

PERUBAHAN GARIS PANTAI PULAU PUTRI – KOTA BATAM DENGAN MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT TAHUN 2000 – 2016

COASTLINE CHANGES OF PUTRI ISLAND – BATAM CITY USING SATELLITE IMAGE DATA YEAR 2000 - 2016

Nineu Yayu Geurhaneu^[1] dan Tri Muji Susantoro^[2]

[1] Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjunan No.236 Bandung, email : nineu@mgi.esdm.go.id

[2] Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”, Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Jakarta

Diterima : 15-02-2016, Disetujui : 19-09-2016

ABSTRAK

Penelitian perubahan garis pantai pulau Putri, Kota Batam dilakukan dengan menganalisis data citra satelit tahun 2000-2016. Garis pantai Pulau Putri merupakan lokasi penting dan titik pangkal untuk pengukuran wilayah perairan territorial Indonesia. Upaya penanaman bakau di sekeliling pulau Putri telah dilakukan namun belum berhasil dengan baik karena adanya limbah minyak dan kondisi karangnya pun telah rusak. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi potensi hilangnya Pulau Putri berdasarkan perubahan garis pantai dan luasannya. Metode survei lapangan dilakukan secara sampel tetap, analisis pengolahan data penginderaan jauh menggunakan teknik komposit warna RGB dan Fusi dengan metode transformasi Brovey. Sedangkan interpretasi garis pantai dilakukan secara visual melalui digitasi pada layar. Pada kegiatan lapangan dilakukan pengukuran pasang surut dan arus laut untuk mendukung analisis perubahan garis pantai Pulau Putri. Kondisi perairan sekitar Pulau Putri memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dengan kecepatan arus 1,2 - 0,765 m/dtk. Kecepatan arus tersebut cenderung dipengaruhi oleh kondisi pasang surut, pada saat menjelang surut kecepatan arus menjadi cukup tinggi dan cenderung tenang pada saat air kondisi surut minimum menuju pasang dan saat surut. Perubahan garis pantai dan luas wilayah di Pulau Putri mulai signifikan dari tahun 2013-2016. Pada tahun 2000 luas Pulau Putri sekitar 131.374 m² kemudian luas tersebut terus berkurang, dan pada tahun 2016 luasnya hanya sekitar 24.266m² yang disebabkan adanya abrasi. Abrasi terjadi hampir di sekeliling pulau namun yang paling terkena abrasi terutama di sebelah utara.

Kata kunci: citra satelit, garis pantai, abrasi, Pulau Putri.

ABSTRACT

Coastline changes of Putri island is located in Batam city performed in this study by analyzing satellite image data in 2000-2016. The coastline on the Putri Island is an important location and the starting point for measuring the territorial waters of Indonesia. Mangrove planting efforts around the Island Princess has been done but has not worked well for their waste oil and condition of reefs had been damaged. The purpose of this study to identify the potential of loss Putri Island by coastline and area changes. Field survey method is based on purposive sampling, the analysis of remote sensing data processing using RGB color composite techniques and fusion with Brovey transformation method. While the interpretation of the coastline done visually through digitization on a screen. The fieldwork was conducted measurements of tidal and ocean currents to support the analysis of changes in the coastline of the Putri Island. Condition in the Putri island waters area has a mixed tide prevailing semidiurnal tidal type and current speed between 1.2 - 0.765 m/s. The current speed tends to be influenced by tidal conditions, at the time before the tidal ebb current speed and tends to be quite at the time the water receded minimum conditions to the tide and at low tide. Coastline changes and area on the Island Princess significant begin of the year 2013- 2016. In 2000 Putri island area of about 131 374 m² and then such broad steadily decreasing, and in 2016 an area of only about 24.266 m² caused the abrasion. Abrasion occurs almost around the island but the most exposed to abrasion, especially in the northern.

Keywords : satellite image, coastline, abrasion, Putri island

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan 17.504 pulau tersebar di Nusantara. Sebanyak 13.466 pulau di Indonesia telah ada namanya (toponim) dan disetorkan ke PBB. Diantara pulau-pulau tersebut terdapat 92 pulau kecil terluar dan 19 pulau kecil terluar diantaranya terletak di sekitar provinsi Kepulauan Riau dan Kalimantan Barat dan salah satunya adalah Pulau Putri (Subandono, 2013). Pulau Putri merupakan penamaan lain dari Pulau Nongsa setelah diverifikasi toponimi pulau. Pulau tersebut merupakan pantai pasir putih landai yang ditumbuhi cemara, kelapa dan rumput (www.ppk-kp3k.kkp.go.id). Di tengah Pulau Putri terdapat patok Titik Dasar TD No. 193 dan Titik Referensi TR No.193 (Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2002).

Beberapa kondisi yang membahayakan keutuhan wilayah Indonesia yang bisa terjadi pada pulau-pulau terluar (Jaelani, 2004), yaitu: hilangnya pulau secara fisik akibat abrasi, tenggelam atau karena kesengajaan manusia, hilangnya pulau secara kepemilikan akibat perubahan status kepemilikan melalui pemaksaan militer atau keputusan hukum seperti kepemilikan Sipadan dan Ligitan ke Malaysia, dan hilang secara sosial dan ekonomi, misalnya pulau tersebut didiami secara turun temurun oleh masyarakat negara lain.

Pulau-pulau terluar perlu dilakukan pengelolaan dengan tujuan untuk menjaga keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia, memanfaatkan sumber daya alam dalam rangka pembangunan yang berkelanjutan dan pemberdayaan masyarakat dalam rangka peningkatan kesejahteraan (Peraturan Presiden No 78 Tahun 2005).

Disisi lain adanya perubahan iklim akan meningkatkan permukaan air laut sehingga memacu laju erosi pantai, meningkatnya intensitas dan frekuensi banjir (*rob*), meluasnya intrusi air laut dan mengancam eksistensi pulau-pulau kecil (Dermawan dan Praseno, 2011). Di Indonesia dampak perubahan iklim akan menyebabkan permukaan air laut naik, hilangnya daratan, badai dan banjir. Kenaikan muka air laut 1,1 meter di Indonesia akan menyebabkan hilangnya wilayah pesisir, pulau-pulau kecil dan diproyeksikan akan kehilangan 90.260 km² daratan pada tahun 2100 (Susandi dkk., 2008). Putuhena (2011) menyatakan Indonesia sangat rentan terhadap kenaikan permukaan air laut. Kenaikan satu meter

diperkirakan dapat menenggelamkan sekitar 405.000 hektar wilayah pesisir dan menenggelamkan minimal 8 dari 92 pulau-pulau kecil terluar yang merupakan perbatasan perairan Indonesia.

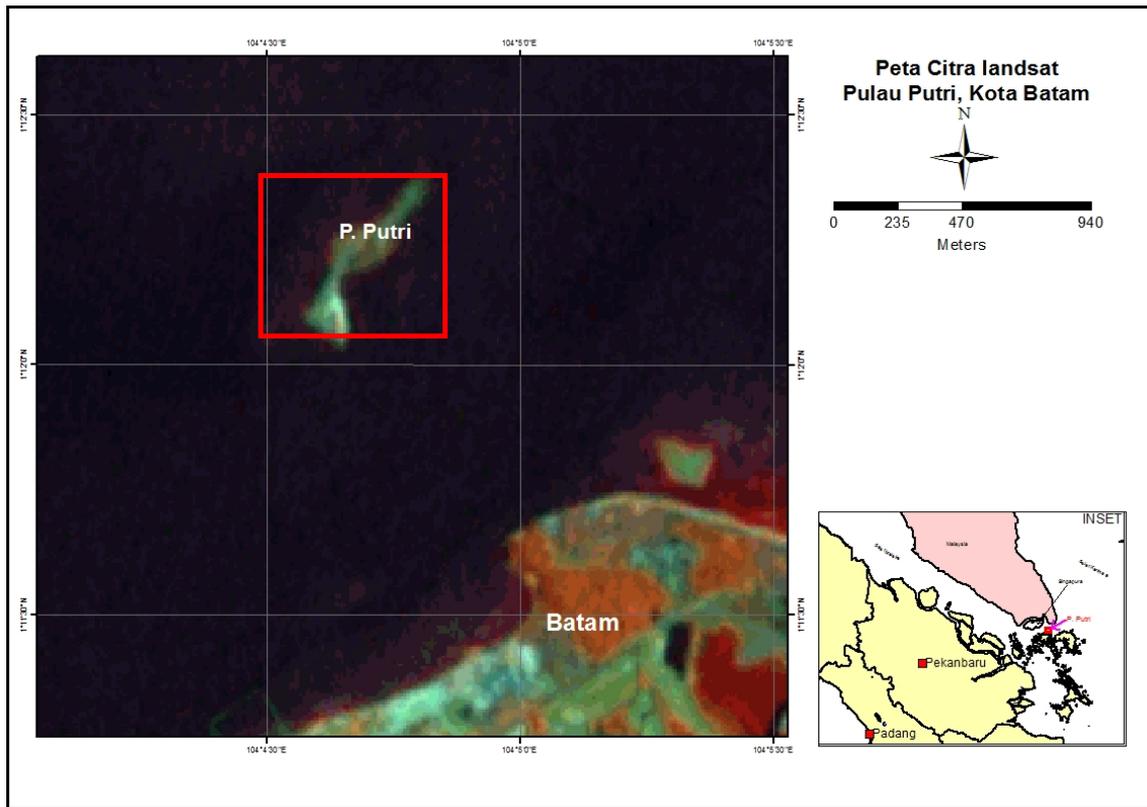
Singapura terus melakukan reklamasi untuk mendukung peningkatan kebutuhan wilayah bagi perumahan, industri, rekreasi, infrastruktur, penampungan air, keperluan militer dan kebutuhan teknis untuk mendukung operasional bandar Changi. Reklamasi merupakan kebijakan nasional yang terus akan dijalankan (Wahyu, 2007). Perkembangan reklamasi dari tahun 1960-2005 menunjukkan telah terjadi penambahan luas 180 km² di Singapura (Kompas, 2007 *dalam* Wahyu, 2007). Reklamasi ini terus dilakukan sesuai dengan *masterplan* Singapura hingga luas wilayahnya mencapai 774 km² pada tahun 2010 (Departemen Kelautan dan Perikanan, 2003 *dalam* Wahyu, 2007). Adanya reklamasi ini diduga akan menimbulkan dampak kerusakan biota laut dan juga abrasi pulau-pulau di Kepulauan Riau, termasuk Pulau Putri.

Berdasarkan ulasan yang telah disajikan di atas, penelitian perubahan garis pantai Pulau Putri menjadi penting untuk dilakukan, karena berkaitan erat dengan kedaulatan NKRI. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi hilangnya Pulau Putri berdasarkan perubahan garis pantai dan luasannya. Hasilnya diharapkan dapat digunakan sebagai dasar strategi pengelolaan pulau sehingga tetap dapat menjadi titik dasar dan titik referensi pulau terluar Indonesia.

Lokasi penelitian berada di Pulau Putri berbatasan langsung dengan Singapura dengan jarak lebih kurang 30 mil. Secara administrasi Pulau Putri terletak pada bagian utara Kota Batam, provinsi Kepulauan Riau. Pulau ini bentuknya oval memanjang kira-kira sepanjang 199 meter dengan garis tengahnya tak lebih dari 50 meter (Gambar 1).

METODE

Metode penelitian terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, interpretasi hasil pengolahan data, survei lapangan dan analisis. Metode survei lapangan dilakukan secara *purposive sampling*, yaitu lokasi survei lapangan ditentukan berdasarkan pertimbangan keterwakilan obyek yang diteliti dan kemudahan lokasi. Survei lapangan dilakukan pada tanggal 14-28 Mei 2014. Analisis pengolahan data penginderaan jauh menggunakan teknik komposit



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Sumber: Citra landsat 8 Tahun 2002)

warna RGB dan Fusi dengan metode transformasi Brovey. Sedangkan interpretasi garis pantai dilakukan secara visual melalui digitasi *on screen*.

Komposit warna merupakan penggabungan beberapa citra dalam satu citra berwarna (Sarp, 2005). Penyusunan komposit warna dilakukan untuk memperoleh gambaran visual yang lebih baik untuk pengamatan obyek (Danoedoro, 1996). Metode transformasi Brovey merupakan metode numerik sederhana yang digunakan untuk menggabungkan dua citra digital yang berbeda resolusi spasial dan spektralnya. Transformasi

Brovey merupakan formula untuk normalisasi citra multispektral yang digunakan sebagai tampilan RGB dengan mengalikannya dengan citra resolusi tinggi untuk menambahkan intensitas atau kecerahannya (Hallada dan Cox, 1983; Vrabel, 1996 dalam Siwi dan Yusuf, 2014). Transformasi Brovey merupakan kombinasi aritmatika khusus yang menggabungkan data dengan perkalian, perbandingan, penjumlahan dan pengurangan untuk meningkatkan kualitas dari citra digital (Yesou dkk., 1993 dalam Pohl, 1999).

Tabel 1. Penggunaan Data Citra Satelit

No	Jenis Data	Tanggal Perekaman	Sumber
1.	Landsat 7ETM+ <i>path/row</i> 125/059	28 April 2000 4 Febuari 2002 5 Juli 2003 19 Juni 2013 2 Maret 2014 6 April 2015 8 April 2016	http://earthexplorer.usgs.gov/ .
2.	Landsat 8 <i>path/row</i> 125/059	27 Juni 2013 13 Mei 2014	http://earthexplorer.usgs.gov/ .
3.	ASTER	5 Juni 2002 9 Mei 2004 18 Juli 2006 5 Mei 2014	https://gbank.gsj.jp/madas/?lang=en#top

Berikut ini disajikan data citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini (Tabel 1).

Tahapan dalam kajian ini meliputi pengumpulan data citra satelit, pengolahan data yang meliputi koreksi geometrik pembuatan citra komposit berwarna, fusi (penggabungan) antara citra berwarna dengan citra pankromatik yang mempunyai resolusi spasial lebih tinggi, interpretasi garis pantai melalui digitasi *on screen*, survei lapangan dan analisis perubahan garis pantai. Pada saat survei lapangan dilakukan pengukuran pasang surut dan arus laut untuk mendukung analisis perubahan garis pantai Pulau Putri. Adapun analisis pasang surut menggunakan metode *admiralty* dengan 15 hari pengamatan. Dimana perhitungan menggunakan persamaan Formzahl (Korto, dkk. 2015) dengan rumus:

$$\text{Tipe pasang surut : } F = \frac{A(K_1) + A(O_1)}{A(M_2) + A(S_2)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Lowest Low Water :

$$LLW = A(S_0) - A(M_2 + S_2 + K_1 + O_1 + P_1 + K_2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Higest High Water :

$$HHW = A(S_0) + A(M_2 + S_2 + K_1 + O_1 + P_1 + K_2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Tunggang Air pada pasang purnama

$$= 2(A(M_2) + A(S_2)) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Tunggang Air pada pasang perbani

$$= 2(A(M_2) - A(S_2)) \quad \dots\dots\dots (5)$$

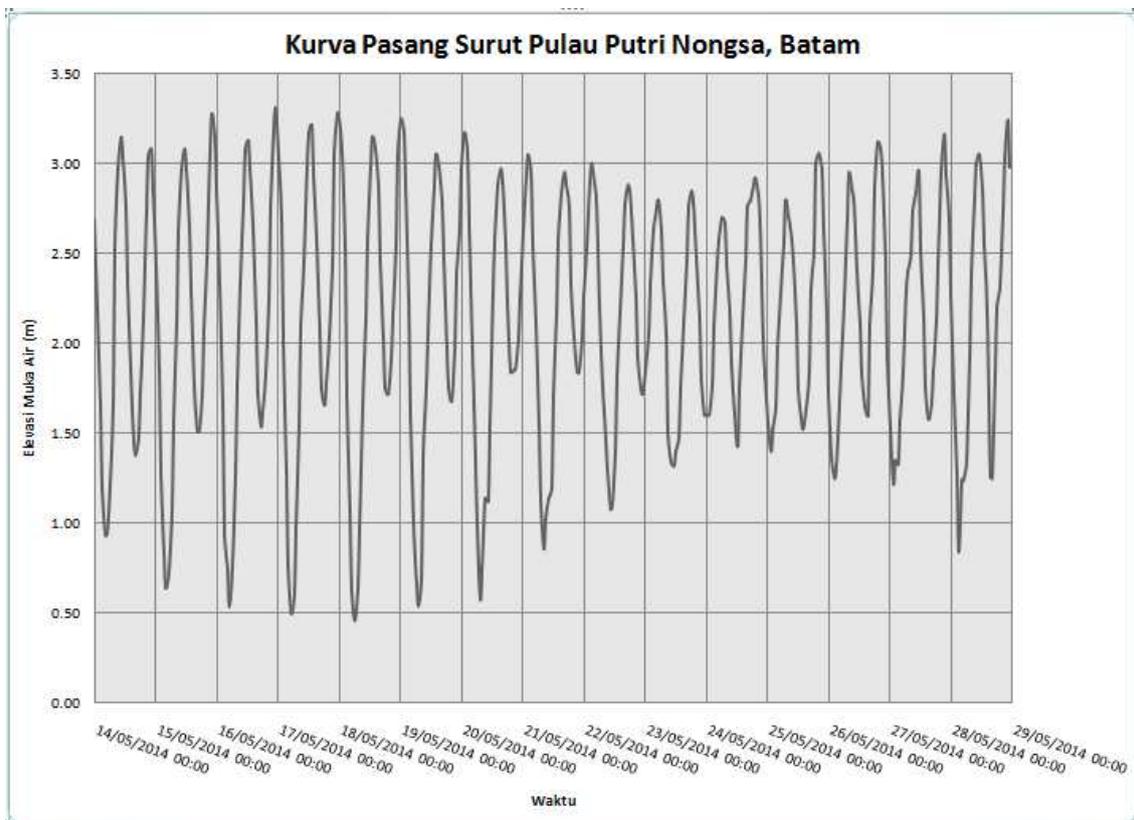
Pengukuran arus laut dilakukan pada satu lokasi dengan tiga kedalaman laut yang berbeda. Pengolahan data arus dilakukan dengan *current rose*, untuk menghasilkan arah arus dan kecepatannya. Pada pengolahan data diperhitungkan komponen pasang surut sehingga dapat diidentifikasi komponen arus pasang surut dan arus non pasang surut.

HASIL

Pasang Surut

Pengukuran pasang surut dengan pemasangan rambu ukur dilakukan pada koordinat 1.201659° N; 104.076863° E, yaitu di sebelah Selatan Barat Pulau Putri. Bacaan tertinggi hasil pembacaan pasang surut pada rambu ukur pasang surut adalah 628 cm dan terendah adalah 331 cm. Elevasi hasil pengamatan muka air selanjutnya diikatkan pada titik tetap yang ada (*Bench Mark*). Hasil pengamatan pasang surut di lokasi studi disajikan pada Gambar 2.

Hasil pengukuran selama 15 hari tersebut kemudian dilakukan perhitungan tetapan pasang surut dengan metode *Admiralty*. Perhitungan yang



Gambar 2. Hasil Pengamatan Elevasi Muka Air di Pulau Putri (Hasil Pengamatan Lapangan)

Tabel 2. Perhitungan Komponen Pasut dengan Metode Admiralty

KETERANGAN	S0	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
Amplitudo (cm)	213.81	76.55	22.63	12.29	5.20	51.82	24.60	17.10	0.67	1.52
Beda Fasa (°)		285	342	290	342	71	25	71	288	28

dilakukan untuk memperoleh konstanta harmonik pasang (Tabel 2) dan selanjutnya dilakukan penghitungan tipe pasang surut, muka surutan, air tinggi maksimum, tunggang air pada pasang purnama dan tunggang air pada pasang perbani. Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai F yang mencerminkan tipe pasang adalah 0,77, sedangkan muka surutan 15,91 cm; air tinggi maksimum 411,71 cm, tunggang air pada pasang purnama 198,36 cm dan tunggang air pada pasang perbani 107,84 cm.

Berdasarkan nilai F, maka pasang surut di lokasi yang ditinjau dapat diklasifikasikan ke dalam *mixed predominantly semi diurnal*. Dijelaskan oleh Oktavia (2011) dalam Wisna dan Heriati (2016) tipe pasang surut ditentukan oleh perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) dengan unsur-unsur pasang surut tunggal utama dan unsur-unsur pasang surut ganda utama. Sidjabat (1973) dalam Wirasatriya (2004) menjelaskan nilai F (Bilangan FormZahl) antara 0,26 – 1,50 mempunyai tipe pasang surut campuran dominan ganda. Menurut Wyrтки (1961) dalam Korto, dkk. (2015), jenis pasang surut *mixed predominantly semi diurnal* (pasang surut campuran dominan ganda) terdapat dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam sehari dengan ketinggian dan periode yang tidak sama.

Arus Laut

Pengukuran arus dilakukan secara statis di titik tetap dengan interval waktu pengamatan 1 jam. Pada tanggal 19 - 20 Mei 2014 pengukuran arus dilakukan di perairan Pulau Putri, Kepulauan Riau pada posisi koordinat 104° 04' 27.46" BT ; 1°

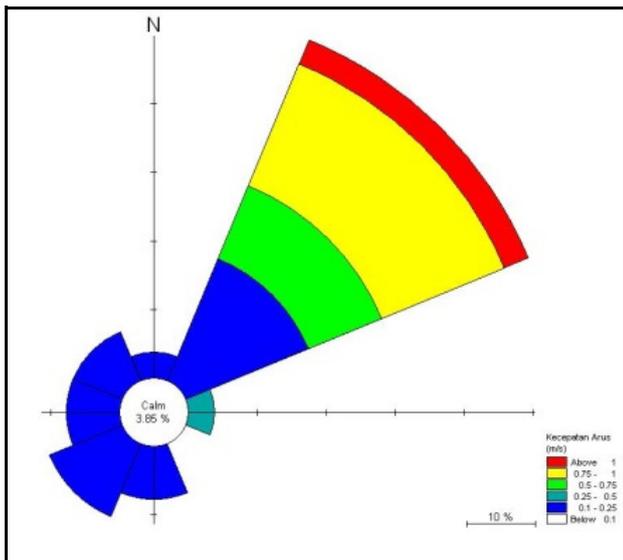
12' 20.92" LU, kedalaman lokasi pengukuran arus 15 m ($d = 15$ m), pengukuran dilakukan pada tiga titik kedalaman 0.2d, 0.6d dan 0.8d.

Berdasarkan pengukuran arus laut pada kedalaman 3 meter mempunyai kecepatan maksimum 1,2 meter/detik. Kecepatan arus berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini dibuktikan dengan pengukuran pada kedalaman 9 meter dan 12 meter. Pada kedalaman 9 meter kecepatan arus maksimum menjadi 1,026 meter/detik dan berkurang pada kedalaman 12 meter menjadi 0,765 meter/detik. Kecepatan arus tersebut cenderung dipengaruhi oleh kondisi pasang surut. Berdasarkan analisis menunjukkan bahwa pada saat pasang surut menjelang surut kecepatan arus menjadi cukup tinggi dan cenderung tenang pada saat air kondisi surut minimum menuju pasang dan saat surut. Adapun data arah arus dominan pada masing-masing kedalaman dan kecepatannya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3, 4, dan 5.

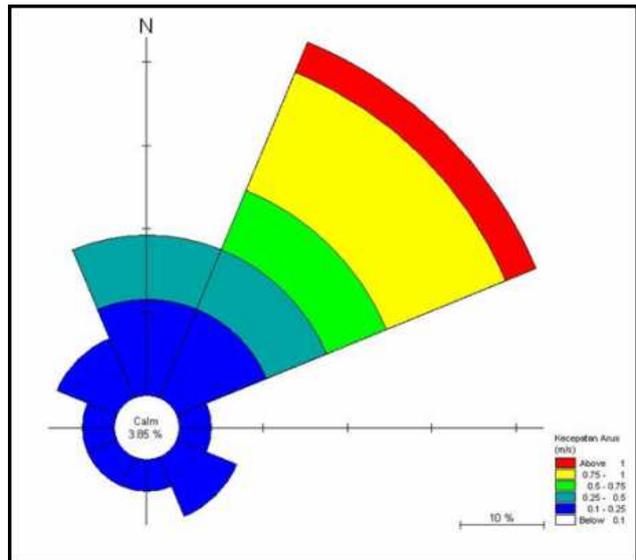
Mekanisme terjadinya arus laut disebabkan oleh perubahan temperatur di lautan lebih lambat daripada di atmosfer. Hal ini menyebabkan kondisi lautan cenderung lebih hangat meskipun titik nadir matahari telah menjauhi garis khatulistiwa. Pada saat angin bertiup di muka laut, energi angin ditransformasikan ke permukaan laut. Energi tersebut sebagian menjadi gelombang gravitasi permukaan yang mengikuti pergerakan arus permukaan sebagai akibat dari pergerakan angin. Hal yang terakhir ini yang menyebabkan terjadinya arus laut. Peristiwa dorongan angin terhadap arus laut lebih banyak terjadi pada skala

Tabel 3. Arah Arus Dominan dan Kecepatannya

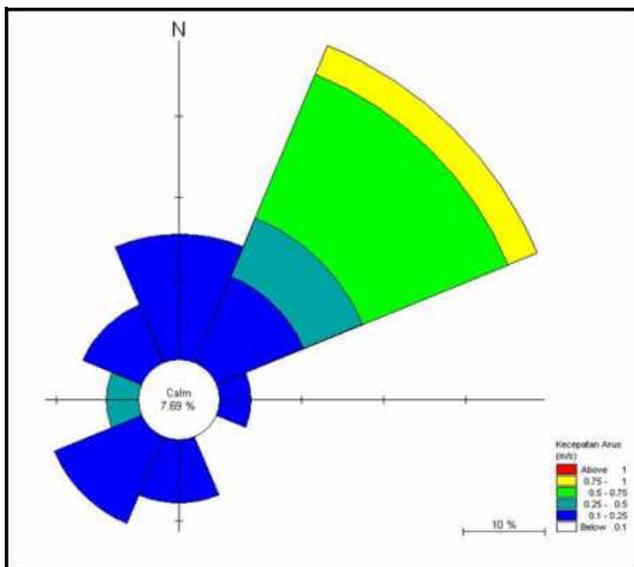
Kedalaman	3 m(0.2d)	9 m (0.6d)	12 m (0.8d)
Kecepatan maksimum:	1.2 m/s	1.026 m/s	0.765 m/s
Kecepatan rata-rata:	0.394 m/s	0.384 m/s	0.289 m/s
Kecepatan minimum:	0.037 m/s	0.074 m/s	0.073 m/s
Arah dominan:	Timur Laut dan Barat Daya	Timur Laut dan Utara	Timur Laut dan Utara



Gambar 3. Diagram Arus (Current Rose) pada kedalaman 3m (0.2d)



Gambar 4. Diagram Arus (Current Rose) pada kedalaman 9m (0.6d)



Gambar 5. Diagram Arus (Current Rose) pada kedalaman 12m (0.8d)

kecil melalui proses turbulensi. Peningkatan kecepatan arus laut dan sebaliknya lebih banyak disebabkan oleh proses turbulensi permukaan. Turbulensi akan mendistribusikan dan menghilangkan energi gerak dan merubahnya menjadi energi panas melalui viskositas molekular. Hal terakhir inilah yang memberikan kontribusi terhadap suhu muka laut. Selebihnya arus laut diatur oleh kondisi salinitas densitas, suhu dan topografi dasar laut (Arifin, 2008).

Perubahan Garis Pantai dan Luas Wilayah

Pemetaan perubahan garis pantai dan luas wilayah Pulau Putri dilakukan menggunakan citra penginderaan jauh. Berdasarkan data tersebut dilakukan interpretasi garis pantai Pulau Putri. Hasil interpretasi menunjukkan terjadi perubahan garis pantai dan luas wilayah yang semakin berkurang di Pulau Putri dalam kurun waktu 16 tahun. Berdasarkan citra landsat, pada tahun 2000 luas wilayah Pulau Putri adalah 131.374,01 m² lalu berkurang menjadi 109.527,15 m² di tahun 2002 dan 105.603,72 m² di tahun 2003. Pada tahun 2004 dan 2006 dengan menggunakan data ASTER luasan wilayah terus berkurang lagi menjadi 95.679,29 m² dan 93.070,66 m². Perubahan luasan mulai terlihat signifikan dari tahun 2013 - 2016 mulai dari 68.155,55 m², 55.370,82 m², 32.479,61 m², dan pada tahun 2016 luasnya hanya sekitar 24.266m². Adapun peta dan grafik perubahan luas Pulau Putri dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Perubahan garis pantai berkurang sekitar 937m. Hal ini mengikuti berkurangnya luas wilayah Pulau Putri. Adapun grafik perubahan panjang garis pantai dapat dilihat pada Gambar 9. Penyebab berkurangnya luas/perubahan garis pantai Pulau Putri dikarenakan adanya abrasi. Gambar 6 menunjukkan salah satu bagian sisi utara Pulau Putri yang terkikis oleh adanya abrasi.

Istijono (2013) menerangkan abrasi merupakan proses tergerusnya pantai yang biasanya diikuti oleh longsoran (runtuhan) pada



Gambar 6. Salah Satu Bagian Sisi Utara Pulau Putri

material masif seperti tebing pantai. Berdasarkan survei lapangan dijumpai tebing tegak dengan batuan yang tidak kompak terdiri dari ukuran berbagai fraksi, bongkah hingga lempung. Tidak terkonsolidasi dengan baik sehingga mudah terkena abrasi. Proses dinamika pantai Pulau Putri di pengaruhi oleh kondisi cuaca, khususnya musim angin utara dan barat. Abrasi terjadi hampir di sekeliling pulau namun yang paling terkena abrasi terutama di sebelah utara. Banyak faktor yang menyebabkan abrasi di pulau ini dimana salah satunya adalah arah dominan angin dan arus yaitu barat daya dan timur laut.

Garis pantai merupakan lingkungan yang dinamis dan morfologinya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kenaikan muka air laut, pasang surut, gelombang dan arus. Faktor manusia juga terkadang mempengaruhi garis

pantai melalui proses reklamasi. Perubahan garis pantai tidak terlepas dari kenaikan muka air laut global. Kenaikan muka air laut global sebagai akibat dari peningkatan gas-gas rumah kaca dan bahan perusak ozon sehingga suhu semakin panas dan mencairkan es di kutub dan menambah volume air laut di dunia (Wirasatriya, 2004). Purkis dkk. (2016) menerangkan perubahan garis pantai secara umum disebabkan oleh dua faktor, yaitu modifikasi oleh manusia dan kenaikan muka air laut. Namun demikian secara lokal erosi/abrasi juga menyebabkan berubahnya garis pantai.

Misra dan Balaji (2015) menjelaskan kombinasi dari pasang surut, gelombang dan pengangkutan menyebabkan terjadinya erosi di sepanjang pantai. IPCC (2013) dalam Duong, dkk. (2016) menyatakan kenaikan muka air laut global diperkirakan terus terjadi selama abad 21 yang disebabkan karena peningkatan suhu air laut dan berkurangnya glacier dan es di kutub. Diperkirakan kenaikan muka air laut tahun 2081-2100 antara 0,26-0,82 meter relatif sama dengan tahun 1986-2005. Kondisi ini tentunya mengkhawatirkan bagi Indonesia, dimana pulau-pulau terluar merupakan lokasi penarikan batas negara.

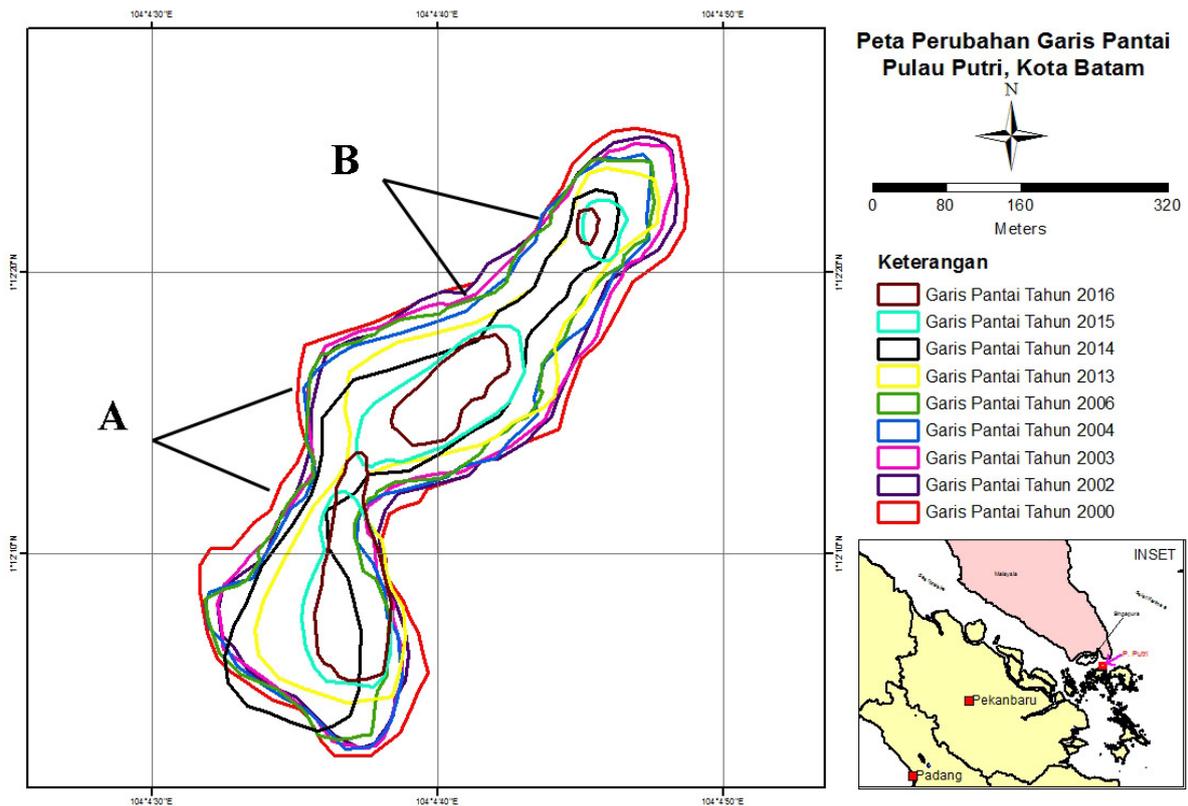
PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil interpretasi Landsat dan ASTER dari tahun 2000-2016, luas Pulau Putri terus menyusut akibat abrasi yang terus menerus (Gambar 7). Hantaman gelombang dari utara pulau dan berkurangnya penahan gelombang alami mengancam pulau ini menjadi hilang, padahal pulau ini menjadi titik pangkal pengukuran perairan teritorial Indonesia. Penahan gelombang berupa bakau dan tumbuhan lainnya telah banyak yang mati akibat pencemaran minyak. Upaya penanaman bakau telah dilakukan namun tidak membuahkan hasil. Kondisi ini semakin mengkhawatirkan dengan rusaknya karang yang mengelilingi Pulau Putri.

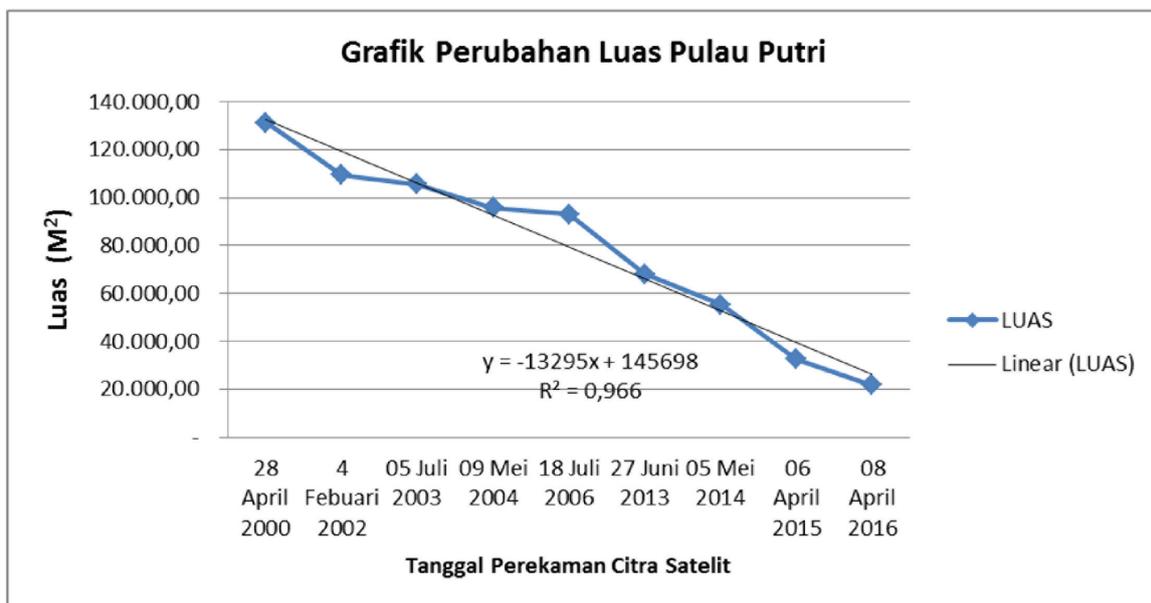
Abrasi yang terjadi membuat Pulau Putri menjadi 3 bagian dimana pada terdapat dua

Tabel 4. Perubahan Luas Wilayah Pulau Putri

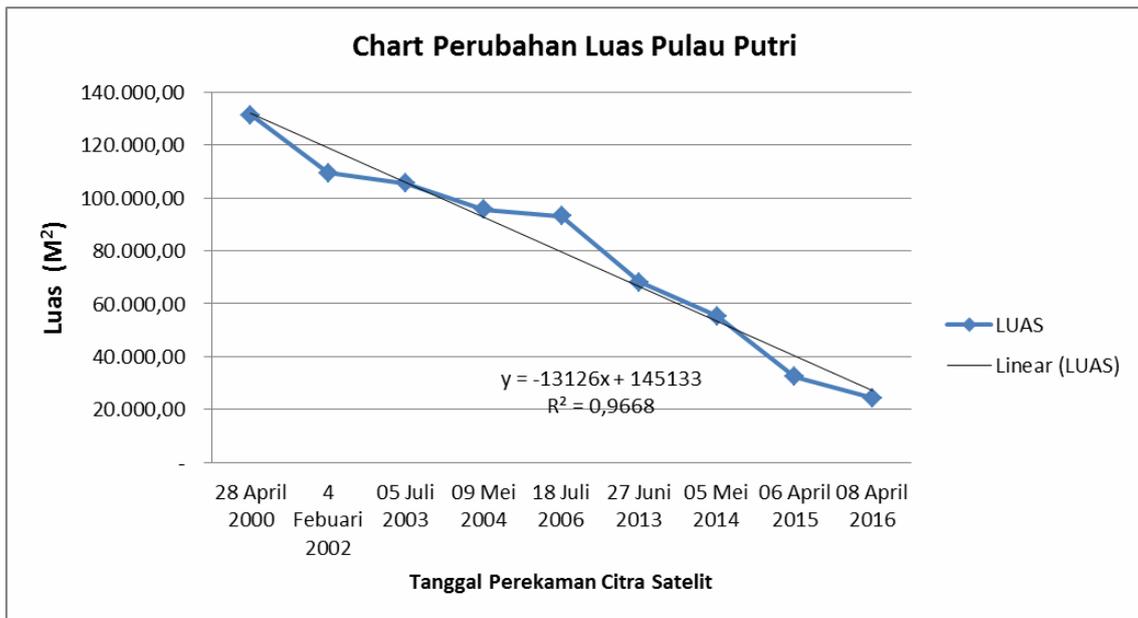
NO	DATA	TANGGAL	LUAS (M ²)
1	Landsat 7	28 April 2000	131.374,01
2	Landsat 7	4 Febuari 2002	109.527,15
3	Landsat 7	05 Juli 2003	105.603,72
4	ASTER	09 Mei 2004	95.679,29
5	ASTER	18 Juli 2006	93.070,66
6	Landsat 8	27 Juni 2013	68.155,55
7	ASTER	05 Mei 2014	55.370,82
8	Landsat 7	06 April 2015	32.479,61
9	Landsat 7	08 April 2016	24.266,73



Gambar 7. Perubahan Garis Pantai Pulau Putri Berdasarkan Interpretasi dari Landsat 7ETM+, Landsat 8 dan ASTER



Gambar 8. Grafik Perubahan Luas Pulau Putri Berdasarkan Data Citra Satelit



Gambar 9. Grafik Perubahan Garis Pantai Pulau Putri Berdasarkan Data Citra Satelit

bagian pulau yang terkikis habis dengan sepanjang 150 meter pada bagian A, sedangkan pada bagian B terkikis habis sepanjang 134 meter (Gambar 7). Hasil analisis menunjukkan diperkirakan Pulau Putri berkurang luasannya pertahun 6.853 m²/tahun, sedangkan garis pantai berkurang sekitar 58,6 meter/tahun. Abrasi merupakan faktor utama yang menyebabkan berkurangnya luasan atau hilangnya suatu pulau (Jaelani, 2004). Sisi barat mengalami abrasi lebih besar daripada sisi timur yang relatif lebih stabil. Faktor lain yang berperan adalah naiknya muka air laut. Kenaikan muka air laut menyebabkan abrasi meningkat Dermawan dan Praseno, 2011). Kenaikan muka air laut juga menyebabkan berkurangnya luas daratan dan perubahan garis pantai (Susandi dkk., 2008).

Abrasi di Pulau Putri sangat intensif dan salah satu penyebabnya adalah karena material batuan penyusun Pulau Putri belum kompak (Geurhaneu dkk., 2014). Kondisi ini tentunya sangat mengkhawatirkan sehingga perlu dilakukan mitigasi untuk mengatasi abrasi yang terus menerus. Mitigasi ini harus sesuai dengan karakteristik Pulau Putri tersebut. Menurut Subandono (2007) dalam Ruswandi dkk. (2008) mitigasi bencana alam yang dapat diterapkan tidak sama antara suatu wilayah dengan wilayah yang lain. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi abrasi, yaitu penghijauan, pembuatan terumbu karang buatan (*artificial reef*), revitalisasi pantai (*beach nourishment*), pembangunan pemecah ombak (*breakwater*), peredam abrasi

(*bank revetment*) dan penahan sedimentasi yang bergerak sejajar pantai (*groin*) (Prawiradisastra, 2003; Ruswandi dkk., 2008).

Bangunan pengaman pantai yang berupa pemecah ombak akan lebih efisien apabila di depan bangunan tersebut terdapat terumbu karang buatan dan dibelakangnya ditanami mangrove. Dijelaskan oleh Akbar dkk. (2011) penanaman mangrove di belakang bangunan pengaman pantai dapat melindungi pantai dan cemara ataupun tumbuhan lokal Pulau Putri. Adapun dalam penanaman mangrove harus memperhatikan ekologi. Pada zona di depan pantai yang menghadap ke laut sebaiknya ditanami jenis api-api (*Avicennia* sp) dengan pola tanam yang tidak teratur. Adanya bangunan pemecah ombak akan memberikan kesempatan terbentuknya komunitas mangrove yang mampu meningkatkan fungsi perlindungan pantai. Waryono (2002) menjelaskan untuk upaya pemulihan mangrove perlu dilakukan restorasi ekologi dengan tindakan sulvikultur melalui rekayasa lingkungan yang dimulai dari penelusuran tapak sampai diketahui perilaku dari mangrove tersebut.

Penanaman mangrove, cemara atau pohon lokal di Pulau Putri merupakan strategi alamiah untuk penanganan abrasi. Sakur dkk. (2014) menyatakan pemilihan jenis tanaman untuk menangani masalah abrasi merupakan hal yang paling penting, karena tanaman yang dipilih harus bisa hidup dengan baik pada kondisi lingkungan asam, salinitas tinggi, tanah pasir dan sedikit unsur hara. Nugroho (2013) menerangkan jenis cemara

undang (*Casuarina equisetifolia var. incana*) dapat memenuhi peran tersebut. Adanya cemara undang yang mapan akan mengurangi kecepatan angin dan pasir menjadi lebih stabil. Kombinasi dengan *Pandanus odoratissimus* dianjurkan sebagai *vegetation bioshield* untuk melindungi daerah pesisir dari dampak tsunami. Santoso (2005) menambahkan pelestarian vegetasi lokal pada sempadan pantai (mangrove dan vegetasi pantai lainnya) mutlak diperlukan agar keberadaan pulau dapat dipertahankan dari ancaman bahaya abrasi pantai dan mempertahankan fungsi sempadan sebagai daerah asuhan dan pembesaran biota air dan penyangga angin.

Pembangunan *groin* penting untuk mempertahankan pantai buatan dapat bertahan lama dengan biaya yang tidak terlalu mahal. *Groin* atau dikenal dengan *jetty* dapat berbentuk huruf I, L atau T dengan pasir isian yang didatangkan (Yuwono, 2004 dalam Setyandito dan Triyanto, 2007). Pembangunan *groin* yang kurang sempurna akan membuat pasir keluar dan tererosi oleh hantaman gelombang dan arus sejajar pantai. Adanya usaha-usaha perlindungan Pulau Putri dengan metode gabungan di atas perlu dilakukan secara cepat dan tepat. Hal ini penting untuk strategi pengelolaan pulau sehingga tetap dapat menjadi titik dasar dan titik referensi pulau terluar Indonesia.

Usaha perlindungan pulau terluar ini sejalan dengan kebijakan pemerintah untuk mengatasi permasalahan di pulau-pulau terluar. Peraturan Pemerintah Nomor 47 Tahun 1997 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional dimana kawasan perbatasan sebagai 'beranda depan' negara dengan memadukan antara pendekatan pertahanan-keamanan dan kesejahteraan masyarakat, sinergisitas pengembangan wilayah kelautan dengan daratan secara saling menguntungkan melalui pengembangan kawasan andalan laut dan kota-kota pantai, pengembangan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dan penanganan kawasan tertinggal (termasuk pulau-pulau kecil yang terpencil/terisolir) yang terintegrasi dalam kesatuan pengembangan kawasan andalan dan pusat-pusat pertumbuhan (Kusumo, 2010). Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Pulau-Pulau Kecil Terluar yang mempunyai tujuan menjaga keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, keamanan nasional, pertahanan negara dan bangsa, serta menciptakan stabilitas kawasan; memanfaatkan sumber daya alam dalam rangka pembangunan berkelanjutan dan memberdayakan

masyarakat dalam rangka peningkatan kesejahteraan.

KESIMPULAN

Perubahan garis pantai dan luas wilayah di Pulau Putri mulai signifikan dari tahun 2013- 2016. Pada tahun 2000 luas Pulau Putri sekitar 131.374 m² kemudian luas tersebut terus berkurang, dan pada tahun 2016 luasnya hanya sekitar 24.266m² yang disebabkan adanya abrasi. Adapun dalam kurun waktu 16 tahun rata-rata luas Pulau Putri berkurang 6.853 m²/tahun, sedangkan garis pantai berkurang sekitar 58,6 meter/tahun.

Abrasi terjadi hampir di sekeliling pulau namun yang paling terkena abrasi terutama berasal dari sebelah utara yang memotong pulau menjadi tiga bagian. Banyak faktor yang menyebabkan abrasi di pulau ini dimana salah satunya adalah arah dominan angin dan arus yaitu barat daya dan timur laut.

SARAN

Berdasarkan karakteristik pantai Pulau Putri untuk mencegah abrasi yang terus menerus mitigasi diperlukan pembuatan struktur gabungan pemecah ombak (*breakwater*), peredam abrasi (*bank revetment*), penahan sedimentasi sejajar pantai (*groin*), penanaman mangrove kembali (remangrovisasi), pembuatan terumbu karang buatan (*reef artificial*) dan revitalisasi pantai (*beach nourishment*) untuk diterapkan di Pulau Putri. Pertimbangan ini dilakukan karena efektivitas untuk meredam abrasi yang sudah parah dan membahayakan kedaulatan negara Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Dr. Ediar Usman selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan dan semua anggota Tim Pulau Putri 2014 atas dukungan dan diskusinya serta rekan-rekan yang telah membantu hingga selesainya tulisan ini.

ACUAN

Akbar, A.A., Sartohadi, J., Djohan, T.S. dan Su Ritohardoyo, 2011. Peningkatan Efisiensi Fungsi Bangunan Pengaman Pantai (*Wave Breaker*) dengan Rekayasa Vegetasi sebagai Pelindung Pantai. Studi Kasus di Pesisir Kalimantan Barat. Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXVIII. Himpunan Ahli

- Teknik Hidraulik Indonesia. Ambon. Hal: 245-254.
- Arifin, J., 2008. Variabilitas *Thermohaline* dan Arus Laut di Jalur Arlindo dan Hubungannya dengan *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO). Thesis. Program Pasca Sarjana Ilmu Kelautan. Universitas Indonesia (tidak dipublikasikan).
- Danoedoro, P., 1996, Pengolahan Citra Digital, Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Dermawan, A. & K. Praseno, 2011. Menjangkau Orang-Orang Terluar: Program KKP untuk Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. Diskusi Regional Forum KTI. Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim untuk Pulau-Pulau Kecil di Kawasan Timur Indonesia. Mataram.
- Duong, T.M., R. Ranasinghe, D. Walstra and D. Roelvink., 2016. Assessing Climate Change Impacts on Stability of Small Tidal Inlet System: Why and How?. ScienceDirect. Elsevier. *Journal of Earth-Science Reviews* 154. Page: 369-380.
- Geurhaneu, N. Y., 2014. Penelitian Lingkungan Geologi Kelautan Di Pulau Putri, Provinsi Kepri (Pulau Terdepan Berbatasan Dengan Singapura). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung (tidak dipublikasikan).
- Istijono, B., 2013. Tinjauan Lingkungan dan Penanggulangan Abrasi Pantai Padang-Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 9(2) Hal: 42-49.
- Jaelani, L.M., 2004. Pengaruh Pulau-Pulau Terluar Terhadap Penetapan Batas Laut Indonesia. Proceeding Pertemuan Ilmiah Tahunan I. *Kadaster Laut dalam Perspektif Pemetaan Batas Pantai dan Laut Terkait dengan Perundangan Otonomi Daerah*. Teknik Geodesi ITS, Surabaya. Hal: 58-63.
- Korto, J., M.I. Jasin dan J.D. Mamoto, 2015. Analisis Pasang Surut di Pantai Nuangan (Desa Inyok) Boltim dengan Metode Admiralty. *Jurnal Sipil Statik*. 3(6). Hal: 391-402.
- Kusumo, A.T.S., 2010. Optimalisasi Pengelolaan dan Pemberdayaan Pulau-Pulau Terluar dalam Rangka Mempertahankan Keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia. *Jurnal Dinamika Hukum*. 10(3). Hal: 327-337.
- Misra, A., and Balaji, R., 2015. A Study on the Shoreline Change and Landuse/Landcover Along the South Gujarat Coastline. 8th International Conference on Asia and Pasific Coast (APAC 2015). *Procedia Engineering* 116. Page: 381-389.
- Nugroho, A.W., 2013. Pengaruh Komposisi Media Tanam terhadap Pertumbuhan Awal Cemara Udang (*Casuarina Equisetifolia* var. *Incana*) pada Gumuk Pasir Pantai. *Forest Rehabilitation Journal*. 1(1). Hal 113-125.
- Peraturan Pemerintah Nomor 47 Tahun 1997 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional.
- Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2002 Tentang Daftar Koordinat Geografis Titik-Titik Garis Pangkal Kepulauan Indonesia.
- Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Pulau-Pulau Kecil Terluar.
- Pohl, C., 1999. Tools and Methods for Fusion of Images of Different Spatial Resolution. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32. Part 7-4-3. Valladoid Spain, 3-4 June. <https://www1.ethz.ch/igp/photogrammetry/education/lehrveranstaltungen/RSGISFS2015/Exercises/pohl.pdf>. Didownload Tanggal 1 April 2016.
- Prawiradisastra, S., 2003. Permasalahan Abrasi di Wilayah Pesisir Kabupaten Indramayu. *Jurnal Alami*. 8(2). Hal: 42-46.
- Purkis, S.J., R. Gardiner, M.W., Johnston and C.R.C. Sheppard, 2016. A Half Century of Coastline Change in Diego Garcia-The Largest Atoll Island in the Chagos. *Journal of Geomorphology*. 261. Page: 282-298.
- Putuhena, J.D., 2011. Perubahan Iklim dan Resiko Bencana pada Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. *Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Pulau-Pulau Kecil 2011*. Hal: 287-298.
- Ruswandi, Saefuddin, A., Mangkuprawira, S., Riani, E. dan Kardono, P., 2008. Identifikasi Potensi Bencana Alam dan Upaya Mitigasi yang paling Sesuai Diterapkan di Pesisir Indramayu dan Ciamis. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 18(2). Hal: 1-19.
- Sakur, M., Ismail, K. dan Wilopo, W., 2014. Strategi Penanganan Abrasi Lahan Bekas Tambang

- Daerah Pantai Mudong, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-7*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Hal: 205-218.
- Santoso, N., 2005. Pelestarian Vegetasi Lokal dalam Rangka Pengembangan Tata Ruang Kepulauan Seribu. *Media Konservasi*. X(1) . Hal: 7-11.
- Sarp, G., 2005. Lineament Analysis from Satellite Images, North-West of Ankara, *Thesis*. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.
- Setyandito, O. dan Triyanto, J., 2007. Analisa Erosi dan Perubahan Garis Pantai pada Pantai Pasir Buatan dan Sekitarnya di Takisung, Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknik Sipil*. 7(3). Hal: 224-235.
- Siwi, S. E. & H. Yusuf., 2014. Analisis Pansharpening Citra Spot-5. Seminar Nasional Penginderaan Jauh.
- Subandono, 2013. Pengelolaan Pulau-Pulau Kecil terluar dalam perspektif menjaga kedaulatan dan kesejahteraan masyarakat, Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, KKP, Makassar.
- Susandi A, Firdaus Y, dan Herlianti I. 2008. Impact of Climate Change on Indonesian Sea Level Rise with Referente to It's Socio-economic Impact. EEPSEA Climate Change Conference. Climate Change: Impacts, Adaptation and Policy in South East Asia with Focus on Economics, Socio-Economics and Institutional Aspects. Grand Mirage Resort, Nusa Dua, Bali, Indonesia Febuary 13-15.
- Wahyu, Y.A.R., 2007. Reklamasi Singapura sebagai Potensi Konflik Delimitasi Perbatasan Wilayah Indonesia Singapura. *Global 4 Strategis*, Th I, No. 2. Hal: 120-137.
- Waryono, T., 2002. Restorasi Ekologi Hutan Mangrove. Studi Kasus DKI Jakarta. Seminar Nasional Mangrove “ Konservasi dan Rehabilitasi Mangrove sebagai Upaya Pemulihan Ekosistem Hutan Mangrove DKI Jakarta. Hotel Borobudur 21 Oktober 2002. Jakarta.
- Wirasatriya, A., 2004. Kajian Kenaikan Muka Laut sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Pesisir Kota Semarang. *Tesis*. Program Studi Magister Manajemen Sumber Daya Pantai. Program Pasca Sarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wisha, U.J., dan A. Heriati, 2016. Analisis Julat Pasang Surut (*Tidal Range*) dan Pengaruhnya Terhadap Sebaran Total Sedimen Tersuspensi (TSS) di Perairan Teluk Pare. *Jurnal Kelautan*. Vol. 9.
- INTERNET
- www.ppk-kp3k.kkp.go.id. Didownload Tanggal 27 April 2016.
- <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Didownload Tanggal 1 April 2016
- <https://gbank.gsj.jp/madas/?lang=en#top>. Didownload Tanggal 1 April 2016