

Dinamika Garis Pantai Pulau Karimunjawa dan Kemujan Tahun 2000 - 2030

Dzakwan Taufiq Nur Muhammad* dan Djati Mardiatno

Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281 Indonesia

*Corresponding author, e-mail: dzakwantaufiq00@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK: Perubahan iklim secara langsung menyebabkan terjadinya kenaikan muka air laut bagi wilayah kepesisiran. Hal ini menyebabkan garis pantai menjadi tidak stabil, sehingga perlu untuk dilakukan pemantauan secara spasial dan temporal. Pulau Karimunjawa dan Kemujan merupakan dua pulau kecil dengan garis pantai yang saling terhubung oleh hutan mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dinamika garis pantai Pulau Karimunjawa dan Kemujan tahun 2000 – 2030. Identifikasi garis pantai tahun 2000 – 2020 diperoleh melalui ekstraksi garis pantai metode single band (B5) dan band ratio (B4/B2 dan B5/B2) citra Landsat 7 ETM+, sedangkan untuk identifikasi garis pantai tahun 2030 diperoleh melalui prediksi garis pantai metode Kalman Filter Model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa garis pantai cenderung mengalami akresi dengan rata-rata perubahan garis pantai sebesar +0,76 meter per tahun dan diprediksi akan mengalami kemajuan garis pantai rata-rata sebesar +1,02 meter per tahun. Garis pantai daerah penelitian tergolong stabil dengan sedikit akresi (akresi sedang).

Kata kunci: Dinamika garis pantai; prediksi garis pantai; Pulau Karimunjawa; Kemujan.

Shoreline Dynamics of Karimunjawa and Kemujan Islands 2000 – 2030

ABSTRACT: *Climate change causes sea level rise for coastal region. This causes the shoreline become unstable, so spatial and temporal monitoring is necessary. Karimunjawa and Kemujan Islands are two small islands with a shoreline that are connected by mangrove forests. This research aims to identify shoreline dynamics of Karimunjawa and Kemujan Islands in 2000 – 2030. The identification of shoreline in 2000 – 2020 was obtained through the extraction of shoreline using single band (B5) and band ratio (B4/B2 and B5/B2) method from Landsat 7 ETM+, while for identification of shoreline in 2030 was obtained through shoreline forecasting using Kalman Filter Model method. The results show that the shoreline tends to be accreted with an average shoreline change of +0.76 meters per year and predicted to be accretion with an average shoreline change of +1.02 meters per year. The Shoreline of the study area is relatively stable with little accretion (medium accretion).*

Keywords: *Shoreline dynamics; shoreline forecasting; Karimunjawa; Kemujan Islands.*

PENDAHULUAN

Salah satu dampak perubahan iklim bagi wilayah kepesisiran adalah kenaikan muka air laut. Fenomena kenaikan muka air laut tersebut menjadikan garis pantai sebagai bagian dari wilayah kepesisiran yang paling terdampak oleh perubahan iklim. Oleh karena itu, *International Geographic Data Committee* (IGDC) menyatakan bahwa garis pantai merupakan salah satu dari 27 fitur yang penting untuk dipetakan dan dipantau kondisi spasial dan temporalnya (Li dkk, 2002). Pentingnya pemetaan dan pemantauan garis pantai secara spasial dan temporal ini didasari pada dinamisnya perubahan garis pantai oleh berbagai faktor, salah satunya perubahan iklim. Indonesia yang memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia ini secara otomatis menjadikan fenomena dinamika garis pantai perlu untuk dipertimbangkan dalam pembangunan wilayah kepesisiran.

Pulau Karimunjawa dan Kemujan memiliki garis pantai yang saling terhubung karena kedua pulau tersebut disatukan oleh hutan *mangrove* yang tumbuh diantara kedua pulau. Kedua pulau tersebut berpotensi mengalami perubahan garis pantai yang dipicu oleh perubahan iklim dan aktivitas penduduk. Hal ini dikarenakan telah teridentifikasinya perubahan garis pantai yang cukup signifikan di sekitar lokasi penelitian. Penelitian Arddinatarta, *et al.* (2016), menyatakan bahwa pada tahun 2000 – 2015, Kepulauan Karimunjawa dan Kabupaten Jepara mengalami perluasan wilayah laut secara berurutan sebesar 212,5 dan 643,26 Ha. Penelitian lain yang dilakukan oleh Dewi (2019) menyatakan telah terjadi perubahan garis pantai berupa abrasi sebesar 1460,1 Ha di Kota Semarang dan sekitarnya pada tahun 2000 - 2018. Terakhir, penelitian Kurniawan (2018) menyatakan bahwa terjadi akresi sebesar 1763,29 m dan abrasi sebesar 792,14 m di wilayah kepesisiran Kabupaten Kendal pada tahun 1990-2017.

Informasi dinamika garis pantai di Pulau Karimunjawa dan Kemujan sangatlah terbatas. Namun, ketiga penelitian di sekitar lokasi penelitian mengindikasikan bahwa terdapat potensi perubahan garis pantai yang cukup dinamis di Pulau Karimunjawa sejak tahun 2000. Mengingat Kepulauan Karimunjawa, Kota Semarang, Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Jepara memiliki wilayah yang berdekatan secara geografis dan saling berasosiasi melalui Laut Jawa. Atas dasar tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui secara tentatif dinamika garis pantai di Pulau Karimunjawa dan Kemujan sejak tahun 2000 hingga tahun 2020.

Permasalahan dinamika garis pantai perlu dipertimbangkan dalam perencanaan pembangunan tata ruang wilayah di Pulau Karimunjawa dan Kemujan, karena berkaitan dengan luasan wilayah beserta pemanfaatannya. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Jepara saat ini berlaku hingga tahun 2031, maka diperlukan prediksi perubahan garis pantai pada tahun 2030 sebagai salah satu pertimbangan dalam pembuatan RTRW Kabupaten Jepara periode berikutnya. Hal inilah yang menjadi dasar penelitian ini untuk memprediksi secara statistik berdasarkan data historis dinamika garis pantai di Pulau Karimunjawa dan Kemujan pada tahun 2030.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dinamika garis pantai Pulau Karimunjawa dan Kemujan tahun 2000 – 2030. Dengan begitu maka dapat dilakukan pemantauan terhadap perkembangan garis pantai di daerah penelitian. Selain itu, berdasarkan hasil prediksi juga dapat ditentukan arahan pembangunan wilayah kepesisiran yang mempertimbangkan dinamika garis pantai.

MATERI DAN METODE

Dinamika garis pantai diketahui dengan ekstraksi garis pantai yang memanfaatkan citra Landsat 7 ETM+ tahun 2000, 2005, 2010, 2015, dan 2020. Tanggal pemilihan citra ditentukan berdasarkan keseragaman musim agar meminimalisir kondisi hidro-oseanografi, sehingga diperoleh garis pantai yang akurat dan representatif (Kurniawan, 2018). Data curah hujan *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data* (CHIRPS) tahun 2000 – 2020 daerah penelitian dilakukan pengkelasan berdasarkan klasifikasi Schmidt-Ferguson. Citra dilakukan pengolahan *cloud mask* dan *gap fill* serta koreksi geometrik dan radiometrik *surface reflectance* agar diperoleh citra yang berkualitas.

Ekstraksi garis pantai menggunakan teknik *hystogram threshold single band dan band ratio yang merupakan pixel-based method* dengan memanfaatkan citra multispektral (Marfai dan Rosaji, 2018). Metode *sigle band* memanfaatkan Band 5 (SWIR-1) karena band/saluran tersebut dapat membedakan antara darat dan laut berdasarkan nilai *hystogram threshold-nya*. Namun, metode *single band* ini memiliki kelemahan karena kurang dapat mengidentifikasi garis pantai pada daerah yang berlumpur dan bervegetasi (Dewi, 2019). Salah satu upaya untuk mengatasi kelemahan pada metode *single band*, dengan menggunakan metode *band ratio*. Caranya dengan memanfaatkan rasio antara saluran SWIR-1 dan NIR dengan saluran Green. Hal ini dilakukan karena dapat memperlihatkan garis pantai yang tertutup oleh vegetasi, pasir, dan tanah (Winarso dan Budiman 2001). Sehingga, dapat diperoleh begitu dapat diperoleh dua citra *band ratio*, yaitu citra (*NIR/Green*) dan (*SWIR-1/Green*).

Citra *single band* dan dua citra *band ratio* yang telah diolah sebelumnya, kemudian dilakukan perkalian algoritma diantara keduanya sehingga diperoleh citra baru yang dapat menghasilkan ekstraksi garis pantai yang lebih baik. Secara detail, perkalian algoritma tersebut dilakukan dengan formula sebagai berikut (Kasim, 2012):

$$\text{If } B5 \leq 1 \text{ then } 1 \text{ else } 2 * \text{if } (B4/B2) \geq 1 \text{ then } 1 \text{ else if } (B5/B2) \geq 1 \text{ then } 1 \text{ else } 2 \quad (1)$$

Koreksi ekstraksi garis pantai dilakukan untuk menghilangkan genangan air akibat fenomena pasang surut saat perekaman citra. Koreksi pasang surut dilakukan dengan formula berikut:

$$X = \eta / \tan \beta \quad (2)$$

Keterangan: X = Nilai Koreksi; η = Ketinggian muka air laut saat perekaman citra (m); β = Kemiringan dasar pantai ($^{\circ}$)

Nilai koreksi (X) menggambarkan jarak pergeseran garis pantai yang telah terkoreksi. Citra yang direkam saat kondisi pasang (-), maka dilakukan penggeseran garis pantai kearah laut sebesar nilai koreksi. Citra yang direkam saat kondisi surut (+), maka dilakukan penggeseran garis pantai kearah daratan sebesar nilai koreksi.

Validasi data ekstraksi garis pantai dilakukan dengan metode *Confusion Matrix* (Irfan *et al*, 2012). Validasi dilakukan dengan membandingkan kesesuaian data antara citra Landsat 7 ETM+ yang digunakan sebagai sumber ekstraksi garis pantai dan citra *Google Earth* yang digunakan untuk validasi data citra Landsat 7 ETM+. Metode *Confusion Matrix* dilakukan dengan mengambil titik sampel secara *purposive sampling* berdasarkan daerah yang mengalami perubahan garis pantai hasil dari ekstraksi yang telah dilakukan sebelumnya. Terakhir, dilakukan perhitungan akurasi citra dengan formula berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah sampel yang sesuai}}{\text{Jumlah seluruh titik sampel}} \times 100\% \quad (3)$$

Jika hasil akurasi memiliki nilai >70%, maka data dianggap dapat dilakukan pengolahan data lebih lanjut. Namun, jika hasil akurasi memiliki nilai <70%, maka citra dianggap perlu untuk dilakukan ekstraksi ulang hingga diperoleh akurasi data yang dianggap mencukupi untuk dilakukan pengolahan data lebih lanjut (Dewi, 2019).

Perhitungan laju perubahan garis pantai dilakukan pada *software* ArcGIS dengan bantuan ekstensi *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Rongga antar transek pada penelitian ini adalah 30 meter karena disesuaikan dengan resolusi spasial citra Landsat 7 ETM+. Setiap transek dilakukan perhitungan dinamika garis pantai dengan 4 metode statistik, yaitu *Shoreline Change Envelope* (SCE), *Net Shoreline Movement* (NSM), *End Point Rate* (EPR), dan *Linear Regression Rate* (LRR). Metode SCE mewakili jarak terjauh diantara semua garis pantai yang memotong setiap transek. Metode NSM dilakukan untuk melihat perubahan garis pantai yang terjadi selama 20 tahun pada setiap transek. Metode EPR dilakukan untuk melihat rata-rata laju perubahan garis pantai dari awal hingga akhir tahun pengukuran (m/tahun) disetiap transek. Secara detail perhitungan metode EPR adalah sebagai berikut:

$$\text{EPR} = \frac{\text{Net Shoreline Movement (NSM)}}{\text{Periode Pengukuran (tahun)}} \quad (4)$$

Metode LRR dilakukan untuk dapat melakukan pemodelan prediksi garis pantai. Nilai laju perubahan regresi linear pada setiap transek yang diperoleh dalam metode ini, digunakan sebagai dasar untuk pemodelan garis pantai di daerah penelitian pada tahun 2030. Nilai laju perubahan regresi linear pada setiap transek yang diperoleh dalam metode ini dapat menggambarkan laju abrasi dan akresi yang komprehensif, karena analisisnya yang tidak hanya berlandaskan pada dua garis pantai tetapi seluruh garis pantai.

Prediksi perubahan garis pantai 10 tahun kedepan dilakukan dengan *Kalman Filter Model* yang didasari pada nilai LRR garis pantai selama 20 tahun pengukuran. *Kalman Filter Model* akan memprediksi posisi garis pantai setiap tahun hingga pengamatan posisi garis pantai aktual diperoleh, kemudian model akan melakukan analisis untuk meminimalkan kesalahan antara posisi garis pantai hasil prediksi dengan posisi garis pantai aktual, dengan begitu maka model dapat meningkatkan perkiraan posisi garis pantai dimasa depan (Long dan Plant, 2012). Proses tersebut dilakukan berturut-turut hingga waktu perkiraan yang diinginkan tercapai. Prediksi perubahan garis pantai ini hanya didasari pada data historis saja. Padahal kondisi garis pantai dipengaruhi oleh banyak hal yang sangat kompleks. Hal tersebutlah yang menjadi batasan dalam penelitian ini, dimana asumsi perkiraan garis pantai hanya didasari pada posisi garis pantai dimasa lalu saja dan belum mempertimbangkan faktor faktor pembentuk lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra yang digunakan dalam identifikasi dinamika garis pantai di Pulau Karimunjawa dan Kemujan adalah citra Landsat 7 ETM+ yang diakuisisi pada 31 Agustus 2000, 14 September 2005, 27 Agustus 2010, 12 Oktober 2015, dan 23 September 2020. Hal ini didasarkan pada keseragaman musim daerah penelitian saat perekaman citra berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson. Bulan kering dipilih sebagai waktu yang paling ideal dalam ekstraksi garis pantai, karena pada bulan tersebut, faktor hidro-oseanografi sangat rendah dalam mempengaruhi kondisi garis pantai (Kurniawan, 2018).

Ekstraksi garis pantai yang diperoleh melalui pendekatan *single band* (B5) dan *band ratio* (B4/B2 dan B5/B2) pada citra Landsat 7 ETM+ tidak serta merta menunjukkan batas daratan dan lautan yang valid. Koreksi pasang surut dilakukan untuk menghilangkan faktor genangan air laut akibat fenomena pasang surut, sehingga diperoleh garis pantai yang lebih akurat (Darmiati *et al.*, 2020). Hasil koreksi yang pasang surut yang diperoleh pada setiap waktu akuisisi citra (Tabel 1).

Terakhir, validasi dilakukan agar diketahui apakah hasil ekstraksi garis pantai di daerah penelitian cukup representatif dengan kondisi aslinya, sehingga dapat diperoleh analisis data yang akurat. Validasi dilakukan dengan metode *Confusion Matrix* yang membandingkan kesesuaian fitur darat dan laut antara citra Landsat 7 ETM+ (sumber ekstraksi garis pantai) dengan citra referensi (Landsat 5 dan Sentinel-2) (Irfan *et al.*, 2012). Dalam membandingkan kesesuaian fitur, ditentukan 90 titik sampel yang dipilih berdasarkan wilayah kepeosisiran yang mengalami perubahan garis pantai selama periode 20 tahun. Hasil validasi yang dilakukan pada 90 titik sampel setiap tahun pengamatan terlihat pada Tabel 2.

Kelima hasil ekstraksi garis pantai memiliki persentase akurasi lebih dari 70%, hal ini menandakan bawah hasil ekstraksi masing-masing garis pantai telah cukup representatif dengan kondisi aslinya. Dengan begitu, maka hasil ekstraksi garis pantai yang diperoleh diasumsikan telah memadai untuk dilakukan analisis lebih lanjut, mulai dari analisis laju perubahan garis pantai, hingga prediksi perubahan garis pantai.

Garis pantai di Pulau Karimunjawa dan Kemujan pada tahun 2000 – 2020 cenderung tidak mengalami perubahan yang sangat signifikan di seluruh wilayah kepeosisiran. Hanya terdapat beberapa wilayah kepeosisiran saja yang mengalami perubahan garis pantai yang cukup signifikan.

Tabel 1. Nilai Koreksi Pasang Surut

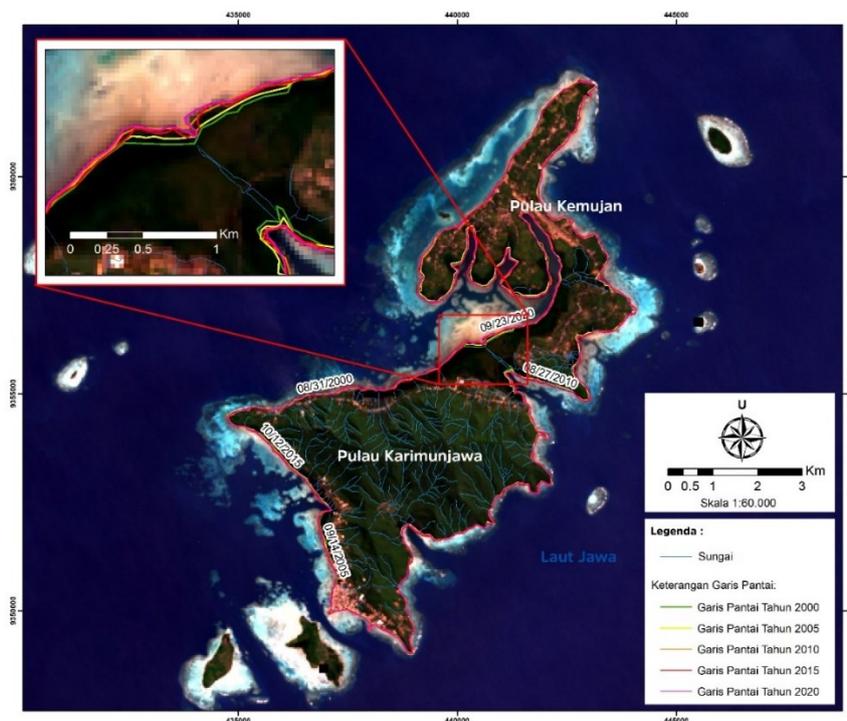
Tahun	Kondisi	η (m)	B (°)	X (m)	Pergeseran
2000	Surut	0.576	0.816	+ 0.706	Kearah darat
2005	Surut	0.547	0.816	+ 0.671	Kearah darat
2010	Surut	0.608	0.816	+ 0.746	Kearah darat
2015	Surut	0.489	0.816	+ 0.599	Kearah darat
2020	Pasang	0.634	0.816	- 0.777	Kearah laut

Hal ini umumnya terjadi pada wilayah kepeesisiran yang didominasi oleh tutupan lahan *mangrove*. Secara spasial, perubahan garis pantai yang paling dinamis terletak pada wilayah kepeesisiran *mangrove* yang menghubungkan antara Pulau Karimunjawa dan Kemujan (Gambar 1).

Perubahan garis pantai yang sangat dinamis selama 20 tahun di wilayah kepeesisiran dengan tutupan lahan *mangrove* ini didominasi oleh fenomena akresi. Hal ini terlihat dari adanya penambahan luas daratan akibat proses deposisi material atau penumpukan sedimen di sekitar wilayah kepeesisiran. Penambahan luas daratan ini menandakan bahwa *mangrove* tersebut tumbuh dengan sangat baik. *Mangrove* memiliki beberapa fungsi bagi wilayah kepeesisiran, mulai dari fungsi peredam gelombang pasang, pelindung dari proses erosi pantai, penahan lumpur, hingga perangkap sedimen bagi wilayah di sekitarnya (Senoaji dan Hidayat, 2016). Dengan adanya akumulasi lumpur dan sedimen yang terdeposisi, serta diikuti dengan teredamnya energi gelombang air laut yang datang menjadikan terjadinya penambahan luas daratan di wilayah kepeesisiran *mangrove*.

Tabel 2. Confussion Matrix Daerah Penelitian

Tahun	Landsat 7 ETM+	Reference		Akurasi		
		Darat	Laut	Sesuai	Tidak Sesuai	Persentase
2000	Darat	24	2	76	14	84.44%
	Laut	12	52			
2005	Darat	35	1	67	23	74.44%
	Laut	22	32			
2010	Darat	56	8	72	18	80.00%
	Laut	10	16			
2015	Darat	56	4	71	19	78.89%
	Laut	15	15			
2020	Darat	59	6	70	20	77.78%
	Laut	14	11			



Gambar 1. Peta Dinamika Garis Pantai Tahun 2000 - 2020

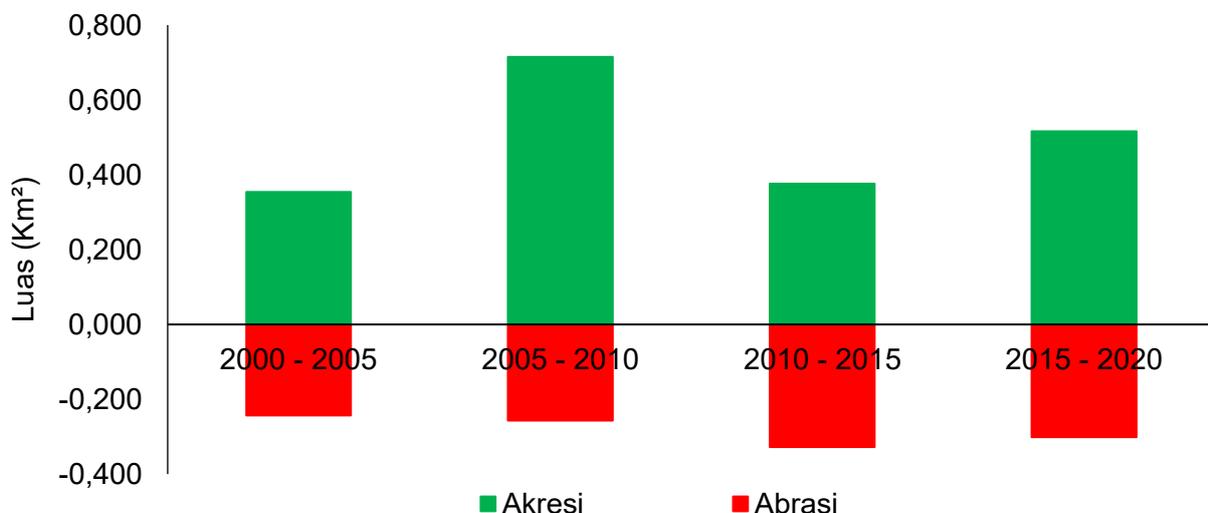
Selama 20 tahun, berdasarkan data garis pantai yang diperoleh melalui citra Landsat 7 ETM+, luasan fenomena akresi selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai abrasi yang terjadi disetiap periode. Hal ini menandakan bahwa secara keseluruhan, daerah penelitian selama 20 tahun cenderung mengalami penambahan daratan (akresi). Perkembangan abrasi dan akresi daerah penelitian selama 20 tahun terlihat pada Gambar 2.

Laju perubahan garis pantai dianalisis secara statistik berdasarkan garis pantai yang memotong setiap transek disepanjang garis pantai daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki jumlah 1999 transek disepanjang garis pantai, yang mana setiap transek memiliki jarak 30 meter. Pada setiap transek dilakukan perhitungan statistik dengan 4 metode yaitu SCE, NSM, EPR, dan LRR.

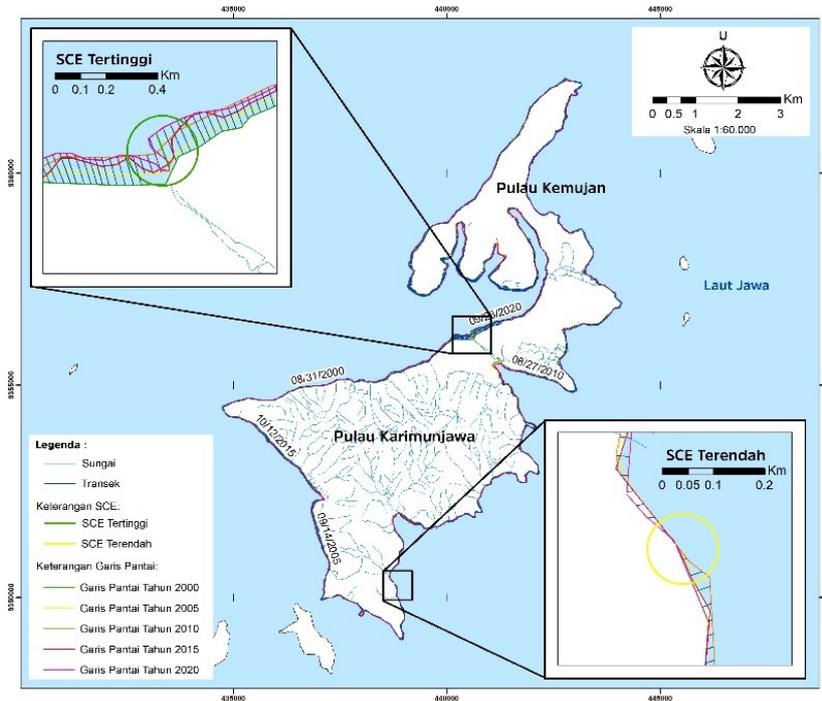
Perhitungan statistik SCE dilakukan untuk mengetahui jarak terjauh antar seluruh garis pantai. Dari seluruh transek yang ada, daerah penelitian memiliki nilai SCE tertinggi sebesar 142,55 meter yang terletak di *mangrove* yang menghubungkan antara Pulau Karimunjawa dan Kemujan. Selain itu, daerah penelitian memiliki nilai SCE terendah sebesar 0,47 meter yang terletak di lahan semak belukar Pulau Karimunjawa (Gambar 3).

Perhitungan statistik NSM di daerah penelitian menggunakan tahun tertua dan terbaru, yang mana pada penelitian ini menggunakan garis pantai tahun 2000 dan 2020. Berbeda dengan SCE, metode statistik NSM dapat memperlihatkan transek mana yang mengalami abrasi dan akresi. Secara statistik daerah penelitian memiliki 527 transek yang mengalami abrasi, dan 1472 transek yang mengalami akresi. Maka secara statistik fenomena akresi jauh lebih dominan dibandingkan dengan fenomena abrasi. Persentase transek yang mengalami abrasi hanya 26,46%, sedangkan akresi hingga mencapai 73,64%.

Pulau Karimunjawa dan Kemujan selama 20 tahun memiliki nilai NSM terendah atau nilai NSM abrasi tertinggi memiliki nilai sebesar -63,2 meter (Tabel 3). Transek dengan nilai NSM terendah ini terletak di lahan semak belukar yang berada di didaerah paling utara Pulau Kemujan. Daerah tersebut merupakan daerah yang paling terdampak oleh tenaga erosional gelombang air laut, karena selama 20 tahun mengalami pengikisan daratan hingga 63,2 meter. Sedangkan NSM tertinggi atau NSM akresi tertinggi di daerah penelitian memiliki nilai yang lebih besar hingga dua kali lipat, yaitu sebesar 142,55 meter (Tabel 3). Transek dengan nilai NSM tertinggi ini terletak di lokasi yang sama dengan transek yang memiliki nilai SCE tertinggi, yaitu transek yang berada di *mangrove* yang menghubungkan Pulau Karimunjawa dan Kemujan. Tingginya nilai NSM yang dimiliki oleh *mangrove* ini dapat dikarenakan oleh dua hal, pertama karena pertumbuhan *mangrove* yang menjalar ke arah lautan, serta kedua karena hadirnya pengendapan lumpur dan sedimentasi material yang menyebabkan penambahan wilayah daratan.



Gambar 2. Grafik Fenomena Abrasi dan Akresi



Gambar 3. Peta *Shoreline Change Envelope* Tahun 2000 - 2020

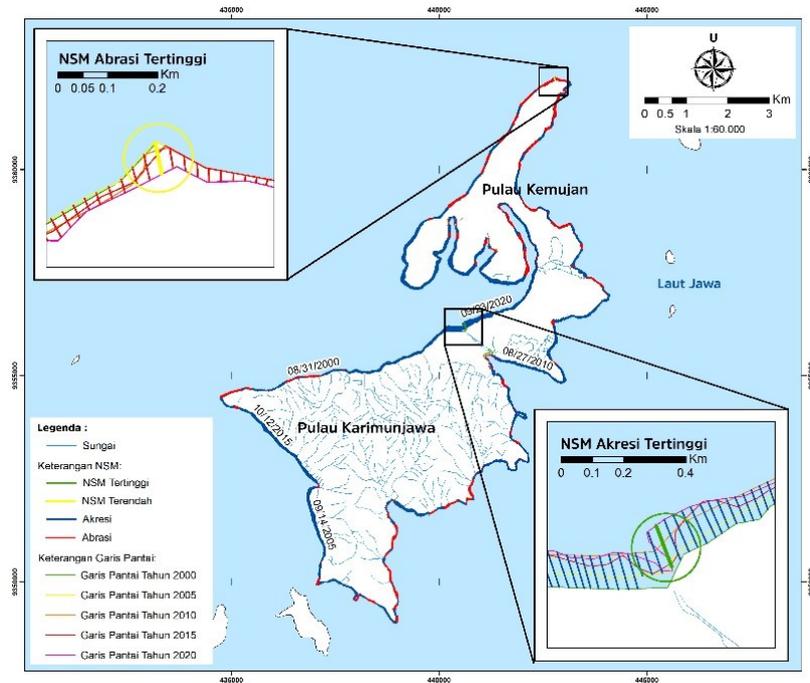
Tabel 3. Statistik NSM tahun 2000 – 2020

Statistik		Jarak (meter)	
NSM	Abrasi (-)	Terendah	-63.2
		Rata-Rata	-9.53
	Akresi (+)	Tertinggi	142.55
		Rata-Rata	22.8
	Rata-Rata		

Secara spasial, daerah penelitian selama 20 tahun didominasi oleh fenomena akresi karena persebarannya sangat dominan di sepanjang garis pantai, sedangkan fenomena abrasi hanya tersebar secara minor di berbagai wilayah (Gambar 4). Fenomena akresi yang tersebar secara dominan ini memiliki rata-rata peningkatan panjang daratan sebesar 22,8 meter di setiap transeknya. Di sisi lain, fenomena abrasi di setiap transek memiliki rata-rata pengikisan daratan hingga 9,53 meter.

Statistik laju perubahan garis pantai metode EPR memiliki jumlah transek abrasi dan akresi yang sesuai dengan metode NSM. Daerah penelitian memiliki nilai EPR terendah atau nilai EPR abrasi tertinggi sebesar -3,15 meter/tahun (Tabel 4). Transek yang memiliki nilai EPR terendah ini sama dengan transek yang memiliki nilai NSM terendah, yaitu transek yang berada di lahan semak belukar di didaerah paling utara Pulau Kemujan. Nilai EPR tertinggi atau nilai EPR akresi tertinggi di daerah penelitian memiliki nilai sebesar 9,49 meter/tahun (Tabel 4). Transek yang memiliki nilai EPR tertinggi terletak di lokasi yang sama dengan transek yang memiliki nilai NSM tertinggi, yaitu transek di *mangrove* yang menghubungkan antara Pulau Karimunjawa dan Kemujan.

Secara spasial terdapat pola yang sesuai antara penggunaan lahan dengan fenomena akresi (Gambar 5). Daerah yang memiliki tutupan lahan berupa *mangrove* cenderung tergolong kedalam daerah yang mengalami akresi sangat tinggi karena memiliki laju perubahan garis pantai lebih dari 2 meter pertahun. Kondisi ini terlihat pada *mangrove* yang menghubungkan antara Pulau



Gambar 4. Peta Net Shoreline Movement Tahun 2000 - 2020

Tabel 4. Statistik EPR tahun 2000 – 2020

Statistik		Laju (meter/tahun)	
EPR	Abrasi (-)	Terendah	-3.15
		Rata-Rata	-0.47
	Akresi (+)	Tertinggi	9.49
		Rata-Rata	1.15
			Rata-Rata

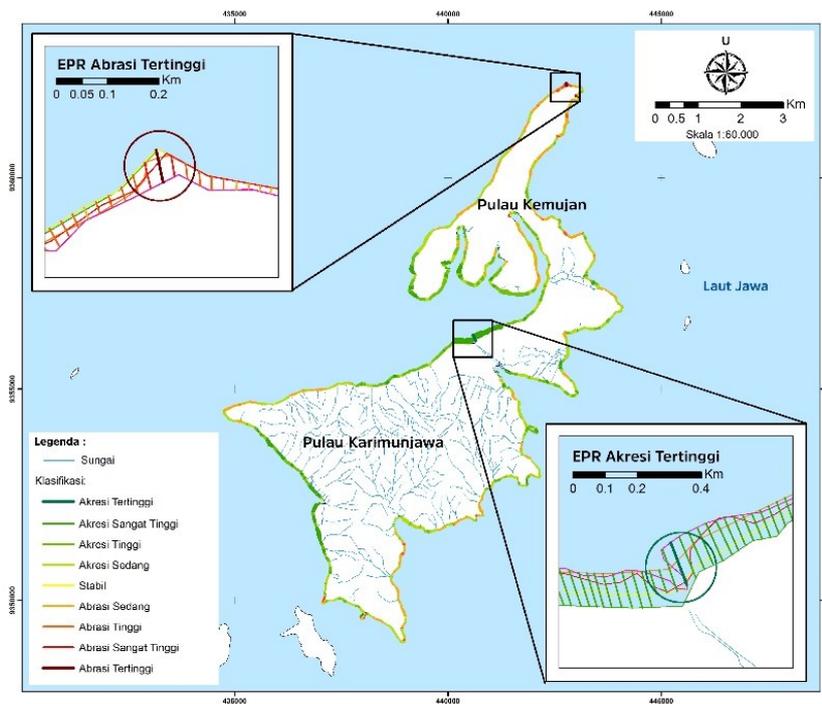
Karimunjawa dan Kemujan, serta *mangrove* yang berada di daerah barat Pulau Karimunjawa. Hal ini cukup sesuai dengan *mangrove* yang berfungsi untuk menahan lumpur dan mengendapkan material, sehingga terjadinya akresi yang sangat tinggi akibat dari tidak mampunya gelombang air laut untuk mengikis endapan material disekitar *mangrove*.

Statistik LRR melihat laju perubahan garis pantai dengan mempertimbangkan seluruh data garis pantai, mulai dari data garis pantai tahun 2000, 2005, 2010, 2015, dan 2020. Sedikit berbeda dengan metode EPR, metode LRR daerah penelitian memiliki 25,19% transek yang tergolong abrasi, dan sisanya sebesar 74,81% transek tergolong akresi (Tabel 5). Transek di sepanjang garis pantai daerah penelitian memiliki nilai abrasi tertinggi sebesar -3 meter/tahun dan nilai akresi tertinggi sebesar 7,22 meter/tahun. Transek yang memiliki nilai abrasi tertinggi terletak di transek yang sama dengan transek yang memiliki nilai EPR tertinggi. Namun tidak serupa dengan abrasi, transek yang memiliki nilai akresi tertinggi berdasarkan metode LRR ini tidak sama dengan transek yang memiliki nilai akresi tertinggi berdasarkan metode EPR. Namun, perbedaan letak transek hanya berjarak 30 meter atau dengan kata lain hanya berjarak satu transek. Perbedaan transek dengan akresi tertinggi di antara kedua metode hadir dikarenakan perbedaan garis pantai yang digunakan.

Secara spasial transek yang mengalami fenomena abrasi umumnya terjadi pada lahan yang dimanfaatkan untuk perkebunan (Gambar 6). Hal ini dapat dilihat pada garis pantai di wilayah

utara Pulau Kemujan dan di wilayah barat Pulau Karimunjawa yang didominasi oleh fenomena abrasi. Hadirnya pemanfaatan lahan perkebunan yang tidak berkelanjutan dapat menyebabkan terjadinya degradasi lahan, sehingga wilayah daratan dapat dengan mudah terkikis oleh tenaga gelombang air laut yang datang. Disisi lain, daerah *mangrove* yang menghubungkan antara Pulau Karimunjawa dan Kemujan, merupakan daerah dengan garis pantai yang paling tinggi nilai akresinya dibandingkan dengan daerah lain. Fenomena akresi yang ada di *mangrove* Pulau Karimunjawa dan *mangrove* Pulau Kemujan tidak lebih tinggi dibandingkan dengan *mangrove* yang menghubungkan kedua pulau, karena *mangrove* di Pulau Karimunjawa dan Kemujan cenderung hanya tergolong kedalam kelas akresi sedang hingga tinggi. Perbedaan laju perubahan garis pantai diantara *mangrove* ini dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, mulai dari perkembangan *mangrove* itu sendiri, hingga dampak dari faktor oseanografi terhadap garis pantai disetiap transek.

Prediksi perubahan garis pantai dalam penelitian ini memanfaatkan *Kalman Filter Model*. Prediksi didasari pada algoritma *Kalman Filter Model* yang menggunakan serangkaian pengukuran dari waktu ke waktu, tepatnya statistik LRR dari data historis garis pantai. Algoritma yang digunakan akan menghasilkan perkiraan variabel kondisi garis pantai pada masa yang akan datang dengan memperkirakan distribusi peluang gabungan atas kondisi garis pantai setiap tahun.

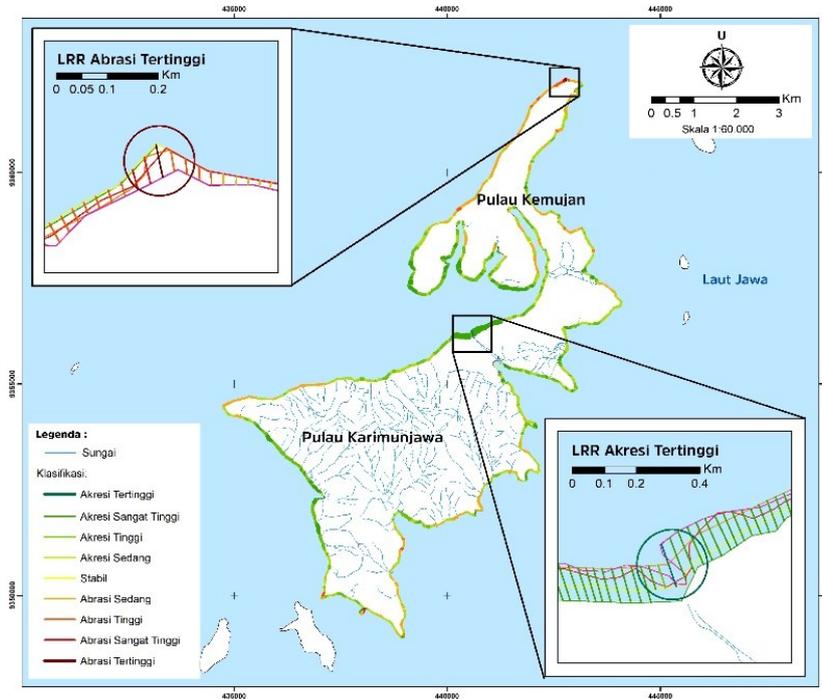


Gambar 5. Peta End Point Rate Tahun 2000 - 2020

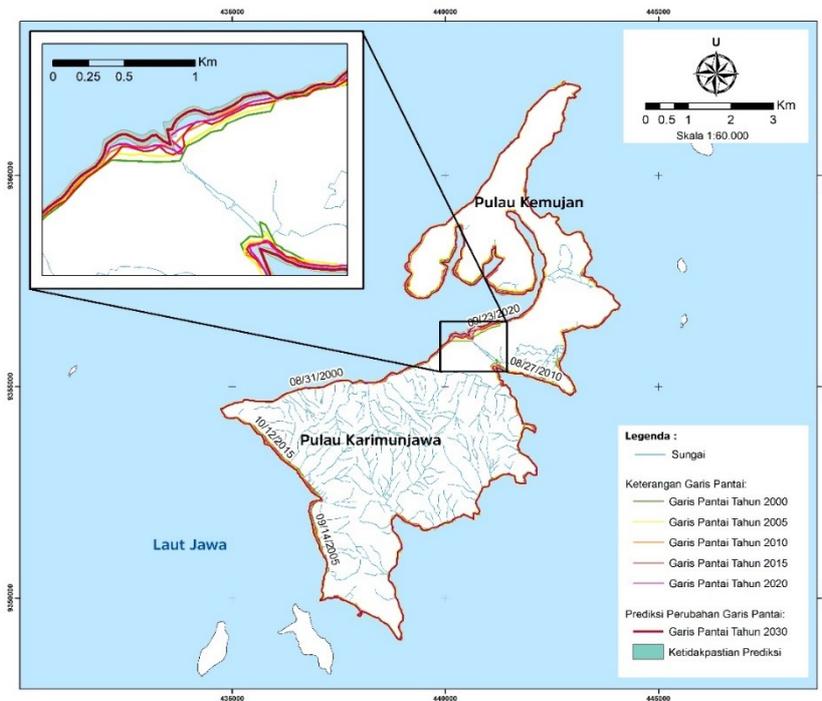
Tabel 5. Statistik LRR tahun 2000 – 2020

Statistik		Laju (meter/tahun)	
LRR	Abrasi (-)	Terendah	-3
		Rata-Rata	-0.46
	Akresi (+)	Tertinggi	7.22
		Rata-Rata	1.17
		Rata-Rata	+ 0.76

Ditambah dengan hasil prediksi perubahan garis pantai, maka dinamika garis pantai Pulau Karimunjawa dan Kemujan tahun 2000 – 2030 terlihat pada Gambar 7. Visualisasi prediksi perubahan garis pantai tidak hanya menampilkan prediksi garis pantai, tetapi juga memperlihatkan zona ketidakpastian prediksi garis pantai.



Gambar 6. Peta *Linear Regression Rate* Tahun 2000 – 2020

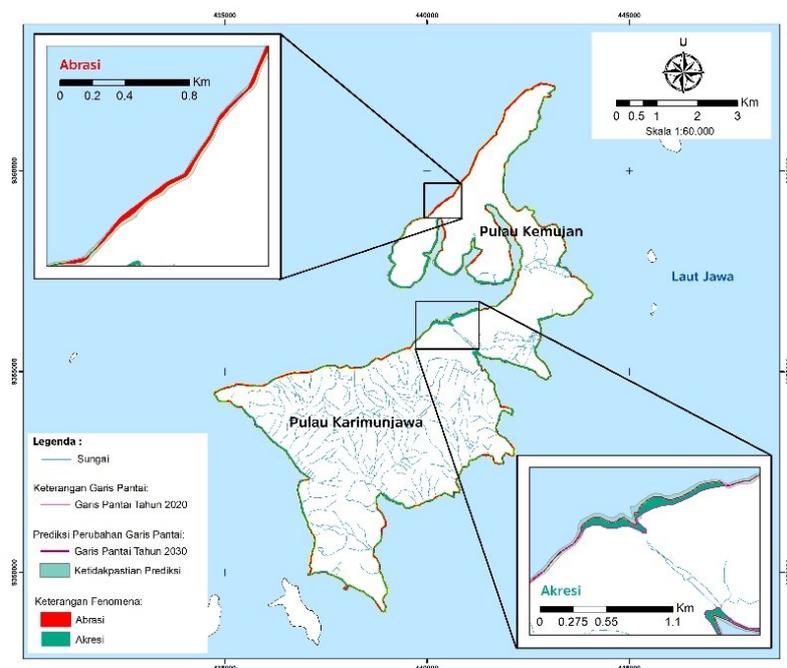


Gambar 7. Peta Dinamika Garis Pantai Tahun 2000 - 2030

Garis pantai di daerah *mangrove* yang menghubungkan antara Pulau Karimunjawa dan Kemujan diprediksi akan terus mengalami kemajuan garis pantai hingga tahun 2030 (Gambar 8). Disisi lain, fenomena abrasi diprediksi akan terjadi di wilayah kepeesisiran yang memiliki lahan perkebunan didalamnya. Hasil prediksi ini sesuai dengan kecenderungan data historis garis pantai daerah penelitian.

Fenomena akresi diprediksi akan kembali dominan dibandingkan dengan abrasi, serupa dengan periode sebelumnya yang diperoleh melalui ekstraksi citra. Diprediksi pada tahun 2030 seluas 0,654 Km² daratan baru akan muncul dan akan terjadi pengikisan daratan sebesar 0,113 Km². Fenomena abrasi banyak terjadi di garis pantai yang memiliki lahan perkebunan karena pengelolaan lahan perkebunan yang belum cukup baik, sehingga dapat menyebabkan terjadinya degradasi lahan yang berujung pada pengikisan daratan akibat gelombang air laut. Fenomena abrasi yang diprediksi akan terjadi memang tidak terlalu besar dan belum menjadi ancaman yang nyata bagi wilayah kepeesisiran. Fenomena abrasi belum perlu dijadikan sebagai prioritas dalam pertimbangan pembangunan di daerah penelitian selama tahun 2020 hingga 2030. Namun, fenomena abrasi tetap perlu untuk dipertimbangkan dalam perencanaan pembangunan agar dimasa yang akan datang fenomena abrasi tidak menjadi masalah yang besar bagi wilayah kepeesisiran Pulau Karimunjawa dan Kemujan. Perencanaan pembangunan yang mempertimbangkan kondisi garis pantai ini dilakukan agar fenomena abrasi yang terjadi tetap terkontrol dan tidak melewati batas yang dapat menimbulkan ancaman nyata bagi lingkungan disekitarnya.

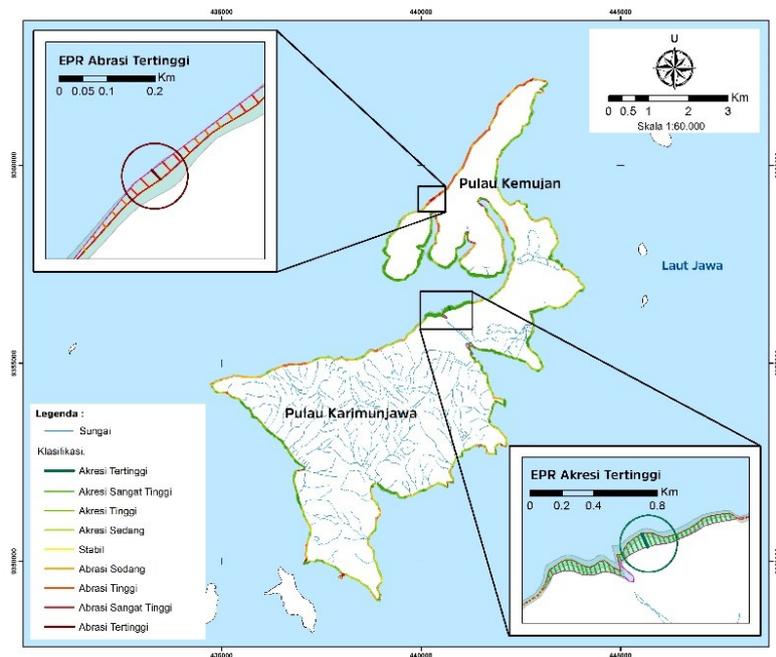
Laju perubahan garis pantai di daerah penelitian diprediksi akan mengalami kemajuan garis pantai kearah laut rata-rata hingga 1,02 meter pertahun (Tabel 6). *Mangrove* yang menghubungkan Pulau Karimunjawa dan Kemujan merupakan wilayah kepeesisiran yang diprediksi akan mengalami akresi sangat tinggi selama tahun 2020 hingga 2030 karena akan mengalami kemajuan garis pantai hingga 9,8 meter pertahun. Tidak hanya itu, seluruh garis pantai yang memiliki lahan *mangrove* diprediksi akan mengalami kemajuan garis pantai selama periode tersebut. Upaya pemantauan/monitoring *mangrove* perlu dilakukan selama tahun 2020 hingga 2030, agar potensi *mangrove* dalam menahan lumpur dan mengendapkan material dapat bekerja dengan baik, sehingga fenomena akresi dapat terjadi secara optimal, terkendali, dan tidak menjadi ancaman bagi lingkungan di sekitarnya.



Gambar 8. Peta Perubahan Garis Pantai Tahun 2020 - 2030

Tabel 6. Statistik EPR tahun 2020 – 2030

Statistik		Laju (meter/tahun)	
EPR	Abrasi (-)	Terendah	-2.89
		Rata-Rata	-0.79
	Akresi (+)	Tertinggi	9.8
		Rata-Rata	1.69
Rata-Rata			+ 1.02



Gambar 9. Peta *End Point Rate* Tahun 2020 - 2030

Fenomena abrasi yang diprediksi akan terjadi selama tahun 2020 hingga 2030 cenderung minor persebarannya, umumnya terjadi pada garis pantai dengan penggunaan lahan perkebunan, seperti pada lahan perkebunan di bagian utara Pulau Kemujan (Gambar 9). Wilayah tersebut diprediksi akan mengalami abrasi yang sangat tinggi, dengan kemunduran garis pantai hingga 2,89 meter pertahun.

Lahan perkebunan di bagian utara Pulau Kemujan, merupakan salah satu wilayah yang perlu diprioritaskan dalam pembangunan wilayah kepesisiran. Hal ini dikarenakan wilayah tersebut diprediksi akan mengalami fenomena abrasi yang sangat tinggi di sepanjang garis pantainya, bahkan wilayah tersebut diprediksi akan memiliki nilai abrasi tertinggi dari seluruh garis pantai di daerah penelitian. Untuk mengurangi dampak buruk abrasi bagi alam dan juga manusia, maka pengelolaan lahan perkebunan secara berkelanjutan perlu dilakukan di wilayah kepesisiran tersebut, sehingga degradasi lahan dapat dicegah. Upaya mitigasi struktural seperti pembangunan *Sand Nourishment* atau pengisian pasir dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya pengikisan material lepas di daratan akibat gelombang air laut. Upaya mitigasi ini juga dapat memberikan dampak akresi dan abrasi sesuai dengan arah arus yang terjadi di Pulau Kemujan.

KESIMPULAN

Secara spasial, fenomena akresi lebih dominan dibandingkan dengan abrasi disepanjang garis pantai. Terdapat kecenderungan pola perubahan garis pantai dengan penggunaan lahan,

mangrove cenderung mengalami akresi sedangkan perkebunan cenderung mengalami abrasi. Garis pantai daerah penelitian tahun 2000 – 2020 rata-rata mengalami laju perubahan garis pantai (LRR) sebesar +0,76 meter setiap tahunnya, selain itu diprediksi hingga tahun 2030 akan mengalami laju perubahan garis pantai (EPR) sebesar +1,02 meter setiap tahunnya. Dengan begitu maka garis pantai di daerah penelitian tergolong stabil dengan sedikit akresi (akresi sedang).

DAFTAR PUSTAKA

- Arddinatarta, M., Sudarsono, B., & Awaluddin, M., 2016. Analisis Dampak Perubahan Garis Pantai Terhadap Batas Pengelolaan Wilayah Laut Kabupaten Jepara. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(3): 52 – 60.
- Darmiati., Nurjaya, I.W., & Atmadipoera, A.S., 2020. Analisis Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pantai Barat Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1): 211–222. DOI: 10.29244/jitkt.v12i1.22815
- Dewi, I.N.C., 2019. Pemanfaatan Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi untuk Proyeksi Perubahan Garis Pantai (Studi Kasus: Kota Semarang dan Sekitarnya). *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Irfan, R., Suprayogi, A., & Hani'ah., 2012. Analisis Korelasi Perubahan Garis Pantai Kawasan Pesisir Kota Semarang Terhadap Perubahan Garis Pantai Pesisir Kabupaten Demak (Dari Tahun 1989 – 2012). *Jurnal Geodesi Undip*, 1(1):1–10.
- Kasim, F., 2012. Pendekatan Beberapa Metode dalam Monitoring Perubahan Garis Pantai Menggunakan Dataset Penginderaan Jauh Landsat dan SIG. *Jurnal Ilmiah Agropolitan*, 5(1): 620–635.
- Kurniawan, I.A., 2018. Dinamika Perubahan Garis Pantai Antara Muara Sungai Blorong dan Sungai Sibeo Tahun 1990-2017, Kabupaten Kendal. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Li, R., Ma, R., & Di, K., 2002. Digital Tide-Coordinated Shoreline. *Marine Geodesy*, 25(1-2): 27–36. DOI: 10.1080/014904102753516714
- Long, J.W., & Plant, N.G., 2012. Extended Kalman Filter Framework for Forecasting Shoreline Evolution. *Geophysical Research Letters*, 39(13):1–6. DOI: 10.1029/2012GL052180
- Marfai, M.A., & Rosaji, F.S.C., 2018. GIS Exercise Book Coastal Monitoring and Hazard Modelling. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPPFG).
- Senoaji, G., & Hidayat, M.F., 2016. Peranan Ekosistem Mangrove di Pesisir Kota Bengkulu dalam Mitigasi Pemanasan Global Melalui Penyimpanan Karbon. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(3): 327–333. DOI: 10.22146/jml.18806
- Winarso, G., J., & Budhiman, S., 2001. The Potential Application Remote Sensing Data for Coastal Study. Paper presented at the 22nd Asian conference on remote sensing, 5 - 9 November 2001, Singapore. *Centre for remote imaging, sensing and processing (CRISP), National University of Singapore*.