, kapabilitas pengumpulan dan pengolahan data terkait dampak perubahan iklim, termasuk kondisi meteorologi maritim, oseanografi, tinggi pasang surut air laut, tingkat kenaikan air laut rata-rata, tren peristiwa cuaca ekstrem, dan lain sebagainya oleh SMM Teluk Bayur perlu ditingkatkan dari aspek kualitas maupun kuantitas. Perlu ada penambahan cabang stasiun pengawas dan mesin-mesin pengumpul data, khususnya di Kepulauan Mentawai dan titik-titik kritis lainnya yang terdampak abrasi dan perubahan

iklim di pantai barat Sumatera. Mekanisme penjagaan mesin-mesin pengumpul data seperti *buoy* dan sebagainya juga perlu dikembangkan agar aman dari ancaman pencurian dan vandalisme yang masih sering terjadi. Hal ini bertujuan agar pengumpulan data tidak terinterupsi sehingga tingkat keandalan dan keakuratan data dapat dipertanggungjawabkan.

Perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil menggunakan infrastruktur keras seperti groin (di daerah pesisir yang panjang) dan tembok laut (di pulau-pulau kecil) perlu dijalankan secara konsisten dan berkelanjutan. Tidak adanya penganggaran pembangunan groin di tahun 2018 oleh DPSDA Sumatera Barat menunjukkan inkonsistensi dan ketidakberlanjutan upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil dari pendekatan model ini. Penyelesaian pembangunan groin di pantai barat Sumatera perlu dipercepat. Pembangunan infrastruktur keras pencegah abrasi juga perlu mulai dibangun di Kabupaten Kepulauan Mentawai yang banyak terdapat titik risiko abrasi tinggi. Disrupsi sosial akibat abrasi di Pulau Sipora dan Pantai Muara Lasak sudah terbukti dan perlu secepat mungkin dihentikan atau diperlambat. Terkait pendanaan, Pemprov Sumatera Barat dan instansi yang terkait harus pandai untuk menarik tambahan dana dari Pemerintah Pusat, sponsor swasta/CSR, pendanaan dari LSM internasional, atau pemerintah negara lain. Tujuannya agar program pembangunan groin dan bangunan pelindung lainnya dapat dipercepat atau dituntaskan agar tidak menimbulkan percepatan abrasi di titik lain akibat pembangunan groin yang belum selesai. Kelimpahan sumber daya alam pencegah abrasi seperti pasir vulkanik dan batu gunung di Sumatera Barat untuk pembangunan groin dan tembok laut harus dimanfaatkan semaksimal mungkin. Masalah kelangkaan dan tingginya harga material di Kepulauan Mentawai juga perlu diatasi dengan pembangunan gudang material dan sistem logistik yang efisien. Gudang material ini juga sebaiknya menyediakan material lain seperti kayu dan bambu sebagai solusi pengganti penggunaan kayu mangrove untuk bahan bangunan di Kepulauan Mentawai. Sangat baik jika kedepannya di Kepulauan Mentawai dibuat mandiri dapat menghasilkan bambu sendiri sehingga tidak perlu mendatangkannya dari daratan Sumatera.

Selain membangun groin dan tembok laut, DPSDA perlu mempertimbangkan pengembangan dan pembangunan bangunan pelindung pantai menggunakan teknik material *phillipsite* yang sudah terbukti dapat bertahan sejak Zaman Romawi Kuno hingga sekarang di daerah pesisir Italia (Marie D. et al., 2017). Selain itu, teknik *sub-merged breakwater* (pemecah ombak bawah air) yang berupa '*Reef Ball*' (beton berbentuk kubah yang diberi lubang-lubang) dan kantung berisi kumpulan kulit kerang juga perlu dicoba di Sumatera Barat. Selain kemampuannya mengurangi kekuatan gelombang, keduanya terbukti berhasil memancing keberadaan *muschel* (kerang-

kerangan). Dibandingkan 'Reef Ball', kantung berisi kulit kerang lebih berhasil dalam menghasilkan tingkat kepadatan yang lebih tinggi atas kehadiran *mussel*, meningkatkan kehadiran ikan-ikan kecil, namun tanpa mengganggu aktivitas ikan-ikan berukuran besar (Scyphers et al., 2014). Kerang merupakan mangsa dari ikan atau kepiting (Hsueh et al., 1992 dalam Scyphers et al., 2014), serta jika hidup berkelompok dalam jumlah banyak dapat membentuk struktur habitat baru seperti padang lamun (*seagrass*) dan rawa air asin (*saltmarsh*) (Bertness, 1984; Peterson & Heck, 2001 dalam Scyphers et al., 2014). Artinya tidak menutup kemungkinan nantinya di daerah yang dibangun infrastruktur jenis ini dapat terbentuk kembali lokasi yang layak untuk pertumbuhan padang lamun, terumbu karang, dan mangrove yang sebelumnya rusak.

DKP perlu memeriksa kembali pendekatan lunak untuk perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil yang dijalkannya. Fenomena perubahan substrat tanah di pantai barat Sumatera perlu disesuaikan kembali dengan penanaman bibit yang cocok menurut kondisi alam yang berlaku. Terkait pemagaran bibit yang baru ditanam, DKP perlu menggandeng sponsor dari Pemerintah Pusat, swasta, LSM nasional atau internasional, dan pemerintah negara lain untuk pendanaan yang optimal sehingga bibit yang ditanam memiliki kepastian yang tinggi untuk tumbuh besar dan memberi efek perlindungan pantai yang efektif. Untuk perawatannya, praktik pelibatan partisipasi masyarakat yang dijalankan DKP perlu dipertahankan dan diperluas.

DKP juga perlu berdiskusi dan bekerjasama dengan SMM Teluk Bayur dan DPSDA untuk teknik rehabilitasi mangrove, terumbu karang, dan padang lamun yang optimal. Seringkali bibit yang baru ditanam rusak diterjang ombak, atau kurang terpapar pasang surut air laut akibat kontur atau substrat di pesisir yang sudah berubah. Untuk mengatasinya, perlu dikombinasikan antara pembangunan infrastruktur keras, penanaman tanaman pelindung pantai, dan penambahan tanah berlumpur atau pasir (*beach nourishment*). Tujuan kombinasi ini adalah untuk menjamin bibit tanaman pelindung pantai yang baru ditanam terlindung dari energi gelombang/arus yang berlebihan, membantu memerangkap sedimen dan nutrisi dari laut, dan memberi tempat berlindungnya organisme laut yang dapat mendukung pembentukan substrat baru untuk pertumbuhan lamun dan rawa asin seperti kerang-kerangan. Jika upaya ini ditambah prediksi data yang akurat mengenai dampak perubahan iklim terhadap kondisi di pesisir, dapat secara signifikan meningkatkan kemungkinan keberhasilan rehabilitasi tanaman pelindung pesisir dan pulau-pulau kecil, termasuk menjamin efektivitas perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil dari abrasi dan dampak perubahan iklim (Davies, 2011). Pendekatan lunak yang dikombinasikan pendekatan infrastruktur keras terbukti jauh lebih efektif dan berkelanjutan dalam membantu memberi

perlindungan pesisir (Ibid). Kebijakan ini perlu juga dikombinasikan dengan penyuluhan kepada masyarakat mengenai pentingnya melindungi hutan mangrove, padang lamun, dan terumbu karang, mencegah pencemaran oleh sampah dan bahan kimia berbahaya yang dapat merusak ekosistem laut, dan menjaga ekosistem laut yang sedang dipulihkan. Kerjasama DKP bersama TNI AL dalam menjalankan program "Bersih Laut" untuk membersihkan pesisir dari sampah harus dipertahankan. Sejauh ini penyuluhan dan program "Bersih Pantai" yang dilakukan bersama DKP yang diinisiasikan Lantamal II Padang sudah baik, dan kesadaran masyarakat untuk menjaga lingkungan laut semakin meningkat.

Ketidaksesuaian hukum antara DKP dengan Dinas Kehutanan (DLH) juga perlu segera diperjelas kembali terkait pemanfaatan dan pelestarian hutan mangrove yang keduanya tumpang tindih dipegang kedua instansi. Namun jika ditelisik bahwa kerumunan mangrove digolongkan sebagai hutan, bukan berarti kewenangan ini wajib dipegang Dinas Kehutanan. Oleh karena wilayah tumbuhnya yang dipengaruhi kondisi laut, izin pemanfaatan dan pelestarian mangrove mungkin dapat dipegang oleh DKP yang memiliki *core competence* yang lebih dinamis dalam hal pengelolaan dan perlindungan sumber daya laut, yang di dalamnya termasuk juga hutan mangrove. Namun peraturan baru ini jangan sampai membatasi partisipasi Dinas Kehutanan dalam membantu percepatan pemulihan hutan mangrove.

DLH perlu menegaskan kembali penegakkan hukum atas pelaku pencemaran sungai, muara, dan laut, serta mencegah aktivitas penambangan pasir dan karang laut. Pemberian izin industri yang kiranya dapat mencemari sungai dan laut, serta alih fungsi lahan di daerah pesisir perlu diperketat. Pencemaran sungai yang kemudian terkumpul di muara dan laut/pantai terbukti membuat upaya rehabilitasi mangrove menjadi sulit di Pariaman. Pencemaran laut, alih fungsi daerah pesisir, sedimentasi, hingga penambangan pasir juga merusak kelestarian padang lamun (Unsworth & Unsworth, 2018). Padahal fungsi padang lamun sangat penting dalam menstabilkan keasaman air laut akibat peningkatan kadar CO² secara global (Ricart et al., 2021). Penegakkan hukum secara ketat demi pencegahan pencemaran sungai dan laut, serta pemberian izin alih fungsi lahan dan aktivitas bisnis di pesisir yang tidak lestari perlu diperketat. Selain itu, DLH harus mulai memasukkan aspek dampak perubahan iklim sebagai pertimbangan dalam pemberian izin pemanfaatan dan pengelolaan wilayah pesisir. Perubahan iklim dapat memperlambat proses rehabilitasi ekosistem pesisir dan laut yang rusak sehingga tingkat kerentanannya belum tentu sama dibandingkan sebelum terjadi perubahan iklim beberapa dekade lalu. Oleh karena itu, analisis dan pertimbangan perizinan seharusnya tidak akan sederhana di waktu lampau karena saat ini kondisi di lapangan sudah berubah, dan ini adalah hal yang dibutuhkan demi perlindungan pesisir dan pulau-

pulau kecil yang lebih optimal. DLH bekerjasama dengan DKP dan universitas juga perlu memikirkan bagaimana melakukan pemuliaan tanaman pada varietas tanaman pelindung pantai yang mampu beradaptasi dengan dampak perubahan iklim. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat *survivability* bibit-bibit tanaman pelindung pantai sehingga fungsi penahan abrasi dan dampak perubahan iklimnya dapat diwujudkan sesegera mungkin dan dirasakan secara optimal.

DLH bekerjasama dengan instansi lainnya juga perlu mempromosikan kepada masyarakat dan industri untuk tidak lagi menggunakan kayu mangrove sebagai bahan pembuatan arang. Perlu dikenalkan teknologi pembuatan briket arang yang baru kepada masyarakat atau pengenalan penggunaan bahan lain dari sekitar, misalnya membuat briket dari limbah pertanian (batang padi) atau kulit dan batok kelapa. Petani di Sumatera Barat umumnya membakar begitu saja limbah batang padi pasca panen sehingga dalam tingkatan tertentu dapat menimbulkan kabut asap. Jika batang padi tersebut dan limbah pertanian lainnya diolah menjadi briket arang tidak hanya membantu mengurangi polusi udara dan mencegah kemungkinan timbulnya kabut asap yang ikut dapat merusak terumbu karang dan padang lamun, tetapi juga mengurangi tingkat kerusakan mangrove dan tanaman berkayu lainnya yang biasa digunakan untuk membuat arang di daerah pesisir.

Lantamal II Padang perlu meningkatkan kapabilitas pengamanan laut dan pesisir dari ancaman praktik *IUU Fishing* (khususnya *trawling* dan pengeboman) dan aktivitas penangkapan destruktif lainnya yang dapat merusak ekosistem terumbu karang, padang lamun, dan hutan mangrove. Praktik *IUU Fishing*, khususnya *trawling* dapat sangat merusak ekosistem terumbu karang dan padang lamun karena sifatnya yang mengeruk dasar laut (Suherman et al., 2020) dan mengacaukan endapan sedimen di dasar laut. Untuk kebutuhan tersebut, Lantamal II Padang perlu menambah jangkauan tutupan radar pantai tidak hanya di kawasan Selat Mentawai, tetapi juga Samudera Hindia (sebelah barat Kepulauan Mentawai) sebagai bentuk peningkatan kemampuan pemantauan dan pengawasan di laut secara terus-menerus dan *real time*. Patroli laut perlu dioptimalkan dengan memperbanyak jumlah kapal patroli dan ukurannya juga perlu diperbesar, setidaknya kapal ukuran 40 atau 70 meter agar mampu menghadapi tantangan alam di Selat Mentawai dan Samudera Hindia yang bergelombang besar.

Lantamal II Padang juga perlu berpartisipasi mengurangi emisi dan polusi. Caranya dapat berupa menggunakan panel surya sebagai sumber listrik di Gedung Mako Lantamal II, Lanal, dan Posal untuk penggunaan listrik yang tidak dibutuhkan menyala terus-menerus seperti AC, penerangan, dan rekreasi (TV dan radio untuk hiburan). Bahan bakar yang digunakan untuk kapal dan kendaraan dinas perlu menggunakan yang *high grade* (oktan tinggi) agar

emisinya rendah. Selain itu jika memungkinkan, mesin kapal yang digunakan adalah yang berbahan bakar gas (*gas turbine engine*) untuk mengurangi cemaran bahan bakar minyak di laut dan polusi udara. Lantamal II Padang juga perlu meningkatkan frekuensi patroli udara agar pengawasan di laut berjalan lebih optimal. Sangat baik jika Lantamal II Padang berinisiatif bekerjasama dengan Kepolisian untuk memeriksa gudang-gudang dan pabrik ilegal, termasuk kapal-kapal nelayan di pelabuhan yang menyimpan dan memproduksi bahan-bahan untuk praktik penangkapan ikan yang destruktif. Pengawasan di daerah Sibolga perlu diperketat karena pelakunya sebagian besar berasal dari daerah ini. Dispotmar Lantamal II perlu melanjutkan terus program pembinaan Pramuka Saka Bahari untuk membentuk generasi muda yang peduli dan cinta laut.

3.4 Temuan Unik di Lapangan

Pengamanan laut melalui patroli ternyata memiliki fungsi yang sangat penting dalam membantu mencegah abrasi dan meredam dampak perubahan iklim di pesisir dan pulau-pulau kecil. Tanaman pelindung seperti terumbu karang dan padang lamun dapat dengan cepat rusak akibat aktivitas penangkapan ikan yang destruktif atau praktik pengambilan dan penambangan pasir dan karang. Kerusakan yang parah dapat meliputi daerah yang luas hanya dalam waktu beberapa jam atau hari, namun pemulihan terumbu karang dapat memakan waktu dari beberapa dekade hingga ribuan tahun. Oleh karena itu, pengamanan berupa patroli laut oleh aparat keamanan sama pentingnya dengan upaya pendekatan pembangunan infrastruktur keras dan lunak untuk melindungi pesisir dan pulau-pulau kecil. Tantangan proses pemulihan karang dan padang lamun sangat kompleks, membutuhkan waktu yang lama, serta memiliki tingkat keberhasilan yang tidak selalu tinggi. Dampak perubahan iklim seperti peningkatan suhu air laut hingga kemunculan fitoplankton alga merah dapat kapan saja terjadi dan menimbulkan pemutihan atau kematian terumbu karang yang sedang dipulihkan. Jika kompleksitas ini diperburuk praktik penangkapan ikan yang destruktif dan aktivitas pengambilan karang, maka persoalan tidak akan selesai. Perlindungan mangrove, terumbu karang, dan padang lamun secara fisik menggunakan presensi aparat keamanan seperti TNI AL dan Kepolisian adalah bagian integral dari kelestarian ekosistem laut itu sendiri. Oleh karena itu, perlindungan fisik perlu menjadi agenda wajib dan menjadi bahan pertimbangan dalam setiap proses perlindungan dan rehabilitasi ekosistem laut yang secara langsung berfungsi mencegah abrasi dan menahan dampak perubahan iklim.



Gambar 12: Suasana sore hari di Tugu Merpati Perdamaian. Keramaian mendorong perkembangan dan peralihan bisnis masyarakat yang lebih positif. (Dok. Peneliti)

Davies (2011) menyatakan perlunya di daerah pesisir dibuat infrastruktur untuk keperluan inspeksi di daerah pantai. Di Sumatera Barat, melalui program dari Pemerintah Pusat dibangun jalan dari Kabupaten Pesisir Selatan ke Kota Padang dengan maksud meningkatkan konektivitas. Berkat adanya jalan ini, wisatawan dari Kabupaten Pesisir Selatan ke Kota Padang meningkat dan banyak yang diantaranya yang mengunjungi laut, salah satunya Pantai Muara Lasak. Secara langsung, keberadaan jalan ini tidak hanya membantu perekonomian sektor wisata di Kota Padang dan Kabupaten Pesisir Selatan, serta menarik datangnya pemodal besar maupun kecil, tetapi juga memicu terjadinya alih profesi masyarakat. Menurut Dispotmar Lantamal II Padang, makin tingginya minat masyarakat di bidang wisata laut turut menurunkan angka pelanggaran di laut. Masyarakat pesisir melakukan alih profesi dari nelayan menjadi pemandu wisata, jasa penyewaan kapal, dan melakukan perikanan keramba sehingga memiliki pekerjaan alternatif atau penghasilan tambahan. Nuansa negatif di Pantai Muara Lasak dan sekitarnya yang dulunya biasa dijadikan tempat berkumpulnya preman dan tempat 'menyepi' menjadi berubah. Perhatian dan kepedulian masyarakat atas keindahan, kerapihan, dan kebersihan pantai menjadi meningkat. Daerah pantai tidak lagi menjadi tempat yang bernuansa negatif dan dijauhi masyarakat. Selain itu, para preman beralih profesi melakukan bisnis lain seperti menjadi tukang parkir dan sebagainya.

Lantamal II Padang juga semakin merasakan kemudahan dalam pengamanan laut. Akses jalan di sepanjang pantai barat Sumatera yang dibangun Pemerintah Pusat membuat tempat yang sulit dijangkau melalui darat menjadi mudah diakses sehingga pendeteksian dan pencegahan aktivitas yang mencurigakan dan kiranya dapat merusak kelestarian laut lebih mudah dilakukan. Hal ini berpotensi menghemat biaya patroli mengingat biaya operasional kapal jauh lebih mahal berlipuh hingga beratus kali lipat dibandingkan patroli melalui darat. Walaupun tidak dimaksudkan sebagai fasilitas inspeksi pesisir,

jalan raya yang sejajar dengan daerah pesisir dapat lebih bermanfaat karena tidak hanya meningkatkan dan memudahkan konektivitas, tetapi juga dapat digunakan untuk inspeksi kondisi di pesisir, walaupun mungkin membutuhkan sedikit tambahan fasilitas agar fungsinya lebih efektif. Peristiwa yang terjadi di Sumatera Barat adalah pembelajaran bahwa ada baiknya jalan inspeksi pesisir difungsikan sebagai jalan umum atau sebaliknya, sehingga keuntungan yang didapat akan semakin banyak. Tidak menutup kemungkinan jalan seperti ini juga akan ikut bermanfaat bagi instansi lain yang bertugas melindungi pesisir dan pulau-pulau kecil, khususnya dari aspek kemudahan akses sehingga dapat membantu peningkatan keberhasilan program yang dijalankan.

4. Kesimpulan

Abrasi di Sumatera Barat dipicu oleh degradasi lingkungan pesisir dan pulau-pulau kecil di Sumatera Barat. Karakter ombak yang kuat dari Samudera Hindia dan Selat Mentawai, terutama saat angin musim barat mempercepat terjadinya abrasi. Upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil oleh Pemprov Sumatera Barat belum efektif karena upaya perlindungan yang dilaksanakan secara sporadis, tidak konsisten dan berkelanjutan, kurang ada kesesuaian antara program yang dilaksanakan dengan kondisi riil di lapangan, kurangnya sumber daya, belum jelas dan detailnya peraturan hukum, kurangnya koordinasi dengan pemerintah pusat, belum ada konsensus dan motivasi yang kuat di antara instansi daerah dalam penanganan abrasi, dan belum optimalnya penegakan hukum perlindungan lingkungan. Pendekatan pembangunan infrastruktur keras dan lunak untuk perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil yang dijalankan Pemprov Sumatera Barat masih belum optimal sehingga abrasi masih berlanjut. Belum dimasukkannya aspek dampak perubahan iklim dalam Pergub Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil berpotensi semakin menyulitkan Pemprov Sumatera Barat upaya perlindungan pesisir dan pulau-pulau kecil di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Davies, M. (2011). *Climate Change and Shoreline Protection. Atlantic Climate Adaptation Solutions Associations (ACASA), Kanada.*
- Dinas Kelautan dan Perikanan Sumatera Barat. (2018). *Data umum Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Barat.* Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Barat.
- Faruqi, A. El. (2016). *Seratusan Rumah di Padang Terendam Banjir Rob.* Tempo. <https://nasional.tempo.co/read/777597/seratusan-rumah-di-padang-terendam-banjir-rob/full&view=ok>. Diakses 19 Maret 2020 Pukul 19.44 WIB.

- Harjadi, B. (2017). Peran Cemara Laut (*Casuarina Equisetifolia*) Dalam Perbaikan Iklim Mikro Lahan Pantai Berpasir di Kebumen. *Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*.
- Infosumbar. (2021, Juni 17). *Wajah Baru Pantai Padang Setelah Pemasangan Batu Grip* (Video). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=SSWHr5nPPBA>. Diakses 4 Januari 2022 pukul 21.02 WIB.
- IPCC. (2014). *Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Istijono, B. (2013). Tinjauan Lingkungan dan Penanggulangan Abrasi Pantai Padang, Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil* 9 (2).
- Jaafar, Z. (2014). Linking Land, Air, and Sea: Potential Impacts of Biomass Burning and the Resultant Haze on Marine Ecosystems of Southeast Asia. *Global Change Biology*.
- Jackson, M.D., Mulcahy, S.R., & Chen, H. (2017). Phillipsite and Al-Tobermorite Mineral Cements Produced Through Low-Temperature Water-Rock Reactions in Roman Marine Concrete. *American Mineralogist*, 102 (7): 1435-1450. doi: <https://doi.org/10.2138/am-2017-5993CCBY>.
- Miles M.B., Huberman A.M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: a Methods Sourcebook*. Los Angeles: SAGE.
- Mutmainah, Herdiana & Aprizon P. (2017). Indeks Kerentanan Pesisir di Pesisir Timur Pulau Pagai Utara, Mentawai. *Loka Penelitian Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir Balitbang KP KKP*.
- Neuman, W. L. (2007). *Basics of Social Research: Qualitative and Quantitative Approaches. Second Edition*. (n.p). Pearson Education.
- Paeniu L., Iese V., Jacot D.C.H., De Ramon N'Yeurt A., Korovulavula I., Koroi A., Sharma P., Hobgood N., Chung K., & Devi A. (2015). Coastal Protection: Best Practices from the Pacific. *Pacific Centre for Environment and Sustainable Development*. (PaCE-SD). The University of the South Pacific, Suva, Fiji.
- Pattazhy, Sainudeen. (2016). *What is the Reason for not Using Sea and Desert Sand for Construction?* The Hindu. <https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/what-is-the-reason-for-not-using-sea-and-desert-sand-for-construction/article7489192.ece>. Diakses 10 Januari 2022 pukul 19.52 WIB.
- Purwantara, S. (2019). Persepsi Masyarakat Terhadap Penanaman Cemara Laut (*Casuarina Equisetifolia* L.) di Lahan Pasir Pantai Selatan Kabupaten Bantul Sebagai Upaya Mitigasi Bencana. *Geomedia Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian* 17 (2).
- Ricart A.M., Ward M., Hill T.M., Sanford E., Kroeker K.J., Takeshita Y., Merolla S., Shukla P., Ninokawa A.T., Elsmore K., & Gaylord B. (2021). Coast-wide Evidence of low pH Amelioration by Seagrass Ecosystems. *Glob Change Biol.*, 27, 2580-2591. <https://doi.org/10.1111/gcb.15594>.
- Ronnback, P. (1999). The Ecological Basis for Economic Value of Seafood Production Supported by Mangrove Ecosystem. *Ecological Economics* 29 (1999) 235-252.
- Scyphers, S.B., Sean P., & Kenneth L.H. (2014). *Ecological Value of Submerged Breakwaters for Habitat Enhancement on a Residential Scale*. New York: Springer Science+Business Media.
- Sinergitas Bagus, Jadikan Tugu Merpati Makin Kokoh*. (2021). Panjipost.com. <https://www.panjipost.com/2020/09/sinergitas-bagusjadikan-tugu-merpati.html>. Diakses 4 Januari 2022 pukul 21.02 WIB.
- Solihuddin, Tb. (2011). Karakteristik Pantai dan Proses Abrasi di Pesisir Padang Pariaman, Sumatera Barat. *Balitbang Kelautan Perikanan Kementerian Kelautan dan Perikanan*.
- Suherman, A., Mas, A.S., Yudi, N.I., Dian W., & Stephanie J. (2020). The Eradication of IUU Fishing in Indonesia for Fisheries Resources Sustainability by the Task Force 115. *ACL Bioflux*, 13(5).
- Suparno. (2014). *Dr. Suparno: Kabut Asap Berdampak Serius Bagi Terumbu Karang*. Bunghatta.ac.id. <https://bunghatta.ac.id/news-1595-dr-suparno-kabut-asap-berdampak-serius-bagi-terumbu-karang.html>. Diakses 17 Oktober 2019 pukul 09.02 WIB
- Union of Concerned Scientist. (2016). The US Military on the Front Lines of Rising Seas. *Union of Concerned Scientist*. Dapat diunduh di <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2016/07/us-military-on-front-lines-of-rising-seas-all-materials.pdf>.
- Unsworth, R. & Leanne C.U. (2018). *Seagrass Loss: The Disaster is Creeping*. The Jakarta Post. <https://www.thejakartapost.com/academia/2018/04/10/seagrass-loss-the-disaster-is-creeping.html>. Diakses 9 Januari 2022 pukul 23.07 WIB.
- Wolff, E., Inez F., Brian H., John F.B.M., Tim P., Benjamin S., John S., Keith S., Susan S., Kevin T., John W., & Don W. (2020). Climate Change Evidence & Causes Update 2020. *The National Academy of Sciences*. Dapat diunduh di https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf.