

MODEL NUMERIK UNTUK SIMULASI ALTERNATIF PERLINDUNGAN PANTAI BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Sigit Sutikno^{1*}, Dwi Puspo Handoyo¹, Manyuk Fauzi¹, dan Keisuke Murakami²

¹Civil Engineering Department, University of Riau, Kampus Bina Widya Km 12.5 Pekanbaru,
28293, Indonesia

²Civil Engineering Department, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen Kibanadai Nishi,
Miyazaki, 889-2192, Japan

*e-mail: ssutikno@unri.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan simulasi numerik alternatif perlindungan pantai dalam rangka untuk mitigasi fenomena abrasi di Pantai Tanjung Motong Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GENESIS (*GENERALized model for SIMulating Shoreline change*). Data-data yang dipakai untuk pemodelan adalah data topografi, bathimetri, angin dan jenis tanah. Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan data angin setiap jam selama 12 tahun (2001 – 2012) untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang rencana. Model dikalibrasi dengan menggunakan dua data historis garis pantai yang diekstrak dari citra satelit, yaitu data Landsat-5 TM dan Landsat-8 OLI/TIRS masing-masing untuk Tahun 1990 dan Tahun 2014. Kedua data garis pantai tersebut kemudian dianalisis berbasis sistem informasi geografis dengan menggunakan DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) untuk mendapatkan laju perubahan garis pantai pada kurun waktu tersebut. Tujuan utama proses kalibrasi adalah untuk mendapatkan nilai koefisien K1 dan K2 dari model numerik sedemikian sehingga tingkat perubahan garis pantai memiliki korelasi yang baik dengan hasil analisis data satelit. Setelah terkalibrasi, maka model bisa digunakan untuk simulasi berbagai alternatif penanganan abrasi di daerah studi. Simulasi dilakukan dengan memprediksi perubahan garis pantai 10 tahun kedepan (2014-2024) dengan tiga skenario, yaitu tanpa penanganan, menggunakan *sea wall*, dan menggunakan *detach breakwater*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fenomena abrasi akan terus berlanjut jika tidak ada penanganan secara struktural. Skenario perlindungan pantai baik berupa *seawall* maupun *detach breakwater* bisa mencegah terjadinya fenomena abrasi di Pantai Tanjung Motong.

Kata kunci: GENESIS, perlindungan pantai, DSAS

1. PENDAHULUAN

Studi tentang fenomena perubahan garis pantai sangat penting dilakukan dalam rangka untuk penanggulangan abrasi pantai dan sedimentasi untuk menjaga kelestarian lingkungan. Karena fenomena terjadinya perubahan garis pantai relatif cukup lama, metode yang paling efektif untuk penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi model numerik. Simulasi model numerik sangat *powerfull* digunakan dalam studi perubahan garis pantai yang kompleks untuk memodelkan fenomena nyata yang terjadi di lapangan. Dua model numerik yang sudah dikenal luas untuk studi fenomena perubahan garis pantai adalah GENESIS (*Generalized Model Simulasi perubahan Shoreline*) dan LTC (*Long-Term Konfigurasi*) (Pereira, dkk., 2013). Model GENESIS dikembangkan untuk mensimulasikan perubahan garis pantai pada pantai terbuka yang bisa dilakukan pada jangka panjang, sebagai akibat dari adanya transport sedimen sejajar pantai (*longshore sediment transport*) (Hanson, 1989). Model ini telah banyak digunakan sejak akhir Tahun 1980-an. Sedangkan model LTC pertama kali disampaikan oleh Caelho, dkk. (2004). Model GENESIS telah berhasil diterapkan di berbagai studi kasus untuk meneliti fenomena perubahan garis pantai di berbagai tempat (Darsan dan Alexis, 2014; Mezine, dkk., 2013; Balas, dkk., 2011). Penerapan model untuk simulasi alternatif perlindungan pantai di Pantai Tanjung Motong, Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau akan dibahas dalam penelitian ini.

Dalam rangka untuk membuat model mampu memprediksi perubahan garis pantai secara akurat, maka model harus dikalibrasi untuk mendapatkan koefisien-koefisien kalibrasi dan parameter-parameter yang terkait dengan variabel yang mewakili kondisi nyata di lapangan. Proses kalibrasi merupakan prosedur iteratif untuk mencocokkan keluaran model sedekat mungkin dengan perubahan garis pantai yang diukur atau tingkat perubahan garis pantai. Masalah yang paling umum dijumpai dalam proses kalibrasi adalah kurangnya data historis posisi garis pantai dari tahun ke tahun. Namun, dengan pesatnya perkembangan teknologi penginderaan jauh, posisi historis garis pantai dapat dianalisis untuk proses kalibrasi tersebut.

Artikel ini menyajikan hasil penelitian tentang simulasi model numerik terhadap beberapa alternatif mitigasi perubahan garis pantai yang disebabkan oleh adanya fenomena abrasi. Kalibrasi model dilakukan dengan menggunakan data historis perubahan garis pantai yang diekstrak dari data citra satelit. Penelitian ini dilakukan di Pantai Tanjung Motong yang terletak di Pulau Rangsang, Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau yang telah mengalami abrasi pantai yang sangat parah. Dua data garis pantai yang diekstrak dari data citra satelit Landsat-5 TM dan Landsat-8 OLI/TIRS masing-masing untuk Tahun 1990 dan Tahun 2014 digunakan untuk proses kalibrasi. Kedua data tersebut kemudian dianalisis berbasis sistem informasi geografis (SIG) dengan menggunakan perangkat lunak DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) (Thieler, dkk., 2009) untuk mendapatkan tingkat perubahan garis pantai pada kurun waktu tersebut.

Model GENESIS

Perangkat lunak utama yang digunakan untuk pemodelan numerik perubahan garis pantai adalah GENESIS (*Generalized model for Simulating Shoreline changes*). GENESIS adalah sebuah model nonlinier untuk perubahan garis pantai yang dikembangkan oleh ERDC. GENESIS adalah sebuah model yang dioperasikan di dalam platform software CEDAS (*Coastal Engineering Design & Analysis System*). Beberapa data input yang dibutuhkan untuk menjalankan program diantaranya adalah data posisi garis pantai, data gelombang, data karakteristik sedimen, dan posisi dan dimensi bangunan pantai.

Perubahan garis pantai yang dihitung di dalam GENESIS menggunakan persamaan-persamaan yang didapatkan dari konservasi volume sedimen seperti ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad (1)$$

Dengan Q adalah laju transport sedimen sejajar pantai yang dihitung sebagai fungsi tinggi gelombang pecah, sudut datang gelombang pecah, dan beberapa karakteristik gelombang lainnya (Hanson, dkk., 1989; Mezine, dkk., 2013; Hanson dan Krauss, 1991); D_B adalah tinggi berm dan D_C adalah kedalaman laut. Sumbu- x adalah arah sepanjang garis pantai dari kiri ke kanan (jika pengamat memandang ke arah lepas pantai) sedangkan sumbu- y adalah arah ke daerah lepas pantai. Transport sedimen sejajar pantai dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini, yang merupakan rangkaian persamaan yang terdiri atas suku transport sedimen dan suku difraksi yang direkomendasikan Coastal Engineering Research Centre (USACE, 1984).

$$Q = (H^2 C_g)_b \left(a_1 \sin^2 \theta_{bs} - a_2 \cos^2 \theta_{bs} \frac{\partial H}{\partial x} \right)_b \quad (2)$$

dengan,

$$a_1 = \frac{K_1}{16 \left(\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) (1-p) (1.416)^{5/2} \right)} \quad (3)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) (1-p) \tan \beta (1.416)^{7/2}} \quad (4)$$

dengan H adalah tinggi gelombang; C_g adalah kecepatan penjalaran kelompok gelombang menurut teori gelombang linier; b adalah indeks yang menunjukkan kondisi gelombang pecah; θ_{bs} adalah sudut datang gelombang pecah terhadap garis pantai setempat; K_1 , K_2 adalah koefisien empirik sebagai parameter kalibrasi (K_1 menunjukkan besaran sedimen transport; K_2 merupakan kontrol distribusi sedimen di dalam area perhitungan); ρ_s adalah masa jenis sediment ($2.65 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$); ρ_w adalah massa jenis air ($1.03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$); p adalah porositas sedimen dasar (0.4); $\tan \beta$ adalah kemiringan dasar rerata dari garis pantai menuju laut dalam.

Model Gelombang

Mengingat tidak tersedianya data gelombang di lokasi studi, maka penelitian ini menggunakan data angin untuk membangkitkan gelombang. Penelitian ini menggunakan data angin dari Tahun 2001 hingga Tahun 2012 dari Stasiun Tanjung Balai. Untuk analisis tinggi dan periode gelombang, penelitian ini menggunakan formula empirik berdasarkan spektrum gelombang JONSWAP. Langkah pertama dalam melakukan analisis dan pemodelan garis pantai adalah melakukan pemodelan transformasi gelombang. Untuk keperluan analisis ini digunakan model STWAVE (*Steady-state spectral WAVE*). Baik model STWAVE maupun GENESIS keduanya berada dalam satu perangkat lunak CEDAS (Coastal Engineering Design & Analysis System) yang dikembangkan oleh U.S. Army Corps of Engineers' Engineering Research and Development Center (Hanson dan Krauss, 1991). Dalam pemodelan gelombang dibutuhkan beberapa data masukan, seperti data bathimetri, gelombang, angin, dan data spasial lokasi penelitian.

2. METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sepanjang Pantai Tanjung Motong yang telah mengalami abrasi yang sangat parah di Pulau Rangsang. Pantai Tanjung Motong berada pada koordinat $1^{\circ}01'08,61\text{Lu}$; $1^{\circ}2037'30,91\text{BT}$ sampai dengan $1^{\circ}04'16,57\text{Lu}$; $1^{\circ}2040'01,57\text{BT}$, terletak di desa Permai Kecamatan Rangsang Barat (Pulau Rangsang) di Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau yang berhadapan langsung dengan selat Malaka seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pantai Tanjung Motong, terutama yang terletak di bagian Selatan sangat rentan terhadap abrasi pantai karena pantai tersebut berhadapan langsung dengan pantai terbuka yang memiliki gelombang yang relatif cukup besar. Pantai Tanjung Motong sangat penting untuk dilindungi dari ancaman bahaya abrasi, karena pulau tersebut memiliki banyak sumberdaya alam yang harus dilindungi.



Gambar 1. Lokasi penelitian yang terletak di Pulau Rangsang, Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau

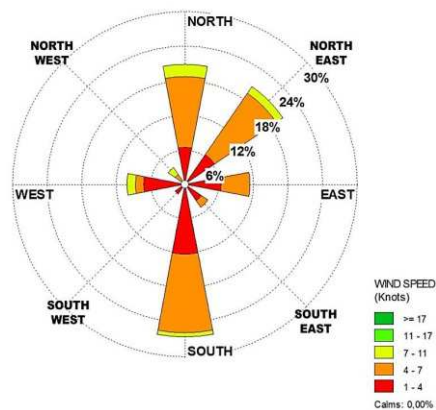
Data

Beberapa data yang dibutuhkan untuk pemodelan, diantaranya adalah data topografi dan bathimetri, gelombang, pasang surut, angin, propertis tanah, dan data satelit. Data gelombang didapatkan dari hasil analisis dan prediksi berdasarkan data angin yang terekam dalam stasiun BMKG (*Meteorology and Geophysics Agency*) yang ada di Tanjung Balai Karimun, Provinsi Kepulauan Riau seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Seperti ditunjukkan pada gambar tersebut bahwa, angin dominan berasal dari arah selatan dan utara. Penelitian ini menggunakan dua data citra satelit, yaitu Landsat TM (*Thematic Mapper*) 1999 dan Landsat 8 OLI/TIRS 2014. Landsat TM mempunyai resolusi spasial 30 meter, sedangkan Landsat 8 OLI/TIRS memiliki 8 bands dengan resolusi spasial 30 meter yang bisa ditajamkan dengan menggunakan band 8 hingga resolusi 15 meter. Spesifikasi dari masing-masing data satelit tersebut seperti disajikan pada Table 1.

Pemodelan Gelombang

Data bathimetri yang digunakan untuk membuat grid pada model STWAVE disiapkan dalam format ASCII. Kemudian data tersebut diimport untuk *generate* grid seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kemudian data garis pantai awal yang diekstrak dari citra landsat Tahun 2014 ditumpangsusunkan ke dalam data bathimetri tersebut. Panjang garis pantai yang dimodelkan adalah ± 4.000 m yang dibagi dalam ukuran grid $dx = 50$ m dan $dy = 50$ m, sehingga total grid untuk data bathimetri tersebut adalah 6400. Hasil transformasi gelombang dari pemodelan STWAVE pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4. Seperti ditunjukkan pada gambar tersebut bahwa, arah rambatan gelombang bisa diidentifikasi dengan jelas. Fenomena karakteristik

gelombang tersebut memiliki korelasi dengan fenomena kejadian abrasi yang terjadi di Pantai Tanjung Motong.



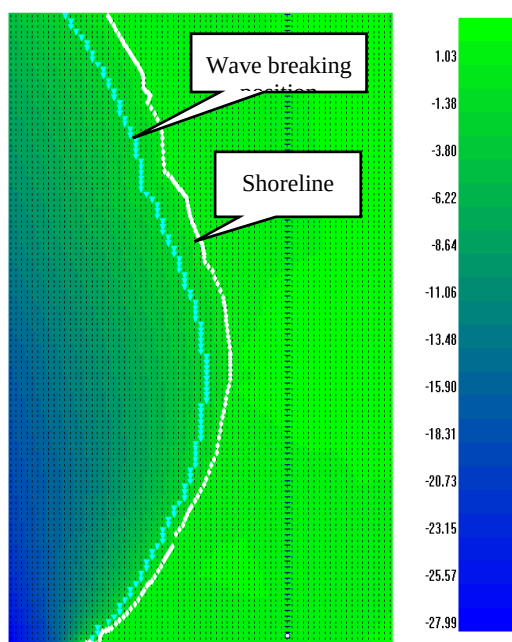
Gambar 2. Data mawar angin Pantai Tanjung Motong

Tabel 1. Data citra satelit yang digunakan pada penelitian ini

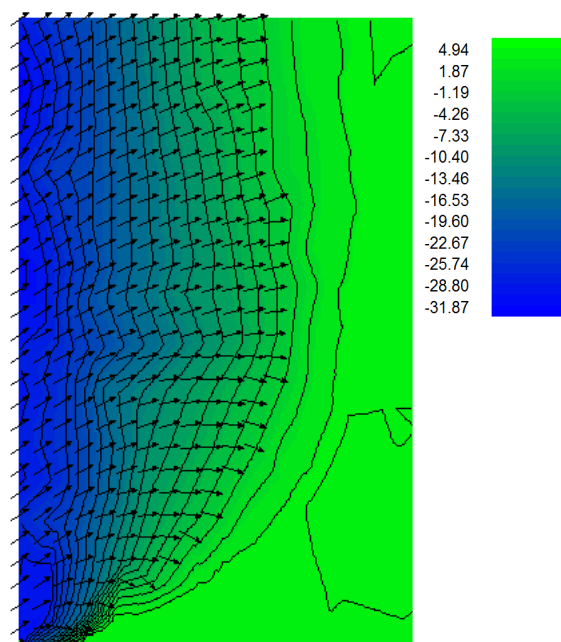
Tanggal data	Jenis Satellite	Jenis Sensor	Band	resolusi
06/06/1990	Landsat 5	TM	5 (SWIR-1)	30 m
			4 (Near-IR)	30 m
			2 (Green)	30 m
13/02/2014	Landsat 8	OLI	6 (SWIR-1)	30 m
			5 (Near-IR)	
			3 (Red)	15 m
			8 (Pan)	

Pemodelan GENESIS

Grid untuk pemodelan GENESIS sama dengan grid yang dipakai untuk pemodelan gelombang yaitu sepanjang Pantai Tanjung Motong, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Informasi yang diperlukan untuk membuat domain model diantaranya adalah lokasi grid, orientasi, jumlah dan posisi sel hitungan, dan posisi beberapa garis pantai yang dibutuhkan untuk melakukan kalibrasi. Beberapa informasi juga diperlukan pada kondisi batas di kedua ujung domain model. Posisi garis pantai dan ketinggian pada *surf zone* dan subaerial diperoleh dari survei lapangan. Beberapa data input lainnya untuk pemodelan GENESIS seperti parameter fisik seperti ukuran butir sedimen rata-rata, elevasi garis pantai, dan kedalaman laut; data-data tersebut juga diperoleh dari survei lapangan. Beberapa asumsi yang diperhitungkan dalam simulasi ini, asumsi pertama adalah parameter dan konstanta tidak berubah selama simulasi, asumsi kedua adalah data gelombang tidak berubah secara signifikan selama waktu simulasi, dan asumsi ketiga adalah ukuran butiran sebesar 0.05 mm (D50) dan kemiringan pantai sebesar 50 m.



Gambar 3. Data grid bathimetri dan posisi garis pantai



Gambar 4. Transformasi gelombang Pantai Tanjung Motong

Proses Kalibrasi

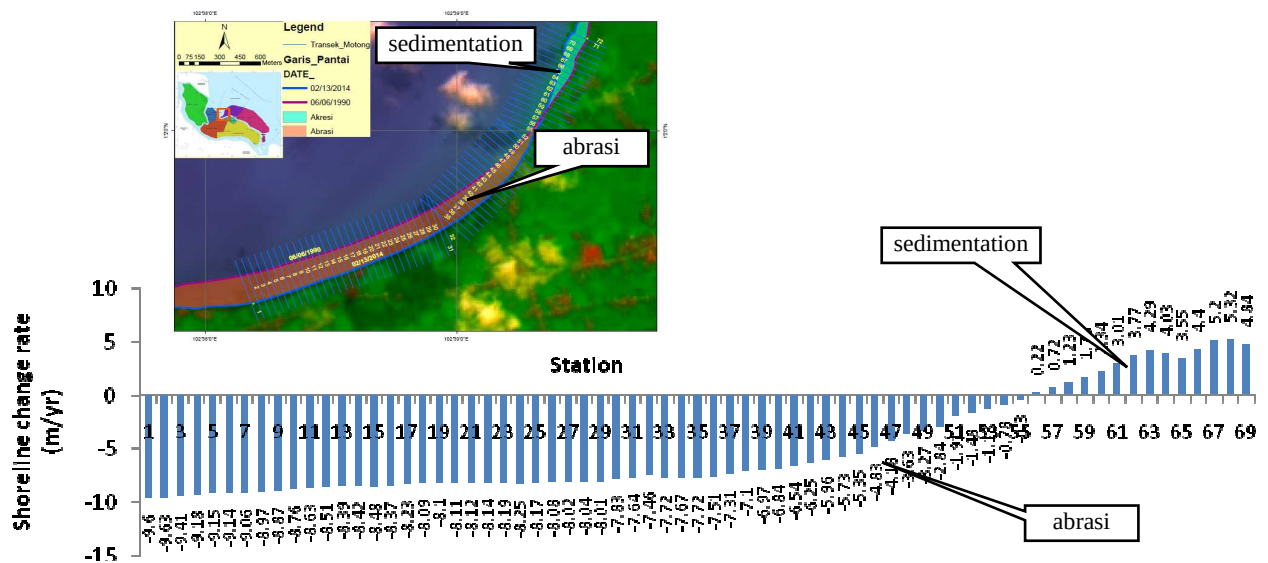
Langkah pertama dalam mempersiapkan model GENESIS untuk simulasi adalah melakukan kalibrasi model pada daerah studi. Hal ini dilakukan dengan memilih posisi garis pantai di dua kondisi waktu tertentu, dan menjalankan model GENESIS untuk menghitung perubahan yang terjadi terhadap garis pantai awal. Kedua koefisien kalibrasi GENESIS K1 dan K2 disesuaikan pada setiap menjalankan model dalam prosedur iterasi, untuk mencocokkan keluaran model sedekat mungkin dengan garis pantai hasil pengukuran atau hasil analisis tingkat perubahan garis pantai selama periode kalibrasi. Model sudah terkalibrasi jika perubahan garis pantai hasil keluaran model sudah mendekati perubahan garis pantai hasil pengukuran. Poin perbandingan tidak hanya posisi garis pantai, tetapi juga termasuk laju transport sedimen, perubahan volumetric, dan laju perubahan garis pantai.

Proses kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan perbandingan tingkat perubahan garis pantai antara output model GENESIS dan DSAS (Digital Shoreline Analysis System) hasil analisis untuk ekstraksi data garis pantai dari satelit. DSAS adalah alat analisis perubahan garis pantai digital yang dapat digunakan untuk menghitung tingkat perubahan statistik untuk time series data garis pantai (Thieler, dkk., 2009). Penelitian ini menggunakan metode *End Point Rate* (EPR), salah satu metode statistik yang dapat digunakan di DSAS. Metode *End Point Rate* menghitung laju perubahan garis pantai dengan membagi jarak garis pantai dengan interval waktu antara garis pantai terbaru dan terlama. Keuntungan utama dari penggunaan metode EPR adalah kemudahan perhitungan dan cukup menggunakan dua data historis perubahan garis pantai dengan akurasi yang relatif cukup baik (Sutikno, 2014).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis laju perubahan garis pantai

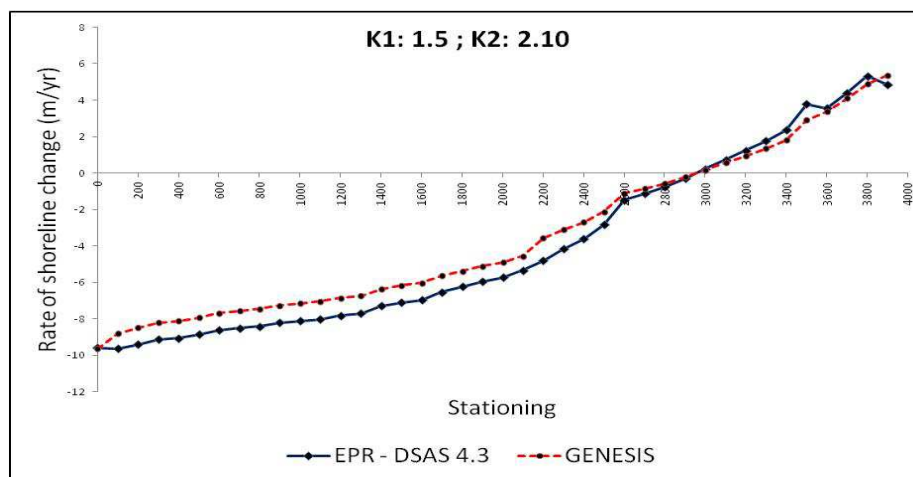
Setelah dilakukan pengolahan data citra satelit (*image processing*) data landsat Tahun 1990 dan Tahun 2014, posisi garis pantai bisa didigitasi dengan jelas. Kemudian hasil ekstraksi kedua garis pantai tersebut ditumpang-susunkan satu sama lain untuk mengidentifikasi perubahan garis pantai selama 24 tahun. Dari proses ini, areal yang mengalami erosi dan sedimentasi pada daerah studi bisa diidentifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Untuk menganalisis tingkat perubahan garis pantai secara statistik menggunakan DSAS, garis pantai dibagi menjadi 72 pias dengan interval 100 meter. Tingkat perubahan garis pantai Tanjung Motong pada kurun waktu dari 1990 hingga 2014 sebagai hasil analisis menggunakan DSAS ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai tersebut menunjukkan tingkat perubahan garis pantai per tahun pada masing-masing stasiun. Tanda minus (-) menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut terjadi erosi. Hasil analisis menunjukkan bahwa erosi terjadi sangat parah di bagian selatan Pantai Tanjung Motong, di sisi lain terjadi sedimentasi di bagian utara. Tingkat erosi maksimum di pantai selatan adalah sekitar 9.63 meter/tahun dan tingkat sedimentasi maksimum di pantai utara adalah sekitar 5,32 meter/tahun. Tingkat perubahan garis pantai di setiap stasiun kemudian dapat digunakan untuk proses kalibrasi dalam model numerik.



Kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan 2 data citra satelit yang laju perubahan garis pantainya dihitung menggunakan metode *End Point Rate* (EPR). Hasil perhitungan model GENESIS dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode EPR. Dalam hal ini output model GENESIS berupa jarak perubahan dalam rentang waktu tertentu, supaya bisa dibandingkan dengan output metode EPR maka hasil tersebut harus dibagi rentang waktu tersebut, sehingga bisa dibandingkan hasil keduanya dalam satuan m/tahun. Dengan metode *trial and error* dimasukan nilai-nilai K1 dan K2 hingga memperoleh prosentase kesalahan terkecil. Tabel 2 menunjukan hasil proses kalibrasi dengan prosentase kesalahan terkecil. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, laju perubahan garis pantai hasil keluaran model GENESIS sudah mendekati hasil analisis metode EPR pada DSAS untuk koefisien K1 dan K2 masing-masing 1.5 dan 2.1.

Tabel 2. Hasil kalibrasi model GENESIS dengan *End Point Rate*

STA	TCD	EPR		GENESIS	PERSENTASE KESALAHAN	STA	TCD	EPR		GENESIS	PERSENTASE KESALAHAN
0+000	0	-9.6	-107.77	-10.777	-12.260 %	1+500	1500	-7.1	-64.116	-6.4116	9.696 %
0+100	100	-9.63	-105.94	-10.594	-10.010 %	1+600	1600	-6.97	-62.406	-6.2406	10.465 %
0+200	200	-9.41	-102.39	-10.239	-8.810 %	1+700	1700	-6.54	-59.049	-5.9049	9.711 %
0+300	300	-9.14	-99.60	-9.96	-8.972 %	1+800	1800	-6.25	-55.971	-5.5971	10.446 %
0+400	400	-9.06	-100.50	-10.05	-10.927 %	1+900	1900	-5.96	-54.594	-5.4594	8.399 %
0+500	500	-8.87	-95.21	-9.521	-7.339 %	2+000	2000	-5.73	-52.443	-5.2443	8.476 %
0+600	600	-8.63	-95.40	-9.54	-10.545 %	2+100	2100	-5.35	-47.466	-4.7466	11.279 %
0+700	700	-8.51	-77.04	-7.704	9.471 %	2+200	2200	-4.83	-44.064	-4.4064	8.770 %
0+800	800	-8.42	-74.97	-7.497	10.962 %	2+300	2300	-4.18	-37.494	-3.7494	10.301 %
0+900	900	-8.23	-73.89	-7.389	10.219 %	2+400	2400	-3.63	-33.111	-3.3111	8.785 %
1+000	1000	-8.11	-73.40	-7.3404	9.490 %	2+500	2500	-2.84	-26.145	-2.6145	7.940 %
1+100	1100	-8.02	-72.62	-7.2621	9.450 %	2+600	2600	-1.48	-12.798	-1.2798	13.527 %
1+200	1200	-7.83	-69.813	-6.9813	10.839 %	2+700	2700	-1.13	-10.827	-1.0827	4.186 %
1+300	1300	-7.72	-65.448	-6.5448	15.223 %	2+800	2800	-0.78	-7.596	-0.7596	2.615 %
1+400	1400	-7.31	-65.718	-6.5718	10.098 %	2+900	2900	-0.3	-3.303	-0.3303	-10.100 %
1+500	1500	-7.1	-64.116	-6.4116	9.696 %	3+000	3000	0.22	2.268	0.2268	-3.091 %
1+600	1600	-6.97	-62.406	-6.2406	10.465 %	3+100	3100	0.72	7.002	0.7002	2.750 %
1+700	1700	-6.54	-59.049	-5.9049	9.711 %	3+200	3200	1.23	0.99	0.099	91.951 %
1+800	1800	-6.25	-55.971	-5.5971	10.446 %	3+300	3300	1.76	16.101	1.6101	8.517 %
1+900	1900	-5.96	-54.594	-5.4594	8.399 %	3+400	3400	2.34	21.375	2.1375	8.654 %
2+000	2000	-5.73	-52.443	-5.2443	8.476 %	3+500	3500	3.77	34.524	3.4524	8.424 %
2+100	2100	-5.35	-47.466	-4.7466	11.279 %	3+600	3600	3.55	33.885	3.3885	4.549 %
2+200	2200	-4.83	-44.064	-4.4064	8.770 %	3+700	3700	4.4	36.648	3.6648	16.709 %
2+300	2300	-4.18	-37.494	-3.7494	10.301 %	3+800	3800	5.32	48.078	4.8078	9.628 %
2+400	2400	-3.63	-33.111	-3.3111	8.785 %	3+900	3900	4.84	41.913	4.1913	13.403 %

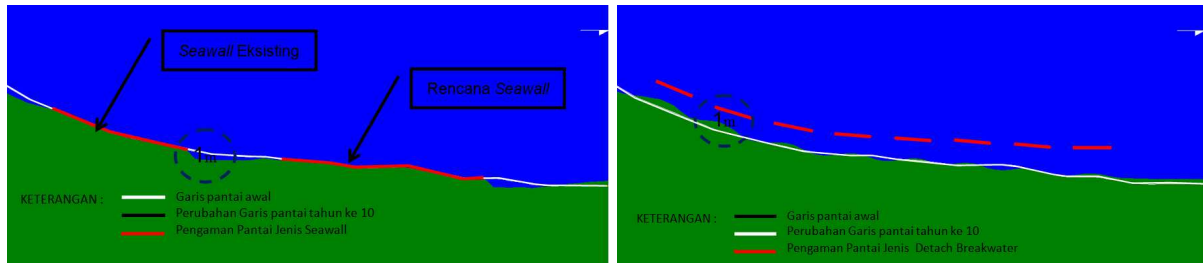


Gambar 6 Perbandingan laju perubahan garis pantai hasil keluaran model dengan hasil analisis DSAS

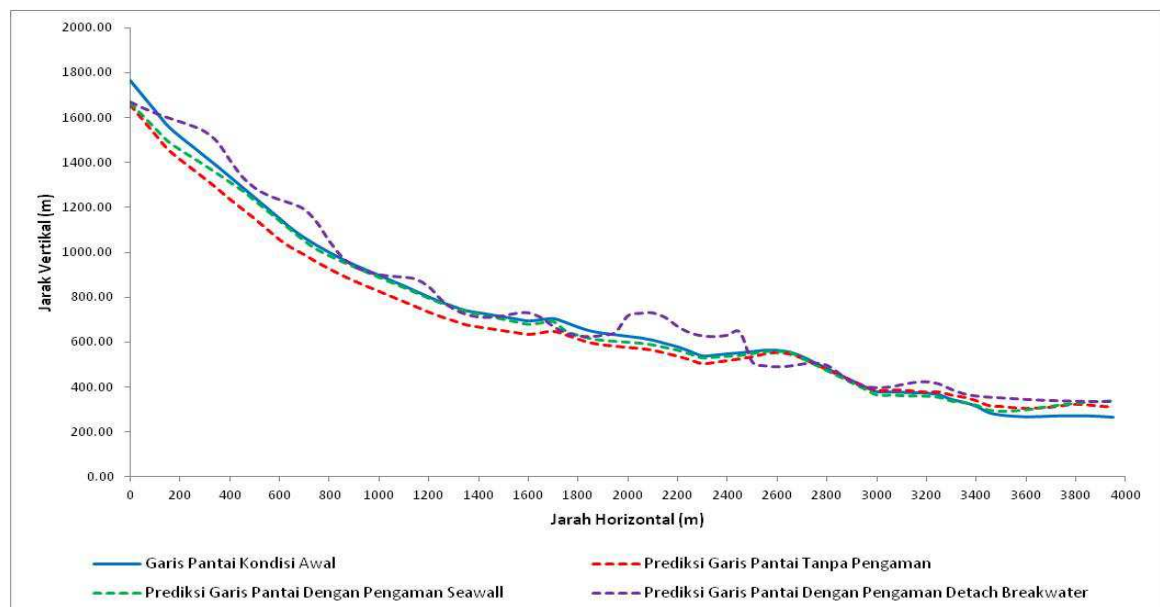
Simulasi Model

Setelah terkalibrasi, selanjutnya model numerik bisa dipakai untuk simulasi perubahan garis pantai untuk berbagai skenario dalam rangka untuk mencari solusi optimal permasalahan yang ada di daerah studi. Pada kasus ini, model digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai pada 10 tahun yang akan datang, baik dalam kondisi tanpa perlindungan maupun dengan perlindungan pantai menggunakan *seawall* dan *detach breakwater* seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil simulasi perubahan garis pantai untuk berbagai skenario tersebut disajikan pada Gambar 8. Seperti ditunjukkan pada gambar tersebut bahwa fenomena abrasi akan terus berlanjut di Pantai Tanjung Motong bagian Selatan jika tidak dilakukan upaya perlindungan pantai. Sementara itu dengan skenario perlindungan pantai baik berupa *seawall* maupun *detach breakwater*

bisa mencegah terjadinya fenomena abrasi di Pantai Tanjung Motong. Seperti ditunjukkan pada Gambar 8, konstruksi *seawall* bisa menjaga posisi garis pantai tetap stabil dalam kurun waktu 10 tahun yang akan datang. Sedangkan alternatif struktur bangunan *detach breakwater*, tidak hanya akan melindungi pantai dari abrasi, namun juga ada kemungkinan akan menambah daratan dengan adanya fenomena sedimentasi akibat dari konfigurasi struktur tersebut. Pilihan alternatif struktur mana yang direkomendasikan tentu harus mempertimbangkan aspek lain, seperti anggaran biaya pelaksanaan. Untuk itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut dan lebih detail untuk menjawab pilihan alternatif tersebut.



Gambar 7 Alternatif struktur bangunan perlindungan pantai dengan menggunakan *seawall* (kiri) dan *detach breakwater* (kanan)



Gambar 8 Prediksi perubahan garis pantai setelah 10 tahun (2024) hasil simulasi model dengan skenario tanpa pengamanan, dan dengan struktur *seawall* dan *detach breakwater*

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang model numerik untuk simulasi alternatif perlindungan pantai berbasis sistem informasi geografis ini menghasilkan kesimpulan sebagaimana diuraikan berikut ini.

1. Berdasarkan analisis data historis citra satelit 24 tahun terakhir pada kurun waktu antara Tahun 1990 dan 2014, menunjukkan bahwa erosi terjadi sangat parah di bagian selatan Pantai Tanjung Motong dengan laju erosi rata-rata 9.63 m/tahun, di sisi lain terjadi sedimentasi di bagian utara dengan laju sedimentasi rata-rata 5,32 meter/tahun.
2. Fenomena abrasi akan terus berlanjut di Pantai Tanjung Motong bagian Selatan jika tidak dilakukan upaya perlindungan pantai. Sementara itu dengan skenario perlindungan pantai baik berupa *seawall* maupun *detach breakwater* bisa mencegah terjadinya fenomena abrasi di Pantai Tanjung Motong.

3. Pilihan alternatif struktur mana yang direkomendasikan tentu harus mempertimbangkan aspek lain, seperti anggaran biaya pelaksanaan. Untuk itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut dan lebih detail untuk menjawab pilihan alternatif tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dirjen DIKTI atas dukungan dana penelitian pada skim Hibah Pasca Sarjana Tahun 2014-2015 sehingga penelitian ini bisa dilakukan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Balas, L., Inan, A., and Yilmaz, E. (2011). "Modelling of sediment transport of Akyaka Beach," *J. Coast. Res.*, no. 64, pp. 460–463.
- Coelho, C., Taveira-Pinto, F., Veloso-Gomes, F., and Pais-Barbosa, J. (2004). "Coastal Evolution and Coastal Works in The Southern Part of Aveiro Lagoon Inlet, Portugal," in *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering* (Lisboa, Portugal), pp. 3914–3926.
- Darsan, J., and Alexis, C. (2014). "The Impact of Makeshift Sandbag Groynes on Coastal Geomorphology: A Case Study at Columbus Bay, Trinidad," *Environ. Nat. Resour. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 94.
- Hanson, H. (1989). "Genesis-A Generalized Shoreline Change NUDlerical Model," *J. Coast. Res.*, vol. 1, no. 5, pp. 1–27.
- Hanson, H., and Kraus, N. C. (1991). *GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change*. Report 1.
- Mėžinė, J., Zemlys, P., and Gulbinskas, S. (2013). "A coupled model of wave-driven erosion for the Palanga Beach, Lithuania," *Baltica*, vol. 26, no. 2, pp. 169–176.
- Pereira, C., Coelho, C., Ribeiro, A., Fortunato, A. B., Lopes, C. L., and Dias, J. M. (2013). "Numerical modelling of shoreline evolution in the Aveiro coast , Portugal – climate change scenarios," *J. Coast. Res.*, no. 65, pp. 2161–2166.
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J., and Ergul, A. (2009). "Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change.
- USACE. (1984). *Shore protection manual*. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Sutikno, S. (2014). "Analisis Laju Abrasi Pantai Pulau Bengkalis Dengan Menggunakan Data Satelit," *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) HATHI (Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia) XXXI 22-24 Agustus 2014*, pp. 616–625.