

# **KONDISI OSEANOGRAFI DAN PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI UTARA PAPUA**

**Suhaemi, S.IK., M.Si  
Ferawati Runtuboi, S.IK., M.Si  
Marhan Manaf, S.Pi., M.T**



**Kondisi Oseanografi  
Dan Perubahan Morfologi  
Pantai Utara Papua**

## **UU No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta**

### **Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# **Kondisi Oseanografi Dan Perubahan Morfologi Pantai Utara Papua**

**Penulis :**

Suhaemi, S.IK., M.Si  
Ferawati Runtuboi, S.IK., M.Si  
Marhan Manaf, S.Pi., M.T



**PENERBIT CV AZKA PUSTAKA**

Judul Buku :  
**Kondisi Oseanografi  
Dan Perubahan Morfologi  
Pantai Utara Papua**

**Penulis :**  
Suhaemi, S.IK., M.Si  
Ferawati Runtuboi, S.IK., M.Si  
Marhan Manaf, S.Pi., M.T

Editor:  
**Moh Suardi**

**ISBN :**  
**978-623-5364-17-9**

**Design Cover**  
Zainur Rijal

**Layout :**  
**Safrinal**

**Ukuran Buku : 14,5x21**

**PENERBIT. CV. AZKA PUSTAKA**

Jl. Jendral Sudirman Nagari Lingkuang Aua Kec. Pasaman,  
Kab. Pasaman Barat, Sumatera Barat 26566

**Email : [penerbitazkapustaka@gmail.com](mailto:penerbitazkapustaka@gmail.com)**

**Website: [www.penerbitazkapustaka.co.id](http://www.penerbitazkapustaka.co.id)**

HP/Wa: 083182501876/081372363617

Cetakan Pertama: Januari 2022

ANGGOTA IKAPI : 031/SBA/21

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang. Dilarang  
Memperbanyak Karya Tulis Ini Dalam Bentuk Apapun Tanpa Izin  
Penerbit

**Isi diluar tanggung jawab penerbit dan percetakan**

## PRAKATA

Pulau Piai berada pada posisi terluar wilayah kepulauan Raja Ampat bagian utara dan berhadapan langsung dengan Samudra Pasifik bagian utara menyebabkan pulau ini rentan terhadap perubahan ekosistem, gerusan oleh arus, gelombang laut dan angin turut berkontribusi terhadap rusaknya ekosistem pantai bahkan berpeluang tenggelam suatu saat nanti. Secara ekologi diketahui pulau Piai memberikan peran sebagai tempat peneluran penyu Hijau (*Chelonia mydas*).

Kondisi alam tidak mudah untuk diubah akan tetapi bagaimana kita merencanakan dan menyesuaikan kondisi alam sehingga eksistensi ekosistemnya dapat berlangsung. Kajian yang ditekankan pada penelitian ini mencakup aspek fisika oseanografi sebagai barometer yang harus diamati untuk mengurangi kerusakan ekosistem secara alami akibat gelombang, arus dan angin yang kuat. Pendekatan yang dilakukan dengan menerapkan model simulasi yang selanjutnya akan di verifikasi dengan data pengamatan.

Hasil model diharapkan mampu memberikan hasil yang cukup baik sehingga prediksi kerusakan alam yang terjadi pada waktu yang akan datang dapat ditanggulangi sejak dini. Penelitian berlangsung dalam periode 3 tahun dan diharapkan pada tahun ketiga mampu menghasilkan suatu kesimpulan yang akurat terkait perlindungan ekosistem pantai khususnya pulau-pulau terluar. Penelitian selama 3 tahun ini, bisa dikatakan masih belum sempurna oleh sebab itu perlu ada kajian yang berkesinambungan dan terus

menerus sehingga diperoleh metode perlindungan pantai yang paling tepat. Masukan, saran dan kritik sangat penulis harapkan guna menciptakan hasil akhir yang lebih sempurna.

Manokwari, Maret 2022

**Tim Penulis**

# Daftar Isi

Prakata.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Gambar.....	x
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>BAB 2 DESKRIPSI PULAU PIAI PANTAI</b>	
<b>UTARA PAPUA .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 3 KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI</b>	
<b>PANTAI UTARA PAPUA .....</b>	<b>11</b>
A. Karakteristik Pasang Surut .....	11
B. Karakteristik Arus Perairan .....	20
<b>BAB 4 POLA ANGIN MUSIM .....</b>	<b>25</b>
<b>BAB 5 KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT.....</b>	<b>31</b>
<b>BAB 6 KENAIKAN PERMUKAAN LAUT</b>	
<b>PANTAI UTARA PAPUA .....</b>	<b>41</b>
A. Kecenderungan Kenaika Permukaan Laut	
Pantai Utara Papua .....	41
B. Dampak Kenaikan Muka Laut Terhadap	
Habitat Peneluran Peye Hijau .....	48
<b>BAB 7 KUALITAS PERAIRAN PIAI-PANTAI</b>	
<b>UTARA PAPUA .....</b>	<b>57</b>
A. Kecerahan .....	57
B. Suhu Perairan .....	58
C. Derajat Keasaman (pH) .....	63
D. Salinitas .....	64
E. Oksigen Terlarut (DO) .....	66
<b>BAB 8 PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI</b>	
<b>PIAI .....</b>	<b>69</b>



<b>BAB 9 TRANSPOR SEDIMEN .....</b>	<b>79</b>
A. Karakteristik Sedimen Pasir .....	79
B. Transpor Sedimen Oleh Gelombang .....	84
C. Transpor Bedload .....	89
D. Transpor Sedimen Tersuspensi 9.....	0
E. Volume Sedimen Transpor .....	91
<b>BAB 9 REKAYASA PERLINDUNGAN PANTAI .....</b>	<b>95</b>
A. Rekayasa Breakwater .....	96
B. Pembentukan Formasi Salien dan Tombolo.....	98
C. Verifikasi Hasil Model .....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>105</b>

## Daftar Tabel

Tabel 1 Nilai morfometri pantai Pulau Piai .....	9
Tabel 2 Nilai morfometri pantai Pulau Piai .....	9
Tabel 3 Komponen Pasang Surut Perairan Kepulauan Piai .....	13
Tabel 4 Kedudukan Rentang Pasut Perairan Piai Periode Januari/Desember .....	19
Tabel 5 Tinggi Gelombang Signifikan .....	37
Tabel 6 Potensi rendaman pantai peneluran terhadap kenaikan muka laut .....	51
Tabel 7 Perubahan garis pantai Piai rata-rata periode 2015-2020 .....	76
Tabel 8 Proporsi pasir berdasarkan ukuran pasir .....	81
Tabel 9 Analisis pasir berdasarkan perhitungan statistika .....	83
Tabel 10 Parameter Transpor Sedimen .....	88

# Daftar Gambar

Gambar 1	Diagram Alir Penyelesaian Penelitian .....	4
Gambar 2	Fokus daerah (kotak merah) kepulauan PIAI pantai utara Papua .....	8
Gambar 3	Elevasi Permukaan Laut Kondisi Pasang Tinggi Tertinggi .....	15
Gambar 4	Elevasi Permukaan Laut Kondisi Surut Rendah Terendah .....	16
Gambar 5	Elevasi Permukaan Laut Kondisi Slack Water .....	17
Gambar 6	Verifikasi pola pasut hasil Hasil Pengamatan Lapangan dan Data TMD perairan Piai .....	17
Gambar 7	Pola Pasut Perairan Piai Periode Mei-Juli .....	18
Gambar 8	Komponen Kecepatan Arus (a) Zonal Utara Selatan (b) Meridional Timur Barat (c) Arus Total Perairan Utara Raja Ampat (p. Piai) .....	23
Gambar 9	Pola Arus Pasut Perairan Utara Raja Ampat Kondisi Purnama Saat (a) Pasang Menuju Surut (b) Surut Menuju Pasang .....	24
Gambar 10	Mawar Angin Pulau Piai periode musim peralihan I (maret - mei 2009) .....	27
Gambar 11	Mawar Angin Pulau Piai periode musim Timur (juni - agustus 2009) .....	28
Gambar 12	Mawar Angin Pulau Piai periode musim peralihan II (sept - Nov 2009) .....	28
Gambar 13	Mawar Angin Pulau Piai periode musim Barat (des 2009 - feb 2010) .....	29
Gambar 14	Tinggi Gelombang Perairan Musim Timur (juni-agustus 2015) .....	39
Gambar 15	Tinggi Gelombang Perairan Peralihan II (September-November 2015) .....	39
Gambar 16	Tinggi Gelombang Perairan Musim Barat .....	40
Gambar 17	Tinggi Gelombang Perairan Musim Peralihan .....	40
Gambar 18	Skala kenaikan muka laut di Pulau Piai periode 1993-2015 (Altimetri, 2015). .....	46
Gambar 19	Trend kenaikan muka laut di Pulau Piai .....	46
Gambar 20	Kemunduran garis pantai dan Laju Rendaman terhadap Sarang Penyu Hijau .....	54

Gambar 21	Potensi rendaman akibat kenaikan muka laut di pantai Pulau Piai berdasarkan skenario IPCC (0.18, 0.35, 0.59, 0.79 meter/tahun) .....	55
Gambar 22	Fluktuasi Suhu Perairan Berdasarkan Waktu Pengamatan .....	60
Gambar 23	Pola Distribusi SPL Mingguan Perairan Utara Raja Ampat (P. Piai dan P. Sayang) Periode September 2013. ....	62
Gambar 24	Perubahan pH Perairan Utara Raja Ampat	63
Gambar 25	Peta Sebaran pH Perairan Utara Raja Ampat meliputi Pulau Piai, Pulau Sayang dan Pulau Cas. ....	64
Gambar 26	Perubahan Salinitas Perairan Utara Raja Ampat .....	65
Gambar 27	Peta Sebaran Salinitas Perairan Utara Raja Ampat Pulau Piai, Pulau Sayang dan Pulau Cas .....	66
Gambar 28	Kandungan Oksigen Terlarut Perairan Utara Raja Ampat .....	68
Gambar 29	Peta Sebaran Oksigen Terlarut Perairan Utara Raja Ampat Pulau Piai, Pulau Sayang dan Pulau Cas .....	68
Gambar 30	Perubahan Garis Pantai akibat (a) Breakwater tidak terendam (b) Breakwater terendam (Sumber :Hung et al, 2008) .....	70
Gambar 31	Sketsa pantai dengan breakwater dan terjadi kesetimbangan akibat adanya breakwater. (Sumber :González et al, 1999) .....	71
Gambar 32	Sketsa variabel pembentukan salien dan tombolo (sumber : Klein. et al, 2002) .....	72
Gambar 33	Proses Pembentukan Pantai Oleh Gelombang (Triadmodjo, 1999) 7.....	4
Gambar 34	Simulasi Perubahan Garis Pantai pantai PIAI periode 2014-2030 .....	76
Gambar 35	Prediksi perubahan garis pantai Pulau Piai periode tahun 2015-2020 .....	77
Gambar 36	Proporsi sebaran ukuran pasir pada stasiun pengamatan sebagai representasi profil pasir di pantai Piai .....	80
Gambar 37	Proporsi sebaran ukuran pasir pada stasiun berdasarkan ukuran di pantai Piai .....	81

Gambar 38 Ukuran pasir (d50) di pantai Piai .....	82
Gambar 39 Distribusi butiran sedimen pada pantai Pulau Piai .....	84
Gambar 30 Akumulasi Total sedimen transpor pada perairan P. Piai .....	93
Gambar 31 Pola sebaran sedimen transpor pada perairan P. Piai .....	93
Gambar 32 Desain Rekayasa Breakwater .....	97
Gambar 33 Simulasi Pembentukan Salien pantai Piai Periode 2014 2025 .....	99
Gambar 34 simulasi Pembentukan Tombolo Pantai Piai Periode 2014-2050 .....	100
Gambar 35 Kondisi Pulau Piai pada Tahun 2013 dan 2016 .....	102
Gambar 36 Perkembangan Garis Pantai di Belakang Breakatwer .....	102
Gambar 37 Peta Pembentukan Salien periode 2018-2020.....	103

## PENDAHULUAN

---

Pulau Piai merupakan pulau terluar yang berada di bagian utara Raja Ampat Papua Barat. Mengingat posisinya berada pada bagian terluar wilayah dan berhadapan langsung dengan Samudra Pasifik Utara mengakibatkan pulau Piai rentan terhadap perubahan morfologi pantai bahkan bukan tidak mungkin tenggelam suatu saat nanti. Aktivitas gelombang, arus dan kenaikan permukaan laut turut memberikan peran terhadap perubahan morfologi pulau, perubahan garis pantai dan sedimentasi. Berdasarkan pengamatan bahwa pola garis pantai berfluktuasi mengikuti musim akibat adanya arus menyusur pantai. Aspek ekologi diketahui pulau Piai memberikan peran sebagai tempat peneluran penyu Hijau (*Chelonia mydas*). Pulau Piai yang secara administratif berada di kabupaten Kepulauan Raja Ampat Distrik Waigeo Barat selain sebagai daerah peneluran penyu hijau juga terdapat ekosistem hutan dan ekosistem laut dengan karakteristik yang khas.

Kelestarian penyu hijau pulau Piai dipengaruhi oleh kondisi iklim dan kondisi hidrooseanografi perairannya. Selain itu penyu hijau (*Chelonia mydas*) berdasarkan SK yang dikeluarkan oleh Menteri Kelautan dan Perikanan Tahun 2009, Pulau Piai merupakan salah satu pulau yang masuk dalam Kawasan Konservasi Perairan Nasional (KKP).

Melihat fakta yang ada perlu melihat aspek yang lain dari segi karakteristik perairan dalam menjamin kelestarian penyusut hijau karena dinamika pantai, kondisi habitat, kondisi perairan yang baik tentu akan lebih menjamin keberadaan penyusut hijau di pulau Piai. Aspek hidro oseanografi seperti hampasan ombak, gelombang dan arus menyusut pantai memberikan dampak terhadap dinamika pantai.

Dinamika pantai ini mengakibatkan masalah baru disekitar pantai seperti erosi pantai dan sedimentasi menimbulkan dampak terganggunya keseimbangan pantai. Proses dinamis pantai dipengaruhi oleh transpor sedimen disekitar pantai akibat gelombang dan pecahnya gelombang. Dengan demikian perubahan morfologi pantai akan ditentukan oleh selisih nilai transpor sedimen yang masuk dan meninggalkan pantai. Salah satu solusi untuk mengatasi efek dinamika pantai yang merugikan seperti erosi pantai yaitu membangun struktur perlindungan pantai seperti jetty dan breakwater bertujuan untuk meredam energi gelombang dan menahan sedimen.

Pilkey dan Cooper, 2002 melakukan penelitian perubahan morfologi pantai dan menyatakan pola morfologi pantai dan perubahan garis pantai sangat ditentukan oleh gelombang yang terjadi dan letak struktur breakwater serta energi gelombang merupakan faktor potensial yang berkontribusi dalam transpor sedimen. Gonzales. *et al* (1999) menganalisis perubahan fluks energi gelombang akibat struktur breakwater untuk menemukan letak garis pantai dari suatu *perched beach* yaitu disipasi dan refleksi gelombang. Hung. *et al* (2008) membuat model perubahan morfologi pantai dibelakang struktur breakwater terendam.

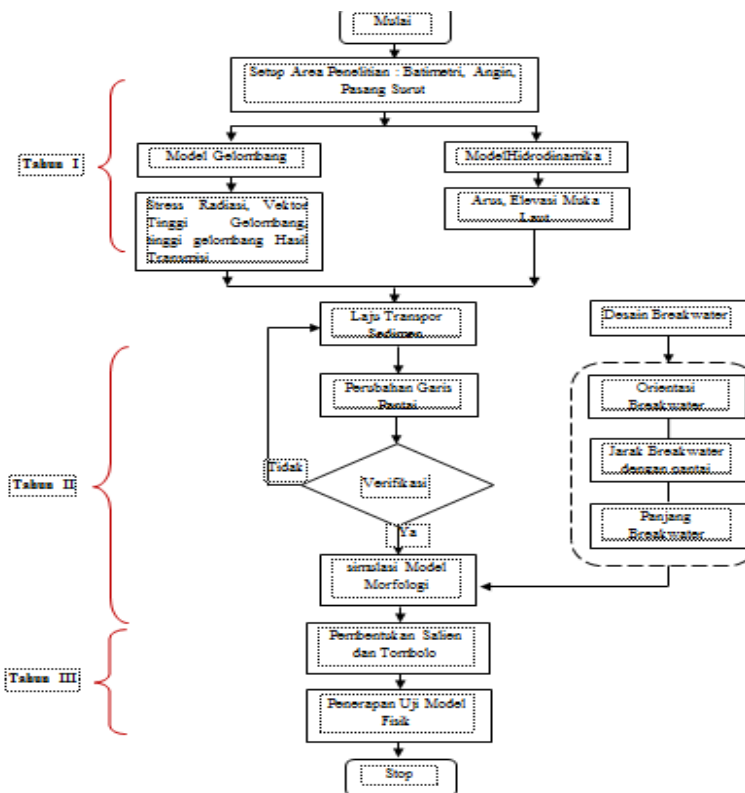
Perhitungan medan gelombang pada struktur breakwater di dasarkan pada kemiringan lereng dengan memperhatikan sifat pori struktur breakwater dan nilai perubahan garis pantai dihitung berdasarkan volume sedimen yang di transportkan dan diendapkan.

Tarigan, 2007. Melakukan penelitian menggunakan aplikasi citra Lansat terhadap perubahan morfologi garis pantai dan menyatakan bahwa perubahan morfologi pantai di sepanjang pantai terdapat daerah mengalami penambahan pantai (akresi) dan beberapa daerah mengalami pengurangan pantai (abrasi). Perubahan ini diduga disebabkan oleh fenomena arus dan gelombang besar. Beberapa solusi yang bisa dilakukan untuk mengatasi perubahan morfologi pantai yang merugikan dapat didekati dengan membangun struktur pelindung pantai seperti pemecah gelombang. Adaptasi teknologi khususnya terhadap struktur pemecah gelombang (LCB) atau Low-Crested Breakwaters. Keunggulan LCB antara lain mampu mengurangi dampak estetika, lebih murah, sirkulasi perairan yang lebih baik yang memungkinkan meningkatnya kualitas air dan produktivitas biologi, dan mengurangi efek hambatan terhadap angkutan sediment (Kularatne et al, 2008 dalam Azhar, 2011). Dengan berkurangnya energi gelombang di daerah bayangan pemecah gelombang, maka transportasi sedimen di daerah tersebut berkurang dan terjadi pengendapan.

Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan model yang menggambarkan perubahan morfologi pantai yang terjadi pada perairan Pulau Piai. Melakukan verifikasi antara hasil model dengan kondisi yang sebenarnya. Setelah



mengetahui besaran perubahan morfologi perairan Piai selanjut didekati dengan penerapan teknologi penyelesaian dan penerapatan teknologi perlindungan pantai. Dengan demikian pada penelitian perlu untuk menelaah dan menganalisis faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi perubahan morfologi pantai, khususnya pantai pulau-pulau terluar.



**Gambar 1**  
Diagram Alir Penyelesaian Penelitian

# Bab 2

## DESKRIPSI PULAU PIAI PANTAI UTARA PAPUA

---

Pulau Piai merupakan satu dari ratusan pulau terluar yang ada di kepulauan Raja Ampat bagian utara. Secara geografis terletak pada koordinat  $00^{\circ} 20' - 00^{\circ} 16' \text{ LU}$  dan  $129^{\circ} 53' - 129^{\circ} 50' \text{ BT}$  dengan luasan  $94 \text{ km}^2$ . Batas geografis kepulauan Piai bagian utara berbatasan dengan Laut Pasifik, selatan berbatasan dengan Pulau Sayang, sebelah barat berbatasan dengan Laut Halmahera dan sebelah timur berbatasan dengan Waigeo Utara dan Kepulauan Ayau (Ballamu 2009). Posisi yang berada di bagian terluar sangat mendukung untuk kehidupan bagi spesies penyu dan vegetasi serta jauh dari gangguan manusia.

Secara ekologi pantai pulau Piai berperan sebagai tempat peneluran penyu dari kelompok Chelonia. Sementara karakteristik vegetasi yang tumbuh masih sangat natural, hal ini ditandai dengan keanekaragaman jenis flora dan fauna yang cukup beragam. Hasil pemantauan selain jenis penyu ditemukan beberapa hewan asosiasi yaitu burung Maleo (*Macrochepalon maleo*), Nuri (*Aprosmictus*) dan Biawak (*Varanus*) dan vegetasi pantai yang teridentifikasi di pantai Piai yaitu jenis vegetasi pandanus, pohon kasuari, pohon uvulen, jenis baringtonia, ketapang pantai dan formasi pescapre yang menyusun pantai pulau

tersebut. Pantai pulau Piai dijadikan sebagai pantai indeks dalam program konservasi penyu di pesisir Raja Ampat bagian utara. Pulau Piai dijadikan sebagai kawasan konservasi dengan Yayasan Penyu Papua (YPP) diberikan wewenang untuk mengelola melalui program konservasi penyu. Sebagai daerah konservasi beberapa upaya yang dilakukan untuk melindungi pantai dan ekosistemnya dengan melakukan pemantauan terhadap ekosistem pantai dan morfologi pantai.

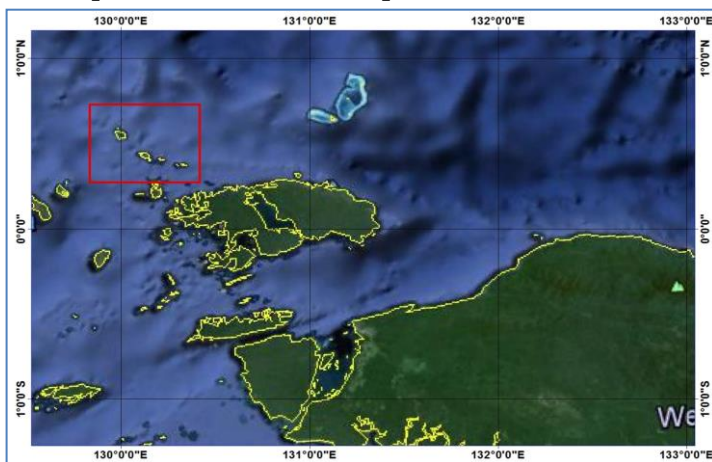
Hasil pengamatan dan pengukuran morfologi pantai Piai di bagi dalam beberapa stasiun pengamatan seperti terdapat pada (tabel 1 dan tabel 2). Terjadi perubahan morfologi yang cukup signifikan dari segi perubahan kemiringan pantai. Perubahan keterjalan pantai adalah indikator yang berkaitan dengan daerah pembentukan zona gelombang. Secara umum hal ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan oseanografi, hal ini di perlihatkan dengan perbedaan morfologi pantai yang akan terjadi ketika musim timuran dan musim baratan, kondisi ini turut mempengaruhi perubahan elevasi dan kemiringan pantai. Kemiringan pantai pulau Piai hasil pengukuran menunjukkan pantai dengan kategori landai hingga agak curam dengan kemiringan rata-rata 8 derajat hingga 15 derajat. Pantai dengan karakteristik agak curam, ini disebabkan oleh adanya aktivitas gelombang yang relatif lebih besar (tabel 1 dan tabel 2). Periode ini terjadi perubahan yang cukup signifikan yang awalnya pantai landai berubah menjadi curam, hal ini disebabkan oleh gerakan arus dan gelombang.

Tabel ini menjelaskan bahwa perubahan morfologi pantai cenderung berfluktuatif berdasarkan musim oleh faktor gelombang, arus perairan dan keterpaparan pantai terhadap datangnya gelombang. Terlihat bahwa dari 4 stasiun pengamatan semua sisi cenderung terpapar terhadap gelombang menyebabkan pengangkutan sedimen dari daratan kearah laut cukup tinggi menimbulkan kemiringan pantai berada pada posisi curam. Posisi pantai yang relatif terlindung dari gerusan gelombang cenderung memiliki pantai terbentuk landai.

Posisi perairan pulau Piai merupakan pulau terluar dibagian utara raja ampat papua barat dan berhadapan langsung dengan samudra pasifik sehingga sifat perairan dan massa air yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh sifat massa air pasifik. Dengan demikian perairan pulau Piai memiliki karakteristik hidrooseangrafi perairan yang hampir sama dengan karakteristik samudra Pasifik dengan arus kuat dan gelombang yang relatif besar. Kondisi demikian akan mempengaruhi karakteristik morfologi batimetri perairan mulai dari landai hingga curam dengan kedalaman mencapai ribuan meter yaitu 1.098 meter dengan rata-rata kedalaman mencapai 200-an meter. Selain itu profil batimetri perairan pulau Piai sangat dipengaruhi oleh kondisi dan sifat perairan seperti tahanan terhadap erosi, ukuran dan bentuk partikel penyusun dasar perairan serta kondisi hidrodinamika perairan diantaranya pola arus perairan dan gelombang. Umumnya kondisi batimetri perairan memiliki kedalaman yang meningkat ke arah lautan, demikian juga dengan perairan pulau Piai yaitu kedalaman mencapai ratusan hingga ribuan meter.

Garis kontur kedalaman yang renggang menunjukkan dasar perairan yang hampir rata atau landai sementara garis kontur yang padat menunjukkan terjadinya degradasi kedalaman yang makin curam. Nampak bahwa kelandaian kontur batimetri perairan utara raja ampat mencapai  $6^\circ$  hingga  $10^\circ$ .

Data batimetri diperlukan untuk mengetahui keadaan kedalaman suatu perairan. Selain itu pengukuran batimetri diperlukan untuk mengetahui profil dasar perairan dalam hal ini adalah perairan Piai dan perairan pulau Sayang. Gambar 2. Memperlihatkan kontur kedalaman perairan antara 123 m - 1.098 m. Nampak bahwa pantai pulau Piai adalah pantai yang landai dengan kemiringan rata-rata antara  $6^\circ$  -  $10^\circ$ , selain itu juga kelandaian kontur batimetri nampak dari tipe gelombang pecah yang terjadi yaitu dominan pecah sebelum tiba di pantai.



**Gambar 2**  
Fokus daerah (kotak merah) kepulauan  
PIAI pantai utara Papua

**Tabel 1**  
 Nilai morfometri pantai Pulau Piai

Stasiun	Patok	Morfometri Pantai			Kategori
		Kemiringan (°)	Elevasi (m)	Lebar (m)	
1	1	8.82	235	18.7	Landai
	6	9.41	245	16.15	Landai
	8	9.95	259	12.1	Landai
2	17	11.31	295	40.2	Landai
	22	8.92	267	25.43	Landai
	26	5.55	157	18.81	Landai
3	41	14.29	188	7.21	Landai
	47	11.25	223	16.76	Landai
	53	9.04	131	9.39	Landai
4	59	15.48	188	6.76	Agak Curam
	60	15.33	270	10.22	Agak Curam

**Tabel 2**  
 Nilai morfometri pantai Pulau Piai

Stasiun	Patok	Morfometri Pantai			Kategori
		Elevasi (m)	Kemiringan (%)	Lebar (m)	
1	1-8	2.45	16.54	15.65	Curam
2	10-18	3.12	21.19	28.83	Curam
	19-27	2.35	13.83	28.87	Landai
3	41-45	2.36	17.4	14.7	Curam
	45-53	1.74	23.42	7.36	Curam
4	59-60	2.00	17.74	14.68	Curam







# Bab 3

## KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI PANTAI UTARA PAPUA

---

### A. Karakteristik Pasang Surut

Pasang-surut selanjutnya disebut pasut merupakan salah satu gejala alam yang tampak nyata di laut, yakni suatu gerakan vertikal (naik turunnya air laut secara teratur) dari seluruh partikel massa air laut di badan perairan. Gerakan tersebut disebabkan oleh pengaruh tarik menarik atau gravitasi antara bumi, bulan dan matahari terhadap massa air lautan. Besarnya pasut yang terbentuk selalu berubah, hal ini disebabkan oleh posisi bulan dan bumi yang juga berotasi dan berevolusi pada bidang orbitnya.

Pasut purnama (spring tides) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari berada dalam suatu garis lurus. Pada saat itu, akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah, karena kombinasi gaya tarik dari matahari dan bulan bekerja saling menguatkan. Pasut purnama ini terjadi dua kali setiap bulan, yakni pada saat bulan baru dan bulan purnama (full moon). Sedangkan pasut perbani (neap tides) terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus, yakni saat bulan membentuk sudut  $90^\circ$  dengan bumi. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan surut rendah.

Pasut perbani ini terjadi dua kali, yaitu pada saat bulan  $1/4$  dan  $3/4$ .

Periode pasut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit. Tipe pasut ini penting diketahui untuk studi lingkungan, mengingat bila di suatu lokasi dengan tipe pasut harian tunggal atau campuran condong harian tunggal terjadi pencemaran, maka dalam waktu kurang dari 24 jam, pencemar diharapkan akan tersapu bersih dari lokasi. Berbeda dengan lokasi dengan tipe harian ganda, atau tipe campuran condong harian ganda, maka pencemar tidak akan segera tergelontor keluar. Pengaruh pasut terhadap sifat fisik wilayah pantai dapat menimbulkan perubahan morfologi akibat gelombang dan arus pasut yang ditimbulkannya.

Genangan di wilayah pantai berdampak pada berkurangnya luasan pantai. Pada suatu kondisi jika terjadi subsiden di daerah pesisir dapat menciptakan genangan yang permanen. Variasi harian dari rentang pasut berubah secara sistematis terhadap siklus bulan. Rentang pasut juga bergantung pada bentuk perairan dan konfigurasi lantai Samudra. Pasut di berbagai lokasi mempunyai ciri yang berbeda karena dipengaruhi oleh topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk dan sebagainya.

Gambar 3. Memperlihatkan hasil verifikasi pasut hasil simulasi model dengan data Tidal Model Driver di daerah perairan kepulauan Piai, selain itu untuk lebih meyakinkan kevalidan hasil model dilakukan verifikasi antara hasil model dengan pengamatan lapangan. Hasil verifikasi menunjukkan pola yang hampir sama dan

sesesuaian yang cukup baik yaitu keseuaian pola pasutnya maupun nilai error yang sangat kecil yaitu rata-rata error 0,1 cm.

Analisis admiralty yang dilakukan diperoleh nilai bilangan Fhormzal 0.314, nilai ini mendeskripsikan bahwa pola pasang surut yang terbentuk pada perairan kepulauan Piai adalah Campuran Condong Semidiurnal hal ini berarti bahwa pasang surut yang terbentuk dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari dan terkadang satu kali pasang dua kali surut dan atau sebaliknya dua kali pasang satu kali surut dalam sehari dengan tinggi pasang pertama dan tinggi pasang kedua memiliki ketinggian yang berbeda. Tipe pasut yang ini tercermin pada tabel 3. Kedudukan Rentang Pasut Perairan Piai Periode Januari s/d Desember 2015 yaitu antara pasang pertama dan pasang berikutnya memiliki waktu dan ketinggian yang berbeda.

Komponen pasang surut ganda oleh gravitasi matahari S2, komponen ganda oleh gravitasi bulan M2 dan komponen ganda oleh bulan dan matahari M4 juga memperlihatkan yang dominan yaitu masing-masing 21.00; 14.04 dan 12.99.

**Tabel 3**  
Komponen Pasang Surut Perairan Kepulauan Piai

Komponen	So	K1	O1	P1	S2	M2	K2	M4	MS4
H(cm)	116,85	0,85	10,13	0,28	21,00	14,04	4,83	12,99	10,44
g(deg)	0,00	192,01	262,82	192,01	7,12	240,92	7,12	325,58	124,96

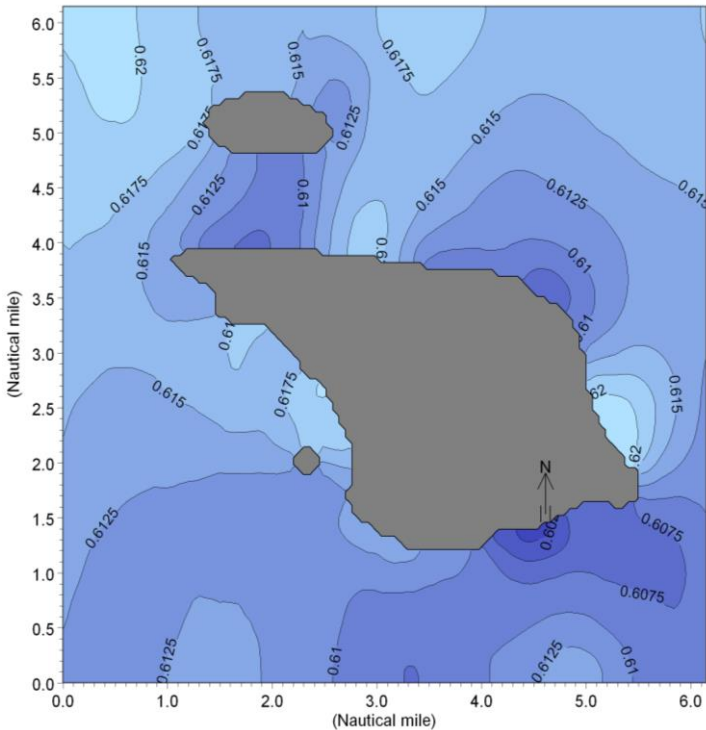
Kedudukan air terendah di bawah MSL dan kedudukan air tertinggi diatas MSL setiap bulannya memiliki ketinggian yang berbeda-beda dan waktu yang

berbeda pula, hal ini disebabkan selain kondisi perairan baik garis pantai dan topografi dasar perairan adalah akibat revolusi bulan terhadap bumi dan revolusi bumi terhadap matahari. Gaya tarik gravitasi menghasilkan pasut yang ditentukan oleh deklinasi, yaitu sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari.

Variasi kisaran tunggang pasut antara 1.00 m pada saat pasang perbani (Neap Tide) hingga 1.72 m saat pasang purnama (Spring Tide). Hasil model yang diplot dalam grafik (gambar 18 dan gambar 19) periode mei-juli 2015 nampak tidak terjadinya ketidaksamaan pasut saat menuju pasang tertinggi dan menuju surut terendah. Rentang waktu yang dibutuhkan dari kondisi surut terendah menuju pasang tertinggi yaitu 6 jam dan hampir sama dengan waktu yang dibutuhkan dari kondisi pasang tertinggi menuju surut terendah (6-7 jam).

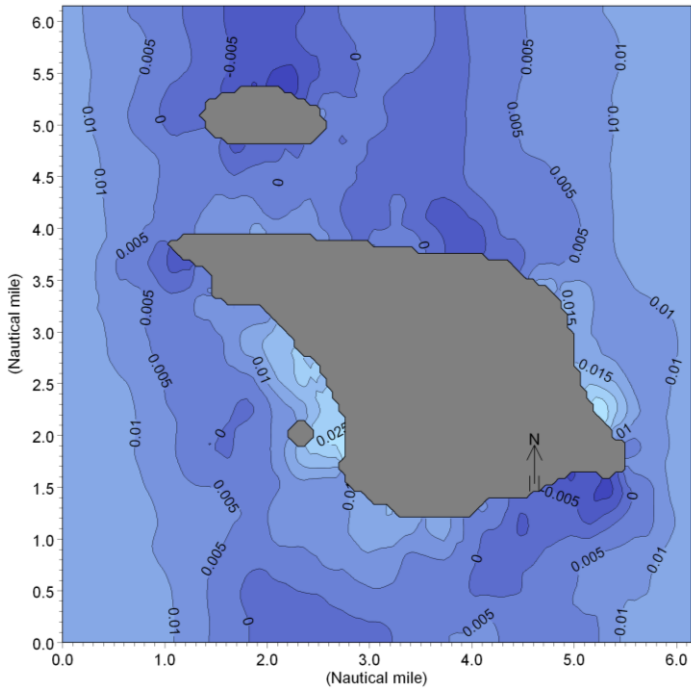
Pasut mempengaruhi seluruh badan perairan yang bisa menghasilkan energi yang besar. Di perairan pantai terutama di teluk atau selat sempit, gerakan naik turunnya muka air akan menimbulkan terjadinya arus pasut. Jika muka air bergerak naik, maka arus mengalir masuk, sedangkan pada saat muka air bergerak turun, arus mengalir keluar. Pengetahuan mengenai pasut sangat diperlukan dalam pembangunan pelabuhan, bangunan pantai dan lepas pantai, serta pengelolaan dan budidaya di wilayah pesisir, pelayaran dan sebagainya. Namun yang paling penting dari pasut adalah energinya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga listrik. Tipe perubahan muka air menunjukkan bahwa genangan

yang disebabkan oleh kenaikan muka air akibat pasut bersifat sementara yaitu dalam periode waktu 24 jam waktu genangan terjadi hanya dua kali dengan lama genangan pertama dan kedua mencapai 12 jam.

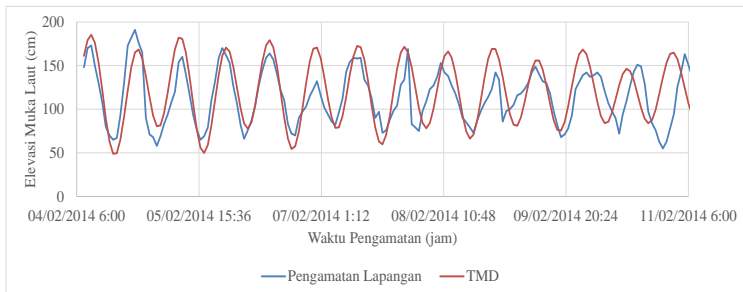


**Gambar 3**  
Elevasi Permukaan Laut Kondisi  
Pasang Tinggi Tertinggi

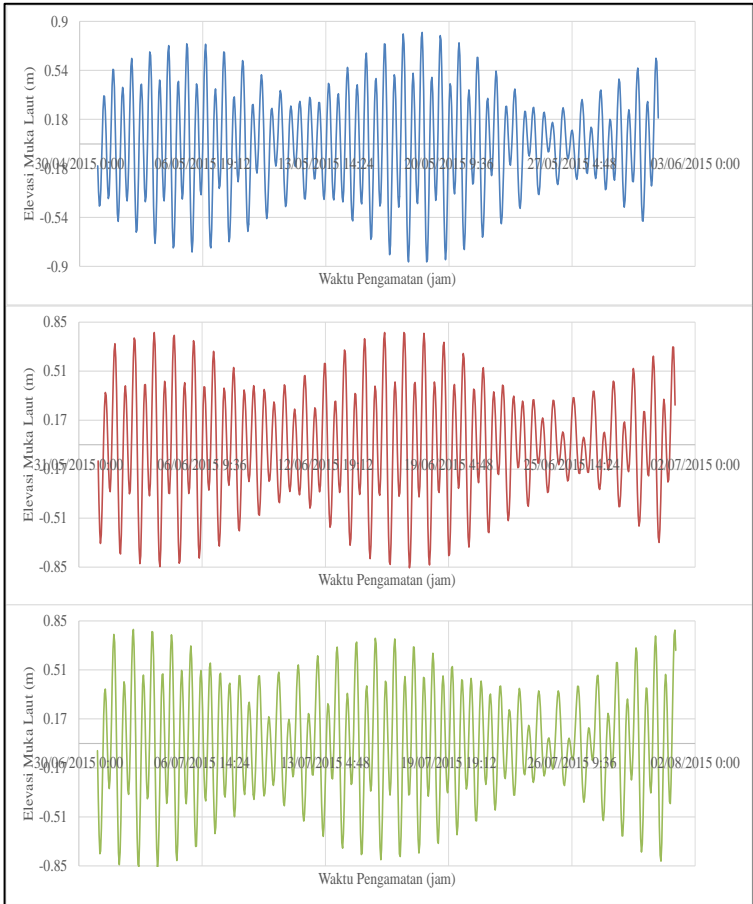




**Gambar 5**  
Elevasi Permukaan Laut Kondisi Slack Water



**Gambar 6**  
Verifikasi pola pasut hasil Hasil Pengamatan Lapangan dan Data TMD perairan Piai



**Gambar 7**  
 Pola Pasut Perairan Piai Periode Mei-Juli



**Tabel 4**  
**Kedudukan Rentang Pasut Perairan Piai Periode**  
**Januaris/Desember**

Bulan	Kondisi Pasut	Tunggang Air	Waktu Terjadinya	Keterangan
		( m )	( Tanggal : Jam )	
Januari	Pasang Maksimum	0.821	21/01/2015 10:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.864	20/01/2015 16:00	
	Rentang Pasut	1.685		
Februari	Pasang Maksimum	0.799	19/02/2015 10:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.808	19/02/2015 16:00	
	Rentang Pasut	1.607		
Maret	Pasang Maksimum	0.764	22/03/2015 23:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.790	22/03/2015 5:00	
	Rentang Pasut	1.554		
April	Pasang Maksimum	0.815	19/04/2015 22:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.849	20/04/2015 5:00	
	Rentang Pasut	1.664		
Mei	Pasang Maksimum	0.819	18/05/2015 22:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.866	19/05/2015 4:00	
	Rentang Pasut	1.684		
Juni	Pasang Maksimum	0.778	15/06/2015 21:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.830	16/06/2015 4:00	
	Rentang Pasut	1.608		
Juli	Pasang Maksimum	0.790	02/07/2015 22:00	bulan baru
	Surut Terendah	-0.855	03/07/2015 5:00	
	Rentang Pasut	1.645		
Agustus	Pasang Maksimum	0.790	01/08/2015 22:00	bulan baru
	Surut Terendah	-0.842	01/08/2015 4:00	
	Rentang Pasut	1.632		
September	Pasang Maksimum	0.785	30/09/2015 11:00	bulan baru
	Surut Terendah	-0.818	30/09/2015 17:00	
	Rentang Pasut	1.603		
Oktober	Pasang Maksimum	0.821	28/10/2015 10:00	bulan baru
	Surut Terendah	-0.879	28/10/2015 16:00	
	Rentang Pasut	1.700		
November	Pasang Maksimum	0.833	27/11/2015 10:00	bulan baru
	Surut Terendah	-0.884	27/11/2015 17:00	
	Rentang Pasut	1.717		
Desember	Pasang Maksimum	0.802	25/12/2015 9:00	bulan Purnama
	Surut Terendah	-0.870	25/12/2015 16:00	
	Rentang Pasut	1.671		

**Sumber :** *Tidal Model Driver (Lat: 0.3408, Lon: 129.8680)*

## B. Karakteristik Arus Perairan

Arus pasut yang terjadi disebabkan gerakan vertikal air yang berhubungan dengan naik dan turunnya paraslaut, gerakan vertikal ini diiringi oleh gerakan air horizontal, gerakan horizontal inilah yang disebut sebagai arus. Pada saat kondisi spring dimana kondisi pasut yang terjadi adalah maksimum diperoleh kecepatan arus maksimum mencapai 20 cm/detik dan kecepatan minimum tidak terdeteksi. Pada saat kondisi pasang massa air menuju pantai yang ditunjukkan oleh meningkatnya permukaan air laut yaitu pada umumnya massa air cenderung bergerak menuju utara selanjutnya menuju barat laut sedangkan pada saat kondisi surut mulai dari menuju surut hingga surut terendah memperlihatkan kondisi sebaliknya yaitu massa air bergerak meninggalkan pantai yang ditunjukkan dengan menurunnya permukaan air laut. Arah pergerakan memperlihatkan massa air bergerak ke selatan selanjutnya ke arah barat daya dan sebagian ke arah tenggara dengan intensitas sama.

Pemisahan komponen arus diperoleh bahwa komponen meridional atau komponen utara-selatan lebih dominan mencapai 5.0 cm/detik jika dibandingkan komponen zonal atau komponen timur-barat mencapai 3.5 cm/detik. Nilai negatif menunjukkan bahwa arus bergerak ke selatan dan nilai positif menunjukkan arus bergerak ke utara demikian juga dengan komponen timur-barat. Fenomena ini merupakan ciri arus pasut selain itu arus cenderung bersifat berkebalikan. Arah aliran berganti dalam arah yang hampir berlawanan, adanya

kondisi dimana kecepatan arus sangat kecil pada saat aliran arus berbalik kondisi ini disebut slack water. Kecepatan arus pasut pada masing-masing arah tersebut bervariasi dari kecepatan nol (tidak terdeteksi) pada saat slack water hingga mencapai kecepatan maksimal pada saat masa air menuju pasang maksimum dan atau menuju surut maksimum.

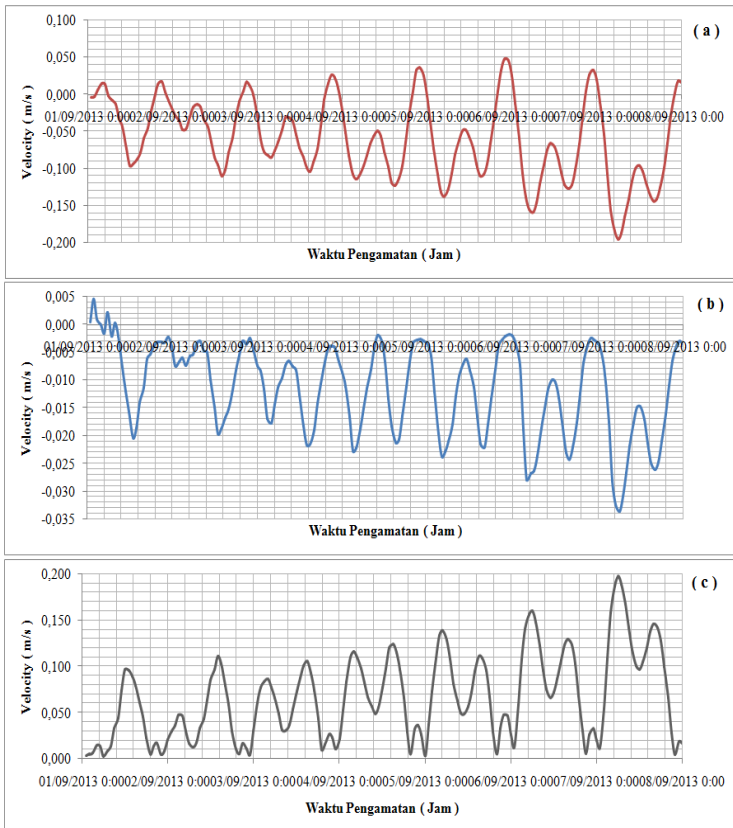
Arus yang bergerak ke arah pantai pada kondisi menuju pasang maupun disaat menuju surut akan membawa massa air dalam pergerakannya, hal demikian menimbulkan arus di dekat pantai pada daerah yang dilintasinya. Pergerakan arus tersebut dapat disertai dengan terangkutnya sumber daya yang ada dalam kolom perairan baik berupa sedimen tersuspensi, zat pencemar maupun biota perairan yang distribusi dan pergerakannya masih dipengaruhi oleh pergerakan massa air seperti plankton. Pola arus baik pada kondisi pasut Purnama (Spring Tide Condition) maupun kondisi pasut Perbani (Neap Tide Condition) menunjukkan pola arus yang konsisten dimana pada saat pasang massa air memasuki perairan pantai yang ditunjukkan oleh naiknya permukaan air laut dan pada saat surut massa air keluar yang diikuti dengan menurunnya permukaan air laut.

Memperlihatkan pola arus pasut pada kondisi Purnama (Spring tide condition) yaitu suatu kondisi dimana kecepatan arus yang terjadi adalah yang maksimum dan umumnya terjadi pada saat bulan purnama dan atau bulan baru. Kuatnya kecepatan arus yang terjadi pada kondisi ini dikarenakan energi pembangkit pasut oleh Bulan dan Matahari saling

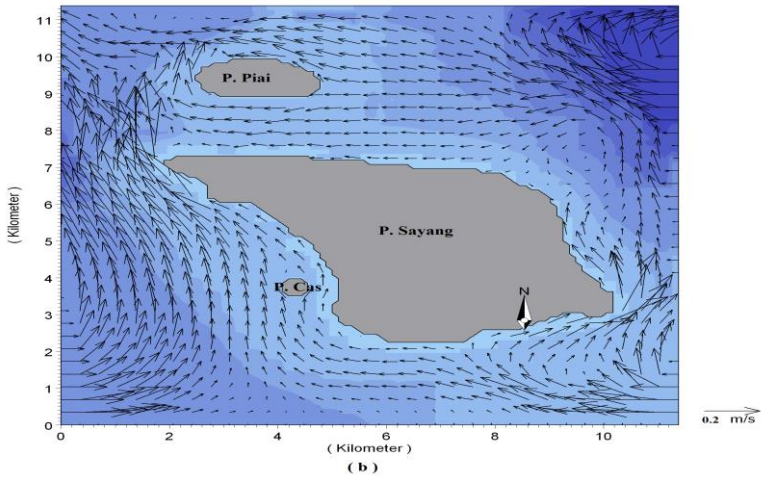
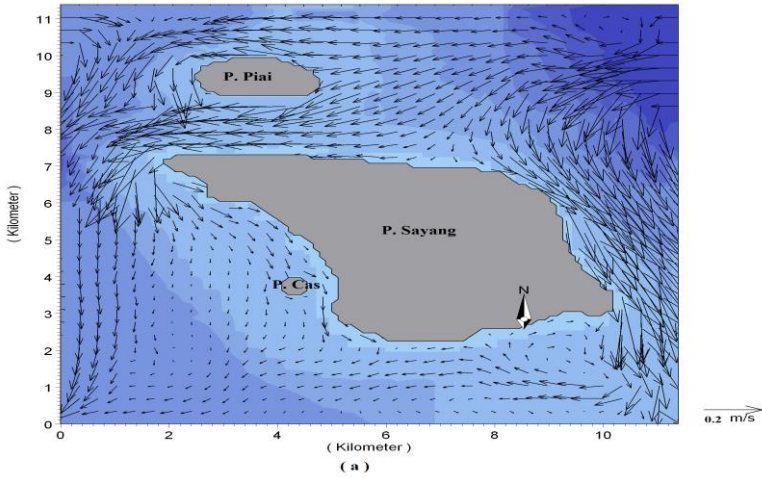
menguatkan sehingga gaya pembangkitnya menjadi maksimum yaitu mencapai rata-rata 20 cm/detik.

Pada saat pasang maksimum, pasang menuju suruthingga kondisi surut terendah nampak bahwa massa air sebagian bergerak ke arah selatan selanjutnya menuju barat daya dan tenggara dengan kecepatan rata-ratakurang dari 20 cm/detik dan pola yang berlawanan ditunjukkan pada saat surut menuju pasang hingga terjadi pasang maksimum nampak bahwa massa air mendekati pantai yang ditunjukkan oleh naiknya permukaan air laut yaitu massa airbergerak ke utara selanjutnya menuju barat laut dengan kecepatan mencapai 20 cm/detik.

Kondisi perbani yaitu pola yang yang ditunjukkan hampir sama dengan kondisi pada saat purnama, akan tetapi kecepatan arus yang tercipta pada saat ini terjadi yang minimum hal ini disebabkan oleh energi pembangkitnya terjadi yang minimum. Kecepatan arus yang terbentuk pada kondisi ini rata-rata mencapai 10 cm/detik baik pada kondisi menuju pasang maupun pada kondisi menuju surut. Perlu ditegaskan bahwa pada kondisi perbani dan kondisi purnama sama-sama terjadi pasang dan terjadi surut hanya saja terjadi perbedaan magnitudo yang dihasilkan hal ini disebabkan karena adanya perbedaan energi pembangkit. Pada saat purnama energi pembangkit yang terjadi adalah maksimum sementara pada saat perbani energi pembangkit terjadi yang minimu.



**Gambar 8**  
 Komponen Kecepatan Arus (a) Zonal Utara Selatan (b) Meridional Timur Barat (c) Arus Total Perairan Utara Raja Ampat (p. Piai)



**Gambar 9**

Pola Arus Pasut Perairan Utara Raja Ampat Kondisi Purnama Saat (a) Pasang Menuju Surut (b) Surut Menuju Pasang

# Bab 4

## POLA ANGIN MUSIM

---

**A**ngin berhembus dikarenakan beberapa bagian bumi mendapat lebih banyak panas matahari dibandingkan tempat yang lain. Permukaan laut/daratan yang mendapat panas lebih banyak membuat suhu udara di atasnya naik. Akibatnya udara mengembang dan menjadi lebih ringan, karena lebih ringan dibanding udara disekitarnya menyebabkan udara naik. Proses ini terjadi terus menerus, menimbulkan pergerakan udara (angin). Semakin besar perbedaan tekanan udaranya, semakin besar pula angin yang berhembus.

Ada beberapa sifat angin diantaranya adalah angin musim atau angin monsun. Angin ini membawa uap air karena melewati Samudra pasifik dan atau Samudra hindia, angin ini bergerak dari benua Asia ke benua Australia dan sebaliknya dari benua Australia ke benua Asia. Sistem angin musim inilah yang mengatur kondisi iklim di bumi. Selain angin muson juga terdapat angin lokal yaitu angin yang berhembus setiap hari seperti angin darat dan angin laut. Data arah dan kecepatan angin 6 jam-an diperoleh dengan mendownload data melalui <ftp://ftp.cdcnoaa.gov> kemudian diekstrak untuk memperoleh data arah dan kecepatan angin mewakili empat musim diantara musim peralihan I, musim timur, peralihan II dan musim barat yakni tahun 2009 mulai

dari januari hingga desember 2009 pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut untuk daerah cakupan raja ampat utara tepatnya pulau Piai. Data hasil ekstrak kemudian dianalisis untuk menentukan frekuensi dan persentase kecepatan angin (mawar angin) sebagaimana disajikan pada gambar 10 s/d gambar 13.

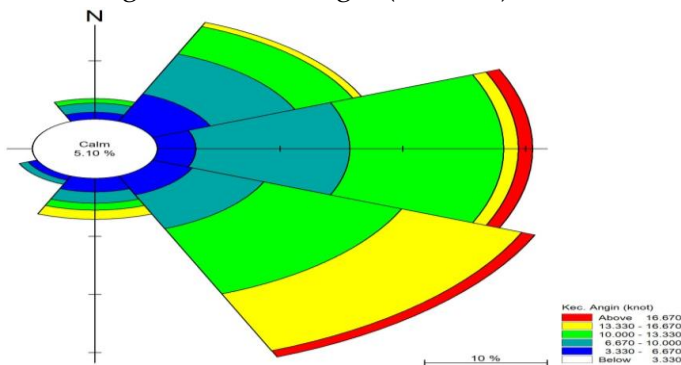
Gambar 10 s/d gambar 13, memperlihatkan pola angin musiman yang ditampilkan dalam bentuk mawar angin. Mawar angin menunjukkan pola pergerakan angin antara bulan januari hingga desember 2009. Mawar angin mendeskripsikan kondisi angin untuk empat kondisi musim angin yaitu musim timur, musim barat dan musim pancaroba mencakup musim pancaroba awal tahun dan musim pancaroba akhir tahun atau dikenal juga dengan musim peralihan I dan peralihan II. Secara umum angin lebih banyak berhembus arah timur, timur laut dan tenggara dengan kecepatan maksimum mencapai 20 knot pada akhir musim timur (1 knot setara dengan 0.515 m/detik). Jika diperhatikan bahwa angin berhembus terkategori calm/sepoi-sepoi hingga kencang dan mampu membangkit gelombang. Akan tetapi secara umum dominan angin bertiup dengan kecepatan rata-rata 13.0 knot.

Arah angin 6 jam-an sebagian besar dari arah timur (39%) timur laut (20%) dan tenggara (20%), kemudian arah barat yaitu barat laut dan barat daya (5.0%). Angin dianggap sebagai faktor pembangkit gelombang permukaan. Angin yang berhembus di atas permukaan laut menimbulkan tegangan pada permukaan laut, di mana semakin lama angin bertiup, semakin besar pula energi yang dapat

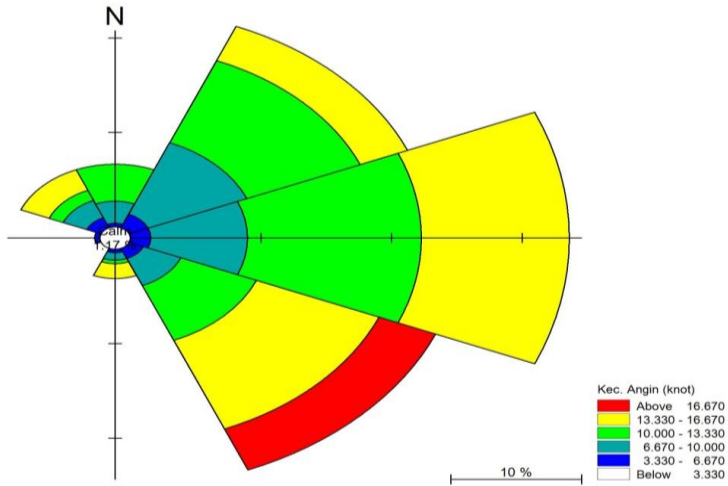


membangkitkan gelombang (Davis, 1991 dalam Darmiati, 2013).

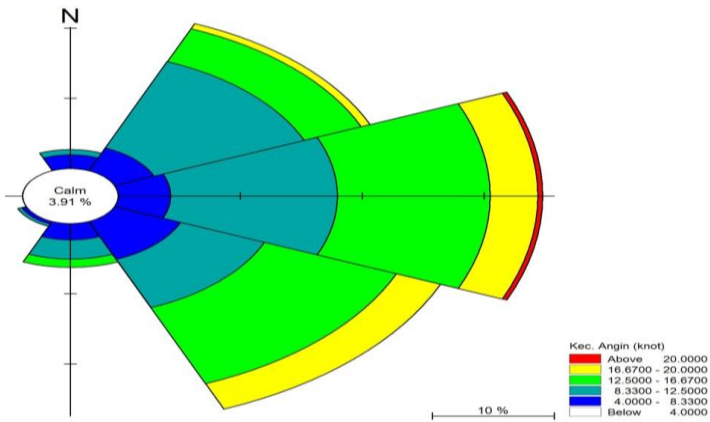
Energi angin merupakan faktor dominan pembangkit gelombang perairan. Berdasarkan skala Beaufort kecepatan angin antara 3-5 m/detik dapat menyebabkan tinggi gelombang sampai 1 meter. Kecepatan angin antara 6-8 m/detik dapat menyebabkan tinggi gelombang 1.5 meter dan kecepatan angin antara 9-11 m/detik tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 2.5 meter, sementara kecepatan angin antara 11-13 m/detik tinggi gelombang maksimum dapat mencapai 4 m. Namun demikian tinggi gelombang tidak hanya ditentukan oleh kecepatan angin akan tetapi luas daerah dimana angin bertiup (fecth) dan periode angin mempengaruhi tinggi gelombang. Dengan demikian tinggi gelombang akan berubah mengikuti musim angin (monsun).



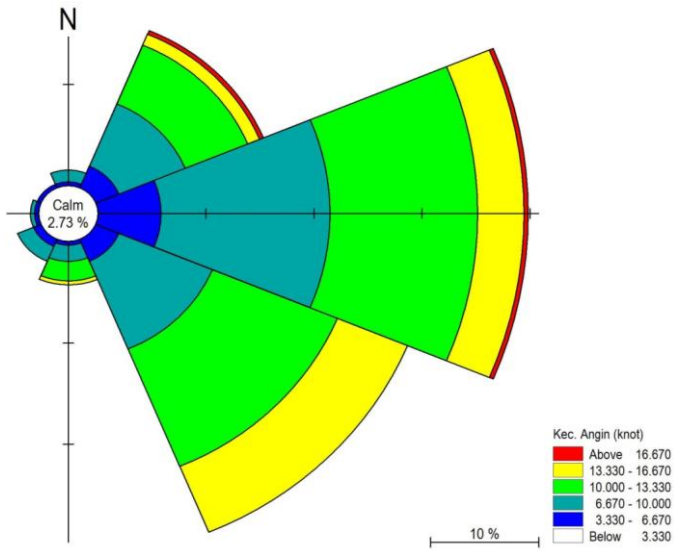
**Gambar 10**  
Mawar Angin Pulau Piai periode musim peralihan I (maret - mei 2009)



**Gambar 11**  
Mawar Angin Pulau Piai periode musim Timur (juni - agustus 2009)



**Gambar 12**  
Mawar Angin Pulau Piai periode musim peralihan II (sept - Nov 2009)



**Gambar 13**  
Mawar Angin Pulau Piai periode musim Barat  
(des 2009 - feb 2010)



# Bab 5

## KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT

---

**M**odel gelombang musiman dilakukan untuk mengetahui fenomena gelombang tahunan yang mempengaruhi perubahan morfologi pantai. Perhitungan medan gelombang ditentukan dengan menggunakan model Nearshore Spectral Wind-Wave (NSW) untuk memperoleh parameter medan gelombang dan stress radiasi. Stres radiasi yang dihasilkan NSW akan di gunakan dalam perhitungan transpor sedimen.

Karakteristik gelombang perairan pulau Piai yang dikaji adalah periode gelombang, frekuensi gelombang dan cepat rambat gelombang perairan. Hasil pengamatan periode gelombang diperoleh 6.10 detik - 15.33 detik dengan frekuensi 0.033 Hz - 0.082 Hz, nilai ini menunjukkan masih dalam kategori gelombang yang dibangkitkan oleh angin. sementara cepat rambat gelombang diamati pada dua titik yang berbeda dengan memperhatikan posisi perairan Piai yaitu perairan bagian selatan dan barat 9.49 m/detik. Besarnya nilai cepat rambat gelombang pada perairan bagian selatan disebabkan oleh bagian selatan posisi perairan memiliki model chanel sehingga energi gelombang dan arus yang melewati bagian ini relatif lebih besar jika dibandingkan dengan bagian barat.

Umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut membentuk sea dan swell. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak membentuk puncak dan lembah gelombang. Dibawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang semakin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan mampu membawa material dasar. Ketika gesekan dan gempuran gelombang menyebabkan terjadi sedimentasi dan erosi serta berdampak pada perubahan profil pantai. Proses pantai merupakan kejadian yang kompleks yang disebabkan oleh berbagai kondisi, baik proses dari daratan maupun lautan. Kondisi perairan selalu dinamis disebabkan oleh musim, demikian juga kondisi gelombang perairan mengikuti musim. Frekuensi gelombang dengan intensitas besar merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perencanaan bangunan pantai seperti pelabuhan.

Energi angin merupakan faktor dominan pembangkit gelombang perairan. Berdasarkan skala Beaufort kecepatan angin antara 3-5 m/detik dapat menyebabkan tinggi gelombang sampai 1 meter. Kecepatan angin antara 6-8 m/detik dapat menyebabkan tinggi gelombang 1.5 meter dan kecepatan angin antara 9-11 m/detik tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 2.5 meter, sementara kecepatan angin antara 11-13 m/detik tinggi gelombang maksimum dapat mencapai 4 m. Namun demikian tinggi gelombang tidak hanya ditentukan oleh kecepatan angin akan tetapi luas daerah dimana angin

bertiup (fecth) dan periode angin mempengaruhi tinggi gelombang. Dengan demikian tinggi gelombang akan berubah mengikuti musim angin (monsun).

Gambar 14. Tinggi gelombang musim Timur yang terjadi sekitar bulan juni-agustus. Pada musim timur pusat tekanan udara rendah yang terjadi diatas Benua Asia dan pusat tekanan udara tinggi diatas Benua Australia menyebabkan angin berhembus dari tenggara menuju barat laut. Di belahan bumi utara khususnya Benua Asia bertemperatur tinggi dan tekanan udara rendah. Sebaliknya di benua Australia yang ditinggalkan matahari, temperature rendah dan tekanan udara tinggi sehingga terjadi pergerakan angin dari Benua Australia ke Benua Asia melalui Indonesia sebagai angin musim timur. Pada bulan Juni, rata-rata tinggi gelombang di perairan utara raja empat 0.80 - 1.60 meter. Gelombang lebih tinggi dari bulan Mei, hal ini disebabkan oleh kecepatan angin yang berhempus lebih besar jika dibandingkan dengan bulan sebelumnya, dimana pada bulan ini angin Monsun Australia bertiup dari Tenggara melintasi wilayah Indonesia menuju ke benua Asia. Secara keseluruhan pada musim timur rata-rata tinggigelombang di perairan utara raja empat khusus perairan Piai nampak seragam dari bulan Juni, Juli dan agustus, yakni berkisar antara 0.80-1.6 meter

Gambar 15. Kondisi gelombang periode September-November disebut musim peralihan II (dua) atau musim pancaroba akhir tahun. Sama halnya dengan musim peralihan I atau pancaroba awal tahun, musim pancaroba akhir tahun juga memiliki pola yang hampir sama yaitu

tinggi gelombang perairan Raja Ampat bagian utara. Pada bulan September, secara umum seluruh perairan rata-rata tinggi gelombang lebih rendah dari musim timur. Nampak bahwa rata-rata tinggi gelombang pada bulan september, oktober dan november tinggi gelombang antara 0.60 - 1.00 meter.

Gambar 16. Musim Barat terjadi pada bulan Desember - pebruari, pada musim barat pusat tekanan udara tertinggi berkembang diatas benua Asia dan pusat tekanan rendah terjadi diatas benua Australia sehingga angin berhembus dari barat laut menuju tenggara melewati perairan Indonesia, dengan demikian dapat dijelaskan bahwa terjadi pergerakan angin dari benua Asia ke benua Australia sebagai angin musim barat. Musim barat umumnya membawa curah hujan yang tinggi karena di dalam perjalanannya melewati Samudra Pasifik dan membawa uap air. Tabel 8 dan Gambar 25, memperlihatkan pengaruh angin terhadap tinggi gelombang signifikan yang terbentuk yaitu kecepatan angin rata-rata pada musim barat 5.08 m/detik - 5.68 mampu membangkitkan gelombang signifikan sebesar 0.75 m - 1.25 m.

Tinggi gelombang signifikan rata-rata pada bulan Desember untuk perairan Raja Ampat utara khususnya perairan Piai antara 0.75-1.00 meter. Rata-rata tinggi gelombang pada bulan Januari mengalami kenaikan dibandingkan dengan bulan Desember, untuk daerah yang berbatasan dengan laut terbuka rata-rata tinggi gelombang antara 0.75-1.25 meter. Pada bulan Februari sebagian besar wilayah perairan Raja Ampat Utara memiliki rata-rata tinggi



gelombang yang besar, yaitu antara 0.80-1.40 meter. Studi yang dilakukan oleh Roni Kurniawan tahun 2011 bahwa di perairan wilayah kepala burung papua dan perairan sekitarnya diperoleh tinggi gelombang tinggi sebesar 1.5-2.5 meter, hal sedikit berbeda diperoleh pada bulan februari 2015 diperoleh hasil model simulasi 0.80 m-1.60 m sedangkan berdasarkan hitungan skala beufort diperoleh tinggi gelombang 1.00 m - 1.50 m. Terjadi perbedaan disebabkan oleh penyederhanaan komponen lingkungan diantaranya besaran gesekan yang harus disesuaikan dengan kondisi alam.

Gambar 18. Memperlihatkan pola gelombang perairan yang dibangkitkan oleh angin. Musim Peralihan terjadi antara bulan Maret-Mei. Musim ini dikenal juga sebagai musim peralihan I (satu) atau musim pancaroba awal tahun dan umumnya kecepatan angin akan lebih lemah jika dibandingkan dengan musim timur atau musim barat, demikian juga dengan tinggi gelombang yang terbaentuk akan lebih rendah. Pada bulan Maret, tinggi gelombang rata-rata menurun dibanding dengan bulan sebelumnya yaitu ketinggian antara 0.40-1.20 meter. Kecepatan angin rata-rata selama bulan Maret ini lebih rendah dibanding bulan sebelumnya yaitu sebesar 4.34 m/detik. Musim pancaroba atau musim peralihan ditandai oleh pola dan arah angin tidak seragam. Pada bulan April, kondisi perairan Raja Ampat bagian utara relatif tenang, gelombang rata-rata antara 0.40-1.20 meter. Sementara pada bulan bulan Mei, perairan Raja Ampat bagian utara mulai

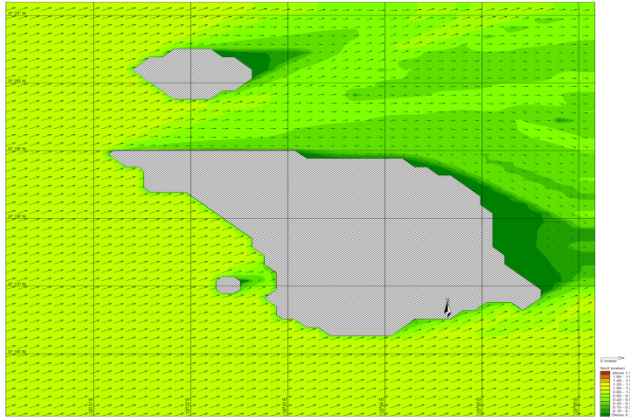
mengalami golakan hal ini karena angin musim timur mulai bertiup.

**Tabel 5**  
Tinggi Gelombang Signifikan

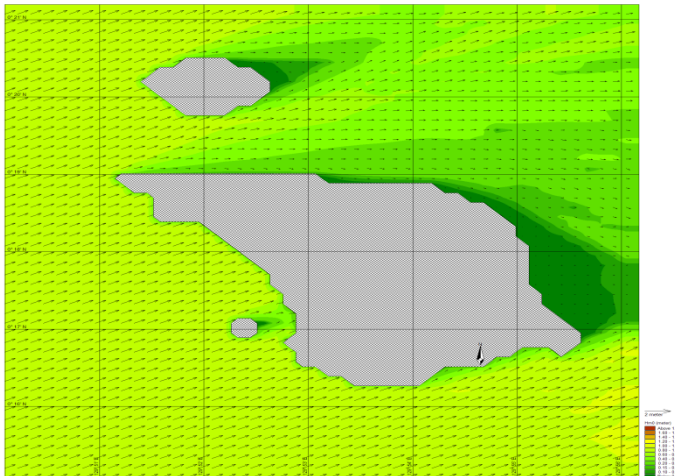
Musim	Bulan	Kec. Angin (m/detik)	Tinggi Gelombang (m)		Keterangan
			Skala Beufort	Hasil Model	
Musim Timur	Jun-15	5.00	$H_s \leq 1.00$	0.80-1.60	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Jul-15	6.01	$1.0 < H_s \leq 1.5$	0.80-1.60	Mulai timbul gelombang, mulai timbul puncak ombak yang memutih
	Agust-15	6.01	$1.0 < H_s \leq 1.5$	0.80-1.60	Mulai timbul gelombang, mulai timbul puncak ombak yang memutih
Musim Peralihan II	Sep-15	5.08	$H_s \leq 1.0$	0.6-1.00	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Okt-15	5.08	$H_s \leq 1.0$	0.6-1.00	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Nop-15	5.08	$H_s \leq 1.0$	0.6-1.00	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
Musim Barat	Des-15	5.08	$1.0 < H_s \leq 1.5$	0.75-1.00	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Jan-16	5.09	$1.0 < H_s \leq 1.5$	0.75-1.25	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Feb-16	5.68	$1.0 < H_s \leq 1.5$	0.8-1.60	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih

Musim Peralihan I	Mar-15	4.34	$H_s \leq 1.0$	0.40-1.20	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Apr-15	4.64	$H_s \leq 1.00$	0.40-1.20	Gelombang kecil dengan puncak yang mulai pecah, menghamburkan buih-buih
	Mei-15	4.97	$H_s \leq 1.5$	0.40-1.20	Mulai timbul gelombang, mulai timbul puncak ombak yang memutih

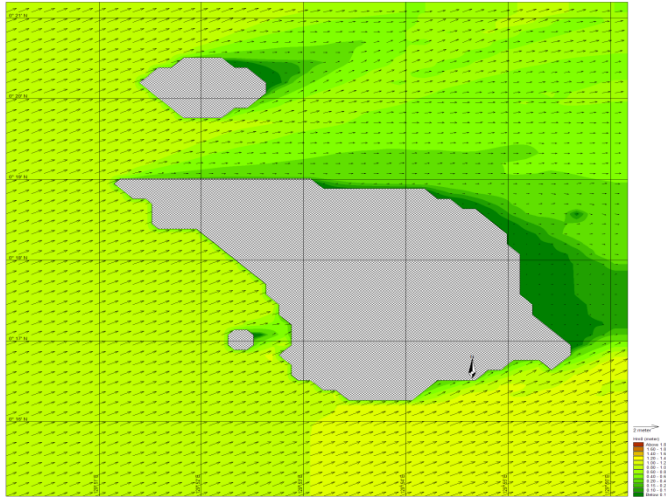
Sumber : *Analisis data NCEP dan Analisis hasil simulasi model*



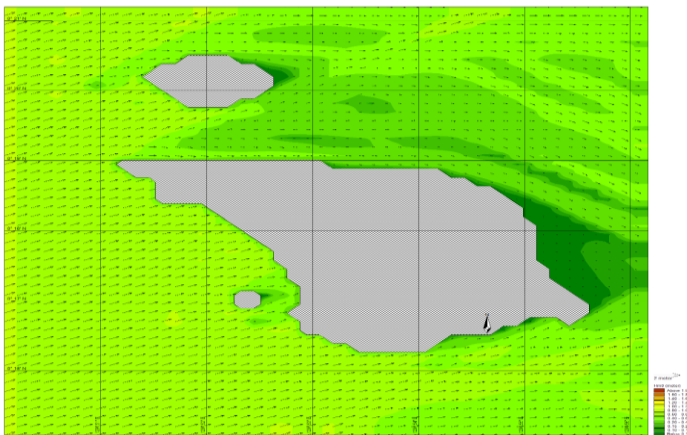
**Gambar 14**  
 Tinggi Gelombang Perairan Musim Timur  
 (juni-agustus 2015)



**Gambar 15**  
 Tinggi Gelombang Perairan Peralihan II  
 (September-November 2015)



**Gambar 16**  
Tinggi Gelombang Perairan Musim Barat



**Gambar 17**  
Tinggi Gelombang Perairan Musim Peralihan I

# Bab 6

## KENAIKAN PERMUKAAN LAUT PANTAI UTARA PAPUA

---

### A. Kecenderungan Kenaikan Permukaan Laut Pantai Utara Papua

Permasalahan yang terjadi di kawasan pesisir Indonesia yang perlu dicermati adalah fenomena kenaikan muka air laut atau *Sea Level Rise* (SLR) sebagai akibat dari pencairan es di kutub karena pemanasan global. Lapisan salju pada daerah tertentu yang menutupi daratan selama 9 bulan dalam setahun dapat mengurangi panas yang diserap oleh daratan. Akibat perubahan iklim, lapisan salju melebur dan daratan akan lebih banyak menyerap panas matahari. Umpan balik dari peleburan lapisan salju tersebut akan meningkatkan pemanasan global. Peningkatan temperatur sebesar 3°C dapat membelah wilayah Pegunungan Alpen di Austria yang tertutup glasier menjelang tahun 2050. Dataran bersuhu 0°C merupakan daratan yang tetap berada pada temperatur 0°C atau dibawahnya, yang terdiri atas es dengan berbagai bentuk mulai dari partikel kecil pori-pori tanah hingga wilayah es yang luas dengan ketebalan beberapa meter. Pemanasan yang cepat mempengaruhi lapisan teratas dataran beku bersuhu 0°C setebal 5 m

yang pada wilayah tertentu akan menghilang dalam beberapa dasawarsa. Namun pencairan dataran beku bersuhu 0oC tersebut secara penuh akan memerlukan waktu berabad-abad (IPCC 2001).

Hasil penelitian IPCC (2001), siklus hidrologi akan terpengaruh oleh kenaikan temperatur akibat perubahan iklim karena laju penguapan air tanah dan kelembaban tanah juga terkena dampak kenaikan temperatur. Sumberdaya air di daerah tandus dan semi tandus sangat peka terhadap perubahan kecil temperatur dan curah hujan. Suatu hasil penelitian di AS menunjukkan kenaikan temperatur 1-2oC dan presipitasi mencapai 10% akan menurunkan ketersediaan air separuh dari semula di daerah tandus dan semi tandus. Pada musim dingin air disimpan dalam bentuk salju dan secara bertahap dilepas pada saat meleleh di musim semi dan panas. Pada bagian bumi yang lebih panas, akan lebih banyak hujan dan sedikit salju. Sungai-sungai menjadi sangat kering di musim panas dan meluap pada waktu musim hujan.

Penyebab kenaikan muka air laut bukan saja karena pemanasan global, menurut Numberi (2009) penyebab kenaikan muka air laut dapat digolongkan dalam tiga faktor, yaitu (a) faktor global, merupakan faktor utama yang sangat rendah terendam; (b) faktor regional, pada umumnya ditimbulkan oleh aktivitas tektonik dalam suatu region; dan (c) faktor lokal, terutama terjadi karena proses subsidensi sebagai akibat perubahan massa tanah



dan perubahan fluida bawah tanah, misalnya oleh pengambilan air tanah yang berlebihan.

Kenaikan Muka Laut merupakan peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh faktor-faktor kompleks. Kenaikan muka laut berasal dari rangkaian proses pasang surut air laut tetapi saat ini semakin tingginya muka air laut bukan lagi hanya karena proses dari pasang surut air laut, tetapi juga pengaruh dari perubahan iklim global. Di Indonesia kenaikan muka laut cukup menghawatirkan terutama bagi daerah pesisir yang memiliki daratan rendah seperti Pantura Jawa, Pantai Timur Sumatra, Kalimantan, Pantai Selatan Sulawesi, serta pulau-pulau kecil berelevasi rendah beresiko rentan (Diposaptono 2009) termasuk pulau terluar di wilayah Papua khusus Raja Ampat bagian utara. Akibat dari kenaikan muka laut adalah penggenangan area daratan, mundurnya garis pantai, hilangnya habitat ekologi bagi beberapa organisme dan masih banyak dampak lain yang menyebabkan kerugian baik secara ekologi, ekonomi dan social.

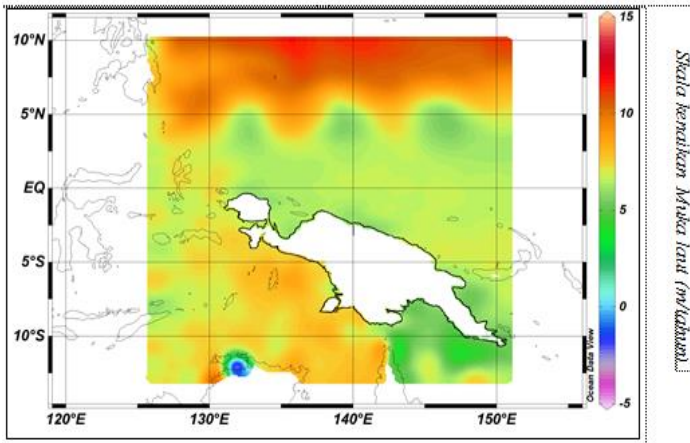
Trend kenaikan muka laut di Indonesia pada umumnya mengikuti pola linear dimana kecenderungan tinggi muka air laut mengalami kenaikan dan penurunan pada periode dua hingga tiga bulan. Kondisi ini disebabkan karena adanya

gerak semu matahari tiap tiga bulan sebagai akibat dari sumbu rotasi bumi yang memiliki kemiringan  $23.5^\circ$  (Dharmawan *et al* 2010). Selain itu, Dharmawan *et al* 2010 menyatakan bahwa pola kenaikan tinggi muka air laut relatif lebih besar terjadi di bagian timur perairan Indonesia yakni pada Samudra Pasifik, Laut Arafuru dan Perairan Halmahera. Kenaikan tinggi muka air laut rata-rata di Laut Arafuru memiliki tingkat kenaikan terbesar yaitu sebesar  $\pm 7.99$  mm. Sedangkan kenaikan tinggi muka air laut rata-rata terendah terjadi di Samudra Hindia dengan kenaikan sebesar  $\pm 0.56$  mm. Kondisi yang sama juga diperkirakan dapat terjadi di Perairan Papua yang secara geografis termasuk dalam kawasan pasifik jika melihat pembagian region satelit Jason.

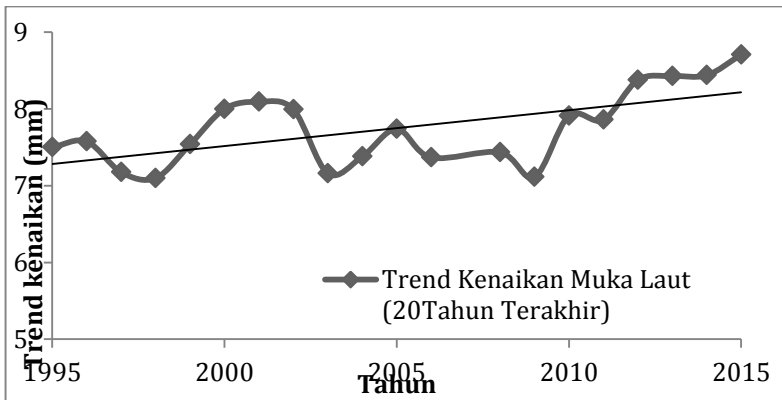
Kecenderungan kenaikan muka laut di Pesisir Utara Papua termasuk Kepulauan Raja Ampat mengikuti pola linier dengan kenaikan muka laut relatif per tahun adalah  $\pm 7.6$  mm. Miler, 2005 menyebutkan Satelit TOPEX/Poseidon dan Jason-1 telah merekam data altimetry sejak tahun 1992 dan menunjukkan kenaikan muka laut  $\pm 2.4$  mm/tahun. Analisis data kenaikan muka laut nampak untuk wilayah Indonesia memiliki proporsi terbesar adalah kawasan timur Indonesia termasuk didalamnya

perairan utara kepala burung papua Raja Ampat. Interpretasi data menunjukkan dalam kurun waktu 20 tahun terakhir rata rata kenaikan muka laut mencapai 7.8 mm dan khusus pada tahun 2015 mencapai 8.7 mm (gambar 9 dan gambar 10). Hal ini tentu memberikan peluang resiko besar terutama bagi pulau pulau kecil yang sebagian besar terdistribusi di Raja Ampat seperti Piai.

Implikasi dari kenaikan muka laut Piai memberikan dampak fungsi ekologi sebagai habitat peneluran penyu dan penurunan indeks ekologi. Beberapa resiko yang diduga dapat terjadi yakni pengurangan area daratan pantai yang berimplikasi hilangnya habitat bertelur bagi penyu, resiko hilangnya pulau Piai jika tidak dilakukan pencegahan maka akan memberikan keterancaman habitat daratan dan fauna asosiasi di pulau tersebut. Kesemua resiko ini dapat terjadi jika tidak ada upaya mitigasi dan adaptasi dari berbagai pihak baik pemerintah maupun stakeholder.



**Gambar 18**  
 Skala kenaikan muka laut di Pulau Piai periode 1993-2015  
 (Altimetri, 2015).



**Gambar 19**  
 Trend kenaikan muka laut di Pulau Piai

## B. Penyebab Kenaikan Muka Laut

SLR diduga disebabkan oleh isu perubahan iklim. Perubahan iklim menyebabkan peningkatan temperatur secara global sehingga memicu fluktuasi curah hujan yang tinggi dan meningkatnya suhu air laut yang menyebabkan terjadinya pemuaiian terhadap volume air laut sehingga massa air laut berubah dan meningkat.

Berdasarkan hasil penelitian IPCC (2001), salah satu penyebab terbesar dalam kenaikan muka air laut adalah peningkatan temperatur air laut. Hal tersebut karena temperatur kedalaman laut berubah secara perlahan sehingga kenaikan temperatur akan terus berlanjut sampai beberapa abad ke depan walaupun konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer stabil. Selain itu, mencairnya glasier pegunungan dan tutupan es juga diprediksikan akan menjadi penyebab utama kenaikan muka air laut.

Selain itu, terdapat pula penyebab SLR yang dikategorikan dalam penyebab jangka panjang. Penyebab jangka panjang dari SLR dapat disebabkan oleh 6 hal berikut ini, namun penyebab ini tidak terjadi di setiap lokasi.

1. Kenaikan eustatis muka air laut dunia
2. Penurunan seismik permukaan tanah

3. Penurunan yang terjadi secara alami akibat adanya konsolidasi atau pemampatan tanah atau sedimen lunak di bawah permukaan
4. Penurunan akibat aktivitas manusia karena adanya pembuatan struktur, pengambilan air tanah, dan ekstraksi minyak dan gas.

### **C. Dampak Kenaikan Muka Laut Terhadap Habitat Peneluran Penyu Hijau**

Dari sudut pandang geografi pesisir, dampak dari kenaikan muka laut terhadap pulau-pulau kecil tergantung pada dua hal, yaitu (1) tingkat kekritisian dari kenaikan muka laut (laju kenaikan pertahun), dan (2) karakteristik daratan pulau dan pesisir, seperti penggunaan lahan, topografi, dan penghalang pantai (Nallathiga 2006). Proyeksi kenaikan muka laut yang diakibatkan oleh pemanasan global akan mengancam wilayah pesisir yang memiliki elevasi rendah (Yamano et al. 2007; Barnett dan Adger 2003). Wilayah yang paling beresiko adalah pulau-pulau karang atau pulau atol, karena umumnya pulau ini memiliki elevasi atau ketinggian dari muka laut yang rendah (Yamano et al. 2007). Kenaikan muka laut ini diprediksi akan menyebabkan perendaman, penenggelaman dan erosi pantai (Leathermen 1997).

Daerah peneluran penyu belimbing terdapat di Pantai Utara Kepala Burung Papua (Bhaskar; 1984 in Soemantri; 1985) adalah Pantai Jamursba Medi sepanjang 17,9 Km, yang terdiri dari Pantai Wembrak sepanjang 7,5 Km, Pantai Batu Rumah sepanjang 4 Km, dan Pantai Warmamedi sepanjang 5,4 Km (Hitipeuw et al 2007). Berdasarkan kondisi ekologis penyu memiliki kriteria pantai untuk dijadikan habitat bertelur yaitu

1. Posisi berada cukup tinggi untuk mencegah terendamnya telur pada saat pasang tertinggi ;
2. Memiliki substrat adalah pasir yang berukuran sedang sampai halus yang berperan dalam proses inkubasi sampai penetasan telur ;
3. Berhadapan dengan lautan lepas atau bebas (Mortimer,1990 in Bolten dan Whiterington,

Dampak dari kenaikan muka air laut terhadap pantai peneluran tergantung pada dua hal yaitu (1) laju kenaikan muka air laut per tahun (2) karakteristik daratan pantai peneluran seperti topografi, bentuk lahan pantai, penghalang pantai (Nallathiga 2006). Wilayah dengan potensi dampak kenaikan muka air laut biasanya pada wilayah pesisir dengan elevasi yang relatif rendah (Yamamo et al. 2007). Potensi perendaman pada pantai peneluran berdampak pada keberhasilan penetasan sarang di daerah batas pasang terendah. Fish et al.

(2005, 2008) in Fuentes et al. (2010) menyatakan bahwa dampak kenaikan muka laut pada pantai timur Amerika Serikat menyebabkan kegagalan sukses penetasan yang berimbas pada penurunan jumlah tukik. Kondisi ini memaksa induk penyu untuk beradaptasi dengan melakukan perubahan bahkan pergeseran tempat bersarang karena habitat pantai tidak lagi tersedia (Hamman et al. 2007). Selain pergeseran lokasi untuk bersarang, kenaikan muka air laut menyebabkan tingginya potensial air laut yang terserap oleh pasir didalam sarang yang mempengaruhi kelembaban dan suhu pasir dalam sarang telur penyu tersebut. Dari kondisi ini maka dua kemungkinan yang bisa diprediksi yaitu kegagalan penetasan dan keberhasilan penetasan akibat perubahan suhu dan kelembaban pasir dalam sarang selama masa inkubasi (Hamman et al. 2007).

Hubungan kenaikan muka laut terhadap penurunan populasi penyu hijau merujuk pada peluang atau potensi limpasan dan rendaman terhadap sarang di pantai peneluran. Indikasi lain adalah kemunduran garis pantai yang menyebabkan erosi sarang ketika posisis sarang berada pada batas pasang terendah. Limpus et al. (2003) in Fuentes et al. (2009) menyatakan bahwa dalam 10 tahun terakhir persentase sukses penetasan



telur Penyu di Reine Island menurun yang diduga disebabkan oleh tingginya proporsi air dalam sarang, adanya proses geomorfik dan kenaikan muka laut diduga berperan dalam frekuensi genangan sarang. Berdasarkan teori ini, maka perlu diketahui potensi rendaman yang terjadi akibat kenaikan muka laut di pesisir utara kepala burung Papua. Potensi rendaman perlu diketahui untuk memprediksi berapa luasan pantai peneluran yang terendam dan seberapa besar resiko terhadap sarang-sarang penyu

Rata rata potensi rendaman sarang yang terjadi di Piai tersaji pada Tabel 5.

**Tabel 6**  
Potensi rendaman pantai peneluran terhadap  
kenaikan muka laut

Variabel	Jarak sarang (m)	Slope (%)	Elevasi (m)	Jarak total kemunduran garis pantai (m)	Kemunduran garis pantai (m)	Laju rendaman (m)
RATA	21.955	10.222	2.980	21.941	0.013	0.306
STDV	7.173	7.324	1.913	7.177	0.011	0.156
MIN	12.300	1.975	0.200	12.270	0.003	0.189
MAX	33.200	23.860	5.530	33.184	0.040	0.770

Kemunduran garis pantai otomatis terjadi ketika muka laut semakin meningkat. Adanya proses kenaikan secara tidak langsung akan menutupi area daratam termasuk pantai dan tentunya akan menyebabkan kemunduran pada garis pantai pada surut terendah. selanjutnya keika kemunduran garis pantai terjadi mana efek lain yang ditimbulkan

adalah perendaman area daratan yang dalam penelitian ini difokuskan pada laju rendaman sarang sarang yang berada pada pantai. Hubungan antara ketiga variabel ini terhadap penyu hijau merujuk pada persentase jumlah penetasan. Potensi rendaman dan kemunduran garis pantai peneluran yang terjadi di Pulau Piai ditampilkan pada Gambar 25.

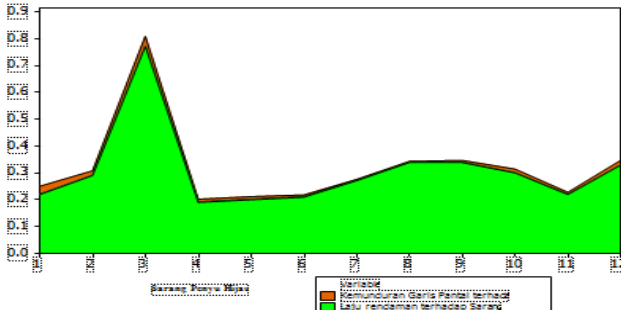
Gambar 20 menunjukkan laju kemunduran garis pantai dan laju rendaman akibat kenaikan muka laut terhadap sarang penyu hijau di Piai. Hasil menyatakan bahwa rata-rata rendaman terhadap sarang cenderung kecil disebabkan perhitungan laju rendaman tidak secara kontinue tetapi laju rendaman yang disebabkan potensi kenaikan muka laut dalam skala tahunan. Indikasi kenaikan muka laut diestimasi dalam periode tahunan sehingga untuk mengetahui laju rendaman berdasarkan skala kenaikan muka laut maka data yang terekam adalah data tahunan.

Dalam penelitian ini diketahui potensi rendaman di Piai adalah 0.306 m (tabel 6). Rendahnya laju rendaman yang disebabkan oleh kenaikan muka laut diduga disebabkan karena rendaman yang terjadi dalam skala tahunan sedangkan jika melihat laju rendaman berdasarkan

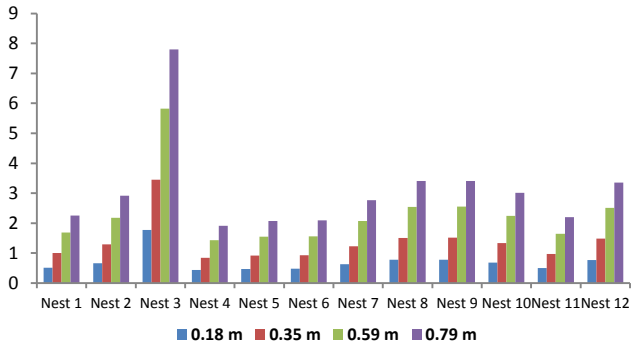
pasang surut maka sudah tentu hasil rendaman akan relatif tinggi. Hal ini menyebabkan lokasi pantai peneluran pulau Piai akan semakin berkurang dalam beberapa tahun dan mengakibatkan luasan pantai yang semakin kecil. Selain itu juga, potensi rendaman pantai akan mengakibatkan persentase jumlah penetasan telur panyu. Hal ini didukung oleh (Limpus et al 2003 in Fuentes et al 2009) yang menyatakan bahwa dalam 10 tahun terakhir persentase sukses penetasan telur penyau di Reine island menurun yang diduga disebabkan oleh tingginya proporsi air dalam sarang. Hubungan kenaikan muka laut terhadap peneluran populasi penyau hijau adalah potensi limpasan air pada saat pasang tertinggi terhadap sarang yang berdekatan dengan bibir pantai. Selanjutnya empat skenario potensi rendaman berdasarkan IPCC 2010 (Fuentes et al. 2010) yang terdiri dari skenario 1.(0.18 m), skenario 2.(0.35 m), skenario 3.(0.59 m) dan skenario 4.(0.79 m) seperti pada Gambar 26.

Hasil skenario pada Gambar 21 menunjukkan bahwa pantai Piai berpotensi merendam sarang sebesar 0.3-3.6 meter per tahun. Hasil menunjukkan sarang ketiga (3) berpotensi terendam dengan nilai terbesar jika dibandingkan dengan beberapa sarang lain. Selain potensi rendaman akan juga terlihat

adanya pengurangan area daratan atau area bertelur. Pengurangan area daratan akan mempengaruhi kepadatan sarang dan berpotensi meningkatkan infeksi sarang terutama sarang yang terletak dibawah batas pasang terendah (Fuentes et al. 2009). Dampak dari naiknya muka laut disebabkan oleh badai yang menyebabkan pantai peneluran akan terabrasi dan terakresi secara periodik. Kondisi ini diperkirakan mempengaruhi perkembangan telur dalam sarang dan menyebabkan kematian embrio dalam telur karena tingginya potensial air, perubahan suhu pasir dan kelembaban dalam sarang.



**Gambar 20**  
Kemunduran garis pantai dan Laju Rendaman terhadap Sarang Penyusutan Muka Pantai



**Gambar 21**

Potensi rendaman akibat kenaikan muka laut di pantai Pulau Piai berdasarkan skenario IPCC (0.18, 0.35, 0.59, 0.79 meter/tahun)



# Bab 7

## KUALITAS PERAIRAN PIAI-PANTAI UTARA PAPUA

---

Aspek kualitas perairan utara raja empat mencakup pulau Piai, pulau Sayang dan pulau Cas yaitu kualitas air laut insitu. Pengambilan sampel kualitas perairan dilakukan pada bulan September 2013 yaitu mencakup lokasi/titik-titik yang dianggap mewakili kondisi perairan secara keseluruhan. Gambaran kondisi kualitas perairan dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung dilapangan-/perairan. Data pengukuran lapangan akan disesuaikan bagi peruntukan biota perairan laut. Kajian kualitas perairan laut utara raja empat ditinjau dari kondisi fisika-kimia perairan dan kondisi hidrooseanografi. Secara keseluruhan parameter kualitas perairan laut utara raja empat bervariasi mulai dari kondisi baik hingga sangat baik bagi kehidupan dan perkembangan berbagai biota laut. Berikut secara terperinci akan diberikan penjelasan masing-masing parameter sebagai berikut.

### A. Kecerahan

Kecerahan merupakan sifat optik perairan yang berhubungan dengan pembiasan dan penyerapan cahaya oleh bahan-bahan yang mengapung dan melayang dalam

perairan. Suatu perairan yang memiliki kecerahan yang rendah menyebabkan intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam kolom perairan menjadi rendah pula akibatnya aktivitas fotosintesis akan terhambat sehingga berdampak pada rendahnya produktivitas perairan. Kecerahan merupakan faktor ekologis penting dalam kehidupan berbagai biota perairan. Kecerahan sangat dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari dan padatan tersuspensi.

Hasil pengukuran kecerahan didapatkan nilai kecerahan rata-rata  $\pm 12,0$  m. faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kecerahan antarlain waktu yaitu berkaitan dengan intensitas matahari, posisi perairan dan masukan bahan limbah organik dan padatan tersuspensi. Secara keseluruhan hasil pengamatan kecerahan menunjukkan nilai baku mutu yang baik untuk kepentingan biota laut dengan nilai ambang batas lebih besar dari 3 m. Nilai ini sesuai dengan nilai baku mutu air laut yang sudah ditetapkan melalui Kepmeneg-LH, 1988 dan Kepmeneg-LH, 2004 yang peruntukannya bagi biota perairan laut.

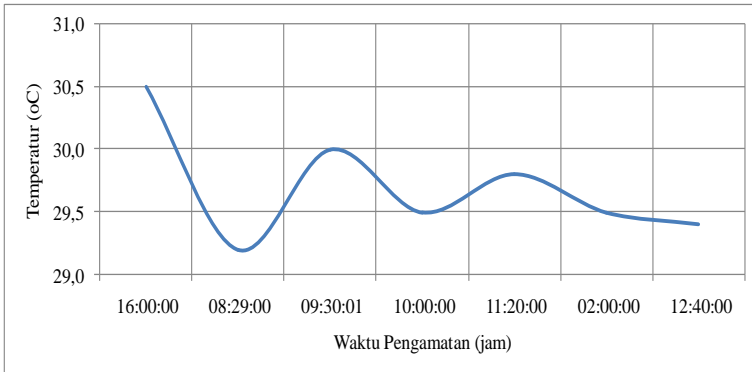
## **B. Suhu Perairan**

Suhu perairan merupakan salah satu faktor yang banyak mendapat perhatian dalam kajian perikanan dan kelautan. Fluktuasi suhu permukaan laut dalam hal ini dapat dimanfaatkan untuk mempelajari gejala-gejala fisika di dalam perairan juga sangat berpengaruh pada



kehidupan organisme yaitu tingkat metabolisme, aktivitas dan perkembangbiakan biota perairan. Seperti diketahui bahwa kelarutan oksigen di perairan dikontrol oleh perubahan suhu, dimana pada kondisi suhu tinggi akan meningkatkan aktivitas pemanfaatan oksigen oleh biota perairan. Selain itu informasi mengenai variabilitas spasial suhu laut memiliki peran penting sebagai sarana pendugaan daerah potensi ikan.

Hasil pengukuran suhu lapisan permukaan di perairan Utara Raja Ampat mencakup pulau Piai, pulau Sayang dan pulau Cas berkisar antara 29.20 °C - 30.50 °C dengan rata-rata 29.7 °C. Distribusi suhu perairan utara raja ampas termasuk dalam kategori homogen dengan variasi yang sangat kecil. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa lokasi penelitian dilihat dari aspek suhu perairan berada dalam kategori cukup baik untuk pertumbuhan dan perkembangan berbagai kehidupan biota laut. Berikut merupakan grafik fluktuasi suhu perairan laut (Gambar 22). Suhu perairan laut akan berubah mengikuti waktu akibat pemanasan perairan oleh matahari. Jika diperhatikan suhu perairan hasil pengukuran diperoleh suhu tertinggi terjadi pada sore hari yaitu sekitar jam 16.00 hal ini disebabkan oleh kemampuan dari massa air laut untuk menyimpan panas akibat kapasitas panas air laut yang tinggi sehingga air laut memiliki kemampuan untuk menyimpan panas yang besar. Hal ini yang menyebabkan kenapa pada sore hari terjadi suhu perairan laut yang tinggi jika dibandingkan pada siang hari.



**Gambar 22**

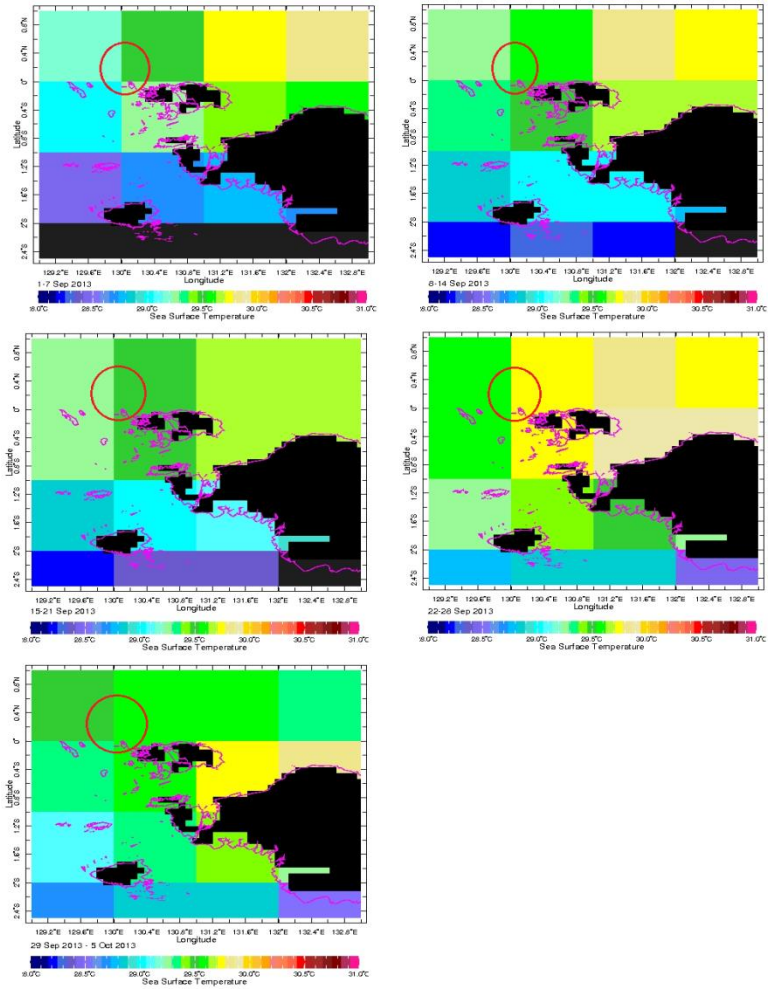
### Fluktuasi Suhu Perairan Berdasarkan Waktu Pengamatan

Varibilitas Suhu Permukaan Laut Selanjutnya disebut SPL mencakup wilayah perairan Utara Raja Ampat di antaranya pulau Piai, pulau Sayang dan pulau Cas. SPL merupakan salah satu faktor yang banyak mendapat perhatian dalam kajian kelautan. SPL dapat dimanfaatkan selain untuk mempelajari gejala-gejala fisika di dalam perairan juga sangat berpengaruh pada kehidupan organisme yaitu tingkat metabolisme, aktivitas dan perkembangbiakan bahkan untuk pengkajian meteorologi. Pada lapisan permukaan (surface layer) SPL ditentukan oleh banyak faktor, beberapa diantaranya adalah jumlah panas yang diterima oleh lautan, arus laut yang membawa massa air dari khatulistiwa ke kutub atau sebaliknya dari kutub ke wilayah katulistiwa, upwelling dan pengaruh meteorologi seperti angin, penguapan dan curah hujan.

Selain itu Informasi mengenai SPL memberikan peran penting sebagai sarana pendugaan daerah potensi ikan. Setiyohadi, 2011 mendapatkan hubungan antara SPL dengan daerah potensial penangkapan ikan, bahwa daerah penangkapan memiliki kecenderungan suhu permukaan laut antara 27.96 - 30.44 °C.

Sukresno dkk, \_\_\_\_\_, melakukan analisis SPL untuk laut Banda yang berada di selatan daerah kepala burung papua periode 1996 s/d 2006 menjelaskan bahwa monsun memberikan dampak terhadap variabilitas SPL. Pada musim barat (desember-februari) dan musim timur (juni-agustus), musim transisi pertama pada bulan April dan musim transisi kedua pada bulan Oktober. Suhu permukaan laut juga berfluktuasi mengikuti perubahan musim dimana suhu terendah didapati pada musim timur sedangkan suhu terhangat didapati pada musim barat. Selama monsun barat daya suhu permukaan laut lebih hangat mencapai 30 °C jika dibandingkan dengan selama monsun tenggara suhu permukaan mencapai 25 °C.

**Gambar 23** Memperlihatkan Pola Distribusi Suhu Permukaan Laut secara spasial dan temporal, secara mingguan pada periode september 2013 (<http://apdrc.soest.hawaii.edu>). Nampak bahwa suhu rata-rata perairan utara raja ampat meliputi perairan pulau Piai dan pulau Sayang mencapai 29.30 °C hal ini sesuai dengan hasil pengukuran lapangan secara insitu pada bulan september 2013 rata-rata suhu mencapai 29.7 °C (**Gambar 22**)

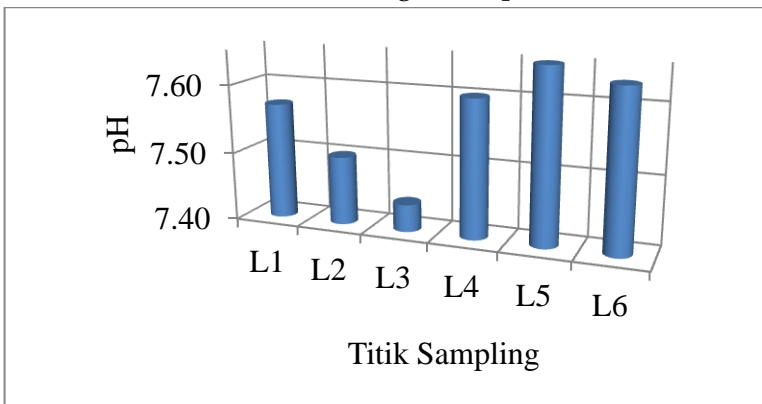


**Gambar 23**  
 Pola Distribusi SPL Mingguan Perairan Utara Raja Ampat  
 (P. Piai dan P. Sayang) Periode September 2013.

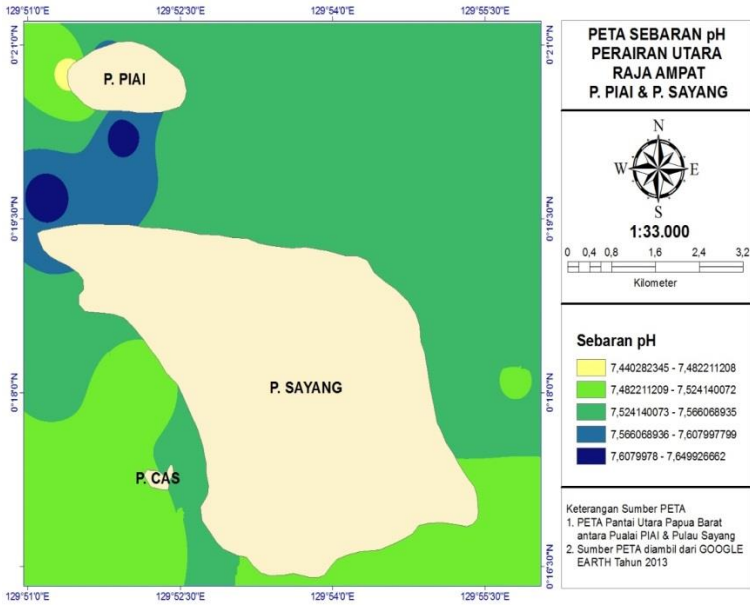
### C. Derajat Keasaman (pH)

pH memiliki peran penting dalam lingkungan ekosistem perairan. Perubahan pH berakibat buruk terhadap kehidupan biota laut, baik secara langsung maupun tidak langsung. Akibat langsung berdampak pada kematian telur, mengurangi produksi primer. Akibat tidak langsung adalah perubahan toksisitas zat-zat yang ada dalam air.

Kisaran pH untuk perairan utara raja ampat hasil pengukuran pada enam titik pengukuran adalah 7.44 - 7.65 dengan nilai pH rata-rata 7.57. Secara spasial nilai pH perairan sangat homogen dan tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara stasiun pengamatan. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi perairan masih dalam keadaan baik dan normal bagi biota perairan.



**Gambar 24**  
Perubahan pH Perairan Utara Raja Ampat



**Gambar 25**

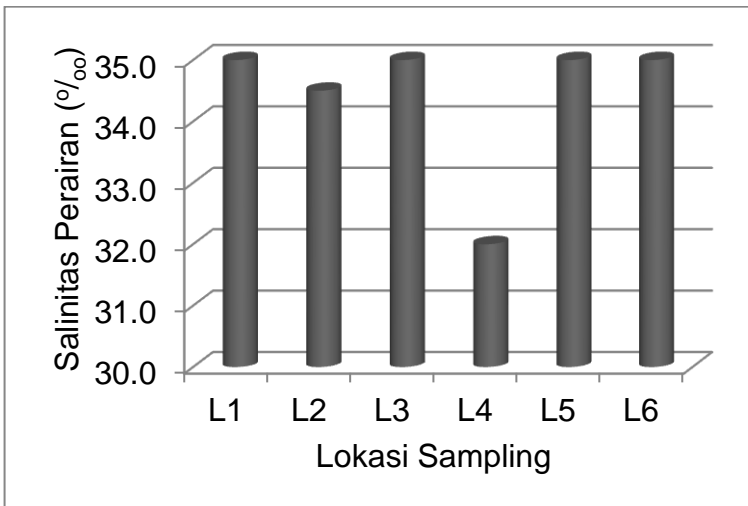
Peta Sebaran pH Perairan Utara Raja Ampat meliputi Pulau Piai, Pulau Sayang dan Pulau Cas.

#### D. Salinitas

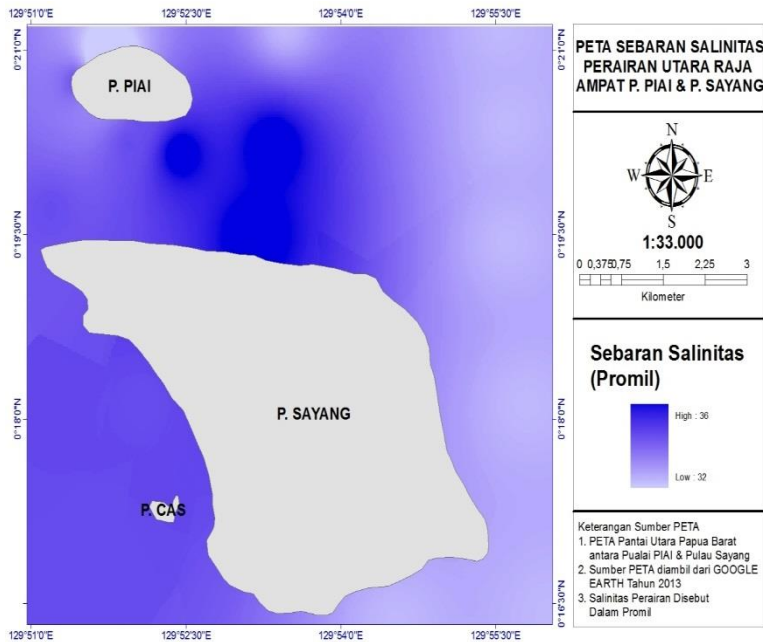
Salinitas menentukan sebagian besar komunitas kehidupan di perairan. Konsentrasi salinitas menentukan perbedaan perkembangan fisiologis organisme perairan laut, mempengaruhi sistem osmotik biota perairan sebagai contoh pada udang putih pengaruh osmoregulasi, salinitas yang tinggi memberikan dampak pada kesulitan dalam berganti kulit (Muhammad, 2011).

Jika hal demikian terjadi maka sulit bagi biota untuk tumbuh dan berkembang dengan baik.

Hasil pengukuran menunjukkan nilai salinitas antara 32 ‰ - 35 ‰ dengan rata-rata 34.42 ‰. Secara umum distribusi salinitas secara spasial menunjukkan nilai yang hampir homogen dengan variasi salinitas yang sangat kecil antar stasiun pengamatan. Hasil analisis dan pengamatan lapangan dari aspek parameter salinitas dapat dikatakan kondisi perairan masih baik untuk kegiatan perikanan beberapa biota perairan kisaran ambang batas optimum adalah 26 ‰ - 35 ‰, (Kepmeneg-LH, 1984 dan 2004).



**Gambar 26**  
Perubahan Salinitas Perairan Utara Raja Ampat



**Gambar 27**

Peta Sebaran Salinitas Perairan Utara Raja Ampat Pulau Piai, Pulau Sayang dan Pulau Cas

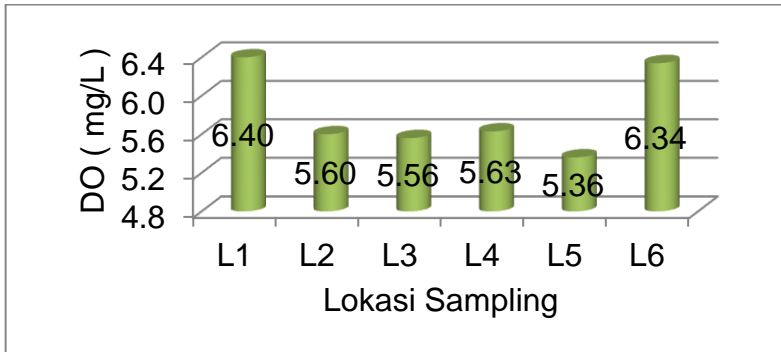
### E. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut hampir dibutuhkan oleh semua organisme perairan untuk pembakaran dalam tubuh. Beberapa bakteri dan organisme tertentu dapat hidup tanpa oksigen (anaerob) sementara biota yang lain hanya dapat bertahan beberapa saat tanpa oksigen. Dengan demikian Oksigen terlarut merupakan parameter yang paling kritis di dalam melakukan kegiatan perikanan laut. Kelarutan oksigen didalam air dipengaruhi suhu,



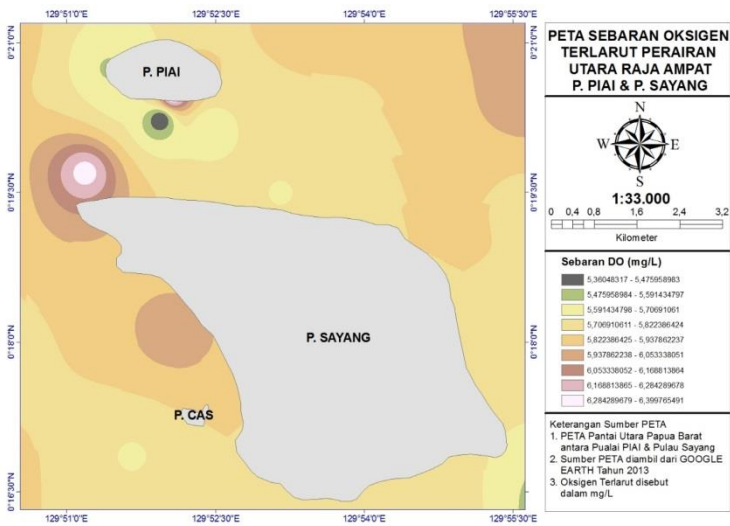
salinitas dan tekanan udara. Peningkatan suhu, salinitas dan tekanan menyebabkan penurunan oksigen, begitu juga sebaliknya. Hasil pengukuran oksigen terlarut antara 5.56 mg/L - 6.40 mg/L dengan rata-rata 5.82 mg/L. Nilai berada dalam kategori sangat baik untuk kegiatan perikanan. Nilai oksigen terlarut untuk perairan utara raja ampat sangat memenuhi syarat untuk kegiatan perikanan dengan baku mutu yaitu lebih kecil dari 5 mg/L.

Menurut Affan, 2012 dalam Mayunar, dkk. (1995) menyebutkan untuk bertahan hidup ikan memerlukan kadar oksigen 1 mg/L, namun untuk dapat tumbuh dan berkembang minimal 3 mg/L. Untuk kepentingan budidaya ikan, oksigen terlarut yang optimal berkisar 5 - 8 mg/L dengan demikian nilai kandungan oksigen hasil pengukuran rata-rata 5.82 mg/L sudah memberikan daya dukung yang baik untuk kegiatan perikanan laut. Hal ini beralasan mengingat pada kadar oksigen terlarut dibawah 4 - 5 mg/L nafsu makan ikan akan berkurang dan pertumbuhannya akan menurun, pada kondisi yang cukup lama dengan kadar oksigen terlarut 3-4 mg/L ikan akan berhenti makan dan pertumbuhannya akan terhenti. Secara spasial distribusi oksigen terlarut ditampilkan dalam bentuk peta penyebaran oksigen terlarut untuk wilayah perairan utara raja ampat mencakup lokasi pulau Piai, pulau Sayang dan pulau Cas sebagai daerah kajian.



**Gambar 28**

Kandungan Oksigen Terlarut Perairan Utara Raja Ampat



**Gambar 29**

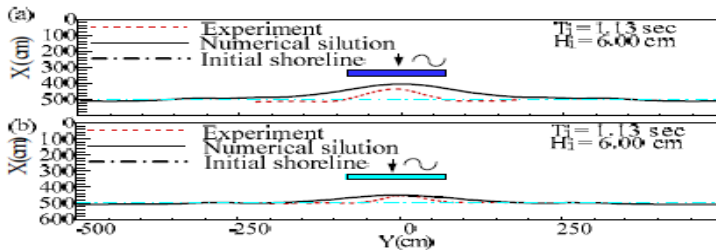
Peta Sebaran Oksigen Terlarut Perairan Utara Raja Ampat Pulau Piai, Pulau Sayang dan Pulau Cas

# Bab 8

## PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI PIAI

Chin-Wen Hung et al, 2008 menyatakan bahwa nilai transport sedimen pantai oleh gelombang dan arus merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap evolusi dari perubahan garis pantai. Skala model yang digunakan dalam menentukan tinggi gelombang dan perubahan garis pantai adalah 1:50. uji dilakukan pada dua kondisi yaitu breakwater terendam sehingga bagian atas breakwater tertutup permukaan air dan kondisi kedua breakwater yang diletakkan di laut cukup tinggi sehingga gelombang tidak melewati atas breakwater.

Perubahan garis pantai (gambar 30) menunjukkan, hasil pengamatan pada breakwater terendam dan breakwater tidak terendam bahwa bentuk garis pantai menonjol (terbentuk Salient) dibelakang breakwater. Hasil komputasi juga menunjukkan kecendrungan yang sama.



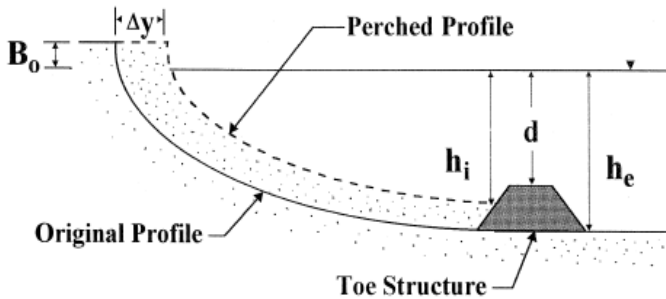
**Gambar 30**

Perubahan Garis Pantai akibat (a) Breakwater tidak terendam (b) Breakwater terendam (Sumber :Hung et al, 2008)

González et al, 1999 memberikan suatu prediksi volume pasir dan hubungannya dengan penambahan lebar pantai, untuk kasus yang dekat dengan breakwater. Variasi energi gelombang sepanjang pantai akan menentukan profil kesetimbangan pantai, selain itu proses-proses pantai seperti proses pendangkalan (shoaling), refraksi, difraksi dan refleksi juga menentukan profil kesetimbangan pantai. Penjalaran energi gelombang sepanjang pantai mengubah struktur pantai dengan konsekuensi pada perubahan garis pantai.

Perubahan gelombang akibat breakwater terendam digunakan untuk menemukan letak garis pantai dari suatu perched beach. Ketentuan yang diikuti pertama : menganalisis perubahan fluks energi gelombang akibat struktur breakwater terendam. Analisis difokuskan pada pentingnya disipasi dan refleksi gelombang pada struktur dengan konsekuensi bahwa penjalaran fluks energi gelombang mencapai profil pantai. Berdasarkan analisis ini suatu model profil kesetimbangan pantai yang diajukan

mencakup interaksi gelombang, struktur dan pantai (gambar 31)



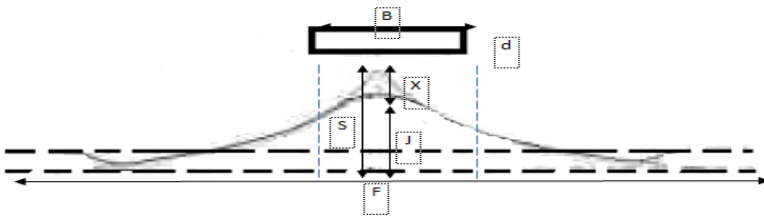
**Gambar 31**

Sketsa pantai dengan breakwater dan terjadi kesetimbangan akibat adanya breakwater. (Sumber :Gonz'alez et al, 1999)

Nguyen. et al, 2007. Model diimplementasikan dengan menggunakan model LITPACK untuk mensimulasikan perubahan garis pantai, menghitung dan memperkirakan orientasi perubahan garis pantai. Input data terdiri dari tinggi gelombang, frekuensi gelombang, kecepatan angin, elevasi muka laut, dan data sedimen serta parameter lainnya diantaranya kekasaran, kecepatan jatuh, diameter sedimen.

Parameter yang digunakan disesuaikan dengan jenis struktur (jetty, breakwater, groyne). Hasilnya setelah 6 bulan terjadi penumpukan sedimen di dasar Groyne. Setelah waktu yang lebih lama sekitar 12 bulan garis pantai menjadi lebih stabil dan deposisi sedimen akan terjadi di sebagian besar daerah pantai. Sementara di sisi yang lain proses erosi akan terjadi secara terus-menerus, hal ini terjadi diluar dari struktur (groyne).

Klein, et al. 2002. Klasifikasi morfologi salien dan Tombolo didasarkan pada hubungan variabel struktur breakwater dengan kondisi perairan yaitu ukuran breakwater (B), jarak breakwater dengan garis pantai (S), lebar pantai yang sejajar dengan breakwater (F), tonjolan garis pantai akibat endapan sedimen (J), jarak antara puncak tonjolan dan breakwater (X) dan analisis rasio ( $B/S$ ,  $X/S$ ,  $F/J$ ,  $d/L$ ) (gambar. 3).



**Gambar 32**

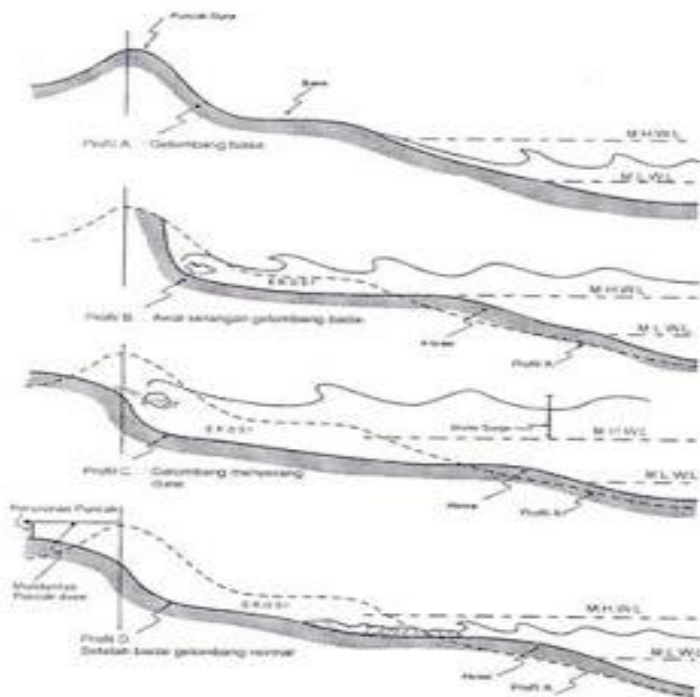
Sketsa variabel pembentukan salien dan tombolo (sumber : Klein. *et al*, 2002)

Secara sederhana proses perubahan garis pantai disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan kemudian mengendapkannya di suatu tempat secara kontinu. Angin dan gelombang yang menuju ke pantai secara bersamaan mengakibatkan gesekan antara gelombang dan dasar laut, sehingga terjadi gelombang pecah dan membentuk turbulensi yang kemudian membawa material disekitar. Perubahan garis pantai sangat dipengaruhi oleh interaksi antara angin, gelombang, arus, pasang surut, jenis dan karakteristik dari material pantai yang meliputi bentuk, ukuran partikel dan distribusinya di sepanjang pantai

sehingga mempengaruhi proses sedimentasi di sekitar pantai.

Perubahan garis pantai yang terjadi akibat adanya transport sedimen sepanjang pantai mampu mengubah profil garis pantai. Transport sedimen yang dipertimbangkan pada penelitian ini adalah transport sedimen sepanjang pantai (longshore transport). Triatmodjo (1999) menjelaskan bahwa gelombang yang datang tegak lurus pantai membawa sedimen pantai ke arah laut kemudian gelombang-gelombang normal membangun kembali erosi tersebut. Sedangkan transport sedimen sepanjang pantai membawa sedimen suatu pantai searah penjalaran gelombang dan kemungkinan kecil untuk kembali ke tempat semula, apalagi jika ada transport dominan dari suatu arah tertentu.

Perubahan garis pantai pada umumnya karena terdapat proses abrasi, akresi dan kenaikan tinggi muka laut global. Abrasi pantai adalah mundurnya garis pantai ke arah darat dan akresi adalah majunya garis pantai ke arah laut, sedangkan kenaikan paras laut menyebabkan perubahan garis pantai ke arah darat yang disebabkan oleh meningkatnya volume air laut global. Abrasi dan erosi berasosiasi pula dengan pengaruh dari pola pasang-surut.



**Gambar 33**

Proses Pembentukan Pantai Oleh Gelombang  
(Triatmodjo, 1999)

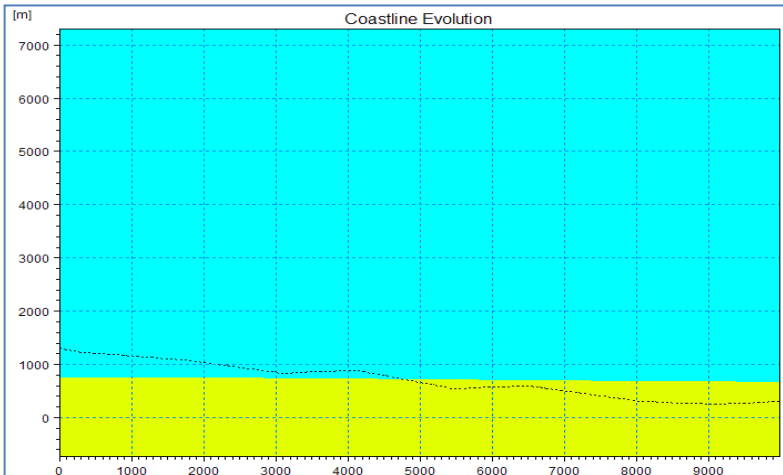
Perubahan garis pantai yang terjadi akibat adanya transport sedimen sepanjang pantai mampu mengubah profil garis pantai. Transport sedimen yang dipertimbangkan pada penelitian ini adalah transport sedimen sepanjang pantai (longshore transport). Triatmodjo (1999) menjelaskan bahwa gelombang yang datang tegak lurus pantai membawa sedimen pantai ke arah laut kemudian gelombang-gelombang normal akan membangun kembali



erosi tersebut. Sedangkan transpor sedimen sepanjang pantai membawa sedimen suatu pantai searah penjalaran gelombang dan kemungkinan kecil untuk kembali ke tempat semula, apalagi jika ada transport dominan dari suatu arah tertentu.

Desain simulasi yang digunakan telah disesuaikan dengan kondisi data lapangan yaitu periode 2015 hingga 2030. Pada bagian barat daya pantai piai memperlihatkan terjadi erosi cukup besar sementara pada bagian tenggara menunjukkan sedikit perubahan dan dan pengendapan sedimen. Rata-rata pantai mengalami erosi per tahun periode 2015-2020 yaitu 0.05-1.5 meter per tahun. Secara spesifik hasil simulasi pada tahun 2015 yaitu perubahan garis pantai sepanjang daerah simulasi yaitu rata-rata pengurangan garis pantai sebesar  $\pm -2.0 \times 10^{-5}$  meter . Pada tahun 2017 yaitu rata-rata pengkisan garis pantai  $\pm -2.0 \times 10^{-5}$  m Pada tahun 2018 rata-rata pengurangan garis pantai adalah mencapai  $\pm 6.0$  m.

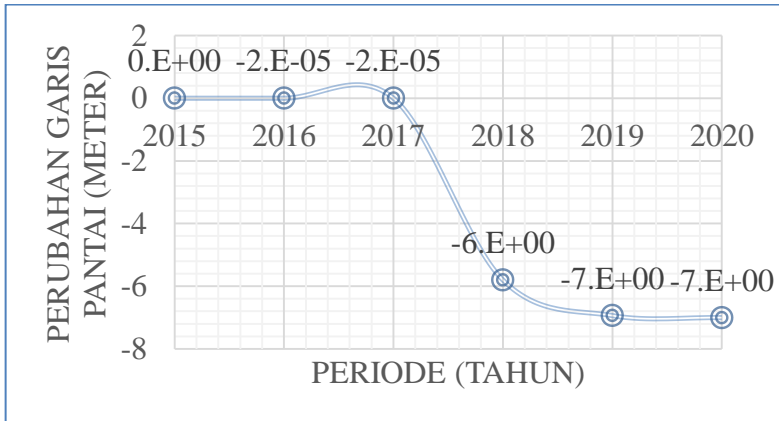
Gambar 34 dan gambar 35. menunjukkan perubahan garis pantai hasil simulasi periode 2015 hingga 2030 mempertegas bahwa Pantai Piai tidak stabil/dinamis. Jika diperhatikan secara seksama dari tahun 2015 hingga 2030 terlihat bahwa erosi tiap tahunnya mengalami perubahan dan pergeseran. Pada dasarnya pola garis pantai mengikuti pola arah datang gelombang datang sebagai media transpor sedimen kemudian diendapkan disuatu area tertentu yang mengubah pola garis pantai. Kondisi pantai piai mengalami perubahan mengikuti musim yaitu terjadi erosi dan dan disisi lain masih menunjukkan terjadi sedimentasi



**Gambar 34**  
 Simulasi Perubahan Garis Pantai pantai  
 PIAI periode 2014-2030

**Tabel 7**  
 Perubahan garis pantai Piai rata-rata periode 2015-2020

Tahun	Perubahan Garis Pantai (m)	Keteangan
2015	$-2.0 \times 10^{-5}$	Erosi Pantai
2016	$-2.0 \times 10^{-5}$	Erosi Pantai
2017	$-2.0 \times 10^{-5}$	Erosi Pantai
2018	$-6.5 \times 10^0$	Erosi Pantai
2019	$-7.0 \times 10^0$	Erosi Pantai
2020	$-7.5 \times 10^0$	Erosi Pantai



**Gambar 35**  
 Prediksi perubahan garis pantai  
 Pulau Piai periode tahun 2015-2020



# Bab 9

## TRANSPOR SEDIMEN

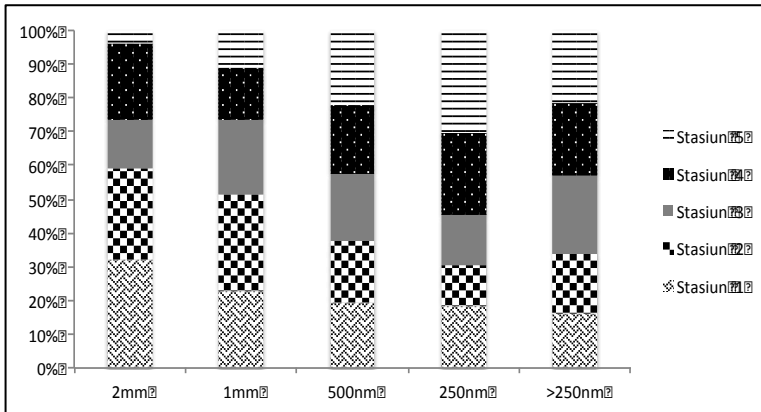
---

### A. Karakteristik Sedimen Pasir

Struktur sedimen pasir di wilayah pesisir raja ampat umumnya dan pantai pulau Piai khususnya dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika. Secara ekologi struktur sedimen pasir mempengaruhi keberadaan suatu makhluk hidup didalamnya seperti pembuatan sarang oleh spesies penyu. Naitja 1992 in Runtuboi 2012 menjelaskan bahwa sarang penyu memiliki unsur utama penyusun tekstur sarang penyu, dimana susunan tekstur pasir berdiameter halus dan sedang sangat disukai oleh penyu dalam memilih tempat pembuatan sarang. Selain itu kecepatan perubahan morfologi pantai juga dipengaruhi oleh tekstur pasir penyusun pantai, sedimen pasir yang ditransport ataupun diendapkan disepanjang pesisir yang dipicu oleh energi gelombang laut juga mempengaruhi pantai. Proses transport sedimen sangatlah kompleks karena melibatkan berbagai komponen energi lingkungan. Pembentukan pantai dapat menciptakan akresi atau penambahan sedimen dan erosi atau pengurangan sedimen di pantai (Danial 2008).

Hasil analisis sample sedimen pasir dengan menggunakan T-Sive diperoleh sedimen pasir penyusun

pantai Piai terkategori sangat halus hingga kasar dengan ukuran dikelompokkan kedalam 5 yakni 2.0 mm, 1.0 mm, 500nm, 250 nm dan > 25 0nm sebagaimana tersaji pada Gambar 36.



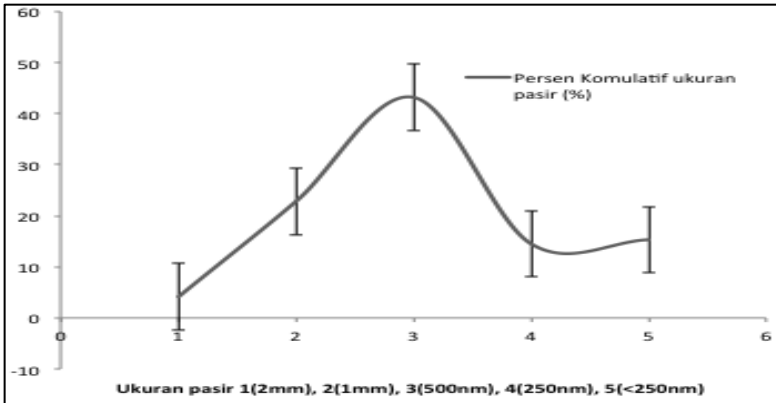
**Gambar 36**

Proporsi sebaran ukuran pasir pada stasiun pengamatan sebagai representasi profil pasir di pantai Piai

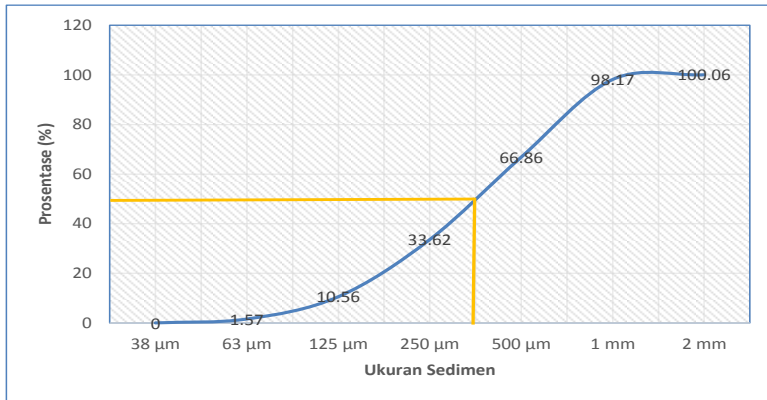
Gambar diatas menjelaskan sebaran pasir berdasarkan ukuran pada 5 stasiun pengamatan. Hasil menunjukkan bahwa distribusi pasir di Piai didominasi oleh ukuran sangat halus 500 nm dengan proporsi terendah adalah ukuran pasir kasar 2 mm. Pada stasiun 1 distribusi pasir terbanyak didominasi oleh ukuran 500 nm sebesar 41.89 % sementara terendah adalah pasir dengan ukuran 2 mm sebesar 6.7 % (gambar 36 dan tabel 7).

**Tabel 8**  
Proporsi pasir berdasarkan ukuran pasir

Stasiun Pengukuran	2mm	1mm	500nm	250nm	>250nm
Stasiun 1	6.708	25.68	41.89	13.2	12.524
Stasiun 2	5.61	33.18	39.02	8.95	13.24
Stasiun 3	2.97	24.73	43.73	10.69	17.87
Stasiun 4	4.65	17.98	43.18	17.74	16.45
Stasiun 5	0.802	12.34	48.3	22.08	16.49



**Gambar 37**  
Proporsi sebaran ukuran pasir pada stasiun berdasarkan ukuran di pantai Piai



**Gambar 38**  
Ukuran pasir (d50) di pantai Piai

Rata rata proporsi ukuran sedimen pasir didominasi oleh ukuran 500 nm yang menyusun pantai Piai. Kondisi ini sejalan dengan fungsi ekologis pantai Piai sebagai habitat peneluran yang mana penyu menyukai pantai dengan kondisi pasir halus sampai sedang, karena sebagaimana diketahui bahwa partikel penyusun pantai dengan pasir halus menjadi salah satu tolak ukur sebagai daerah pembuatan sarang oleh penyu. Kehalusan pasir telah diamati menjadi suatu variabel dalam memfasilitasi penggalian lubang sarang oleh penyu (Varela- Acevedo et al. 2009).

Sifat halus dan kasarnya pasir merupakan fungsi dari gerakan ombak di pantai. Hempasan ombak yang kecil mengakibatkan partikel-partikel pasir di pantai menjadi kecil dan sebaliknya (Nybakken 1992), hal ini disebabkan karena gerusan gelombang yang mampu mentransportkan partikel berukuran kecil.

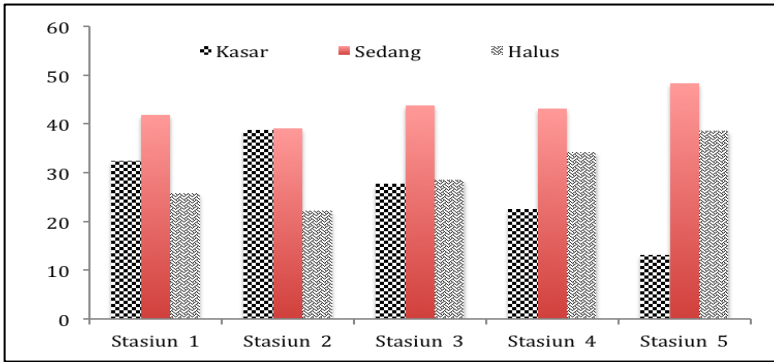


**Tabel 9**  
**Analisis pasir berdasarkan perhitungan statistika**

Analisis Statistika	2mm	1mm	500nm	250nm	<250 nm
Sample	5	5	5	5	5
Median Grain size	4.65	24.73	43.18	13.2	16.45
Mean Grain size	4.15	22.78	43.22	14.53	15.31
Standart Deviation	2.32	7.94	3.37	5.36	2.31
Skewness	-0.43	-0.05	2.73	0.42	-0.25
Kurtosis	1.89	1.9	0.4	1.73	1.38

Hasil analisis ukuran butir sedimen Pantai untuk nilai rerata ukuran butir (mean) dalam satuan mm (sebesar 4.15 mm - 43.22 nm) sehingga termasuk kategori pasir berukuran halus sampai sedang (Folk dan Ward dalam Anderson, 2003; Davis, 1992) Menurut Nuijta (1992) pasir berukuran sedang sesuai untuk habitat peneluran penyusut.

Nilai sortasi sebesar 1.2 menunjukkan sedimen memiliki sortasi terpilah halus. Nilai skewness menunjukkan nilai negatif yang berarti pantai tersebut memiliki kelebihan partikel kasar sampai sedang. Nilai kurtosis sebesar 0,572 termasuk dalam kategori sangat platykurtic, menunjukkan kurva distribusi ukuran butir berbentuk sangat tumpul atau jauh lebih rendah dari distribusi normal.



**Gambar 39**

Distribusi butiran sedimen pada pantai Pulau Piai

Hasil analisis ukuran butir sedimen di Piai diperoleh pasir berukuran sedang dan halus. Tekstur halus dan sedang bersifat lambat mengalirkan air tetapi lebih dalam menampung air karena pasir bertekstur sedang sampai halus memiliki pori yang lebih kecil (Nybakken, 1992; Ackerman, 1997), hal ini mempengaruhi kadar air dalam pasir.

## B. Transpor Sedimen Oleh Gelombang

Triatmodjo. B, 1999. Menjelaskan bahwa transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang sebagai pembangkit. Transpor sedimen pantai inilah yang akan menentukan terjadinya sedimentasi atau erosi di daerah pantai. Transpor sedimen dibedakan menjadi dua, yaitu transpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai (*onshore - offshore transport*) yang memiliki arah rata-rata tegak lurus

pantai dan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) yang memiliki arah rata-rata sejajar pantai.

Transpor sedimen oleh gelombang ( $q_{wx}$ ,  $q_{wy}$ ) memperhitungkan osilasi gelombang yang membuat partikel sedimen akan terbawa maju dan mundur sehingga akan diperhitungkan selisih gerakan sedimen akibat osilasi gelombang. Superposisi dari refleksi dan difraksi gelombang akibat pecahnya gelombang menambah kompleks proses yang terjadi. Watanabe (1986) dalam Amirudin (2001) menurunkan konsep transport sedimen akibat gelombang

$$q_w = \frac{B_w w_0}{(1 - \lambda_v) \rho_s g \sqrt{sgd}} (\tau - \tau_{cr}) u_*$$

s :  $(\rho_s - \rho) / \rho$   $w_0$  : kecepatan jatuh sedimen

$\lambda_v$  : porositas  $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$  : kecepatan gesek

$B_w$  : Koefisien

Dalam kasus transpor yang di timbulkan hanya oleh gelombang, shear stress sebagai berikut :

$\tau_c = \frac{1}{2} \rho f_w U_b^2$  dimana  $f_w$  dan  $U_b$  adalah faktor gesekan gelombang dan kecepatan rata-rata orbital gelombang secara horizontal pada dasar (m/detik), yaitu :

$$U_b = \frac{2H_s}{T_z} \frac{1}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L} h\right)}$$

Secara eksplisit pendekatan untuk factor gesekan gelombang (Swart, 1974) yaitu :

$$f_w = 0.47$$

$$f_w = \exp\left(5.213\left(\frac{a}{k}\right)^{-0.194} - 5.977\right), \quad 1 < \frac{a}{k} \leq 3000 \quad \text{dimana}$$

$H_s$  tinggi gelombang signifikan (m),  $T_z$  Periode gelombang (s) dan  $a$  merupakan pergeseran horizontal orbital gelombang di dasar (m) yaitu :

$$a = \frac{H_s}{\pi} \frac{1}{\sinh\left(\frac{2\pi}{L} h\right)}$$

Transpor sedimen terjadi secara Horizontal sepanjang pantai (*Longshore Transport*) dan Transport Sedimen Tegak Lurus Pantai. Transpor sedimen sepanjang pantai terdiri dari dua komponen utama, yaitu transport sediment dalam *bentuk mata gergaji* di garis pantai dan transport sepanjang pantai di surf zone. Pada waktu gelombang menuju pantai dengan sudut datang terhadap garis pantai, gelombang naik ke pantai. Massa air yang naik tersebut membentuk lintasan seperti mata gergaji, yang disertai dengan terangkutnya sediment dalam arah sepanjang pantai. Komponen yang kedua adalah transport sediment yang ditimbulkan oleh arus sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh gelombang pecah. Transpor sidimen ini terjadi di *surf zone*.

Zenkovichh, 1974 melakukann pengukuran transport sediment sepanjang pantai. Terdapat dua

puncak konsentrasi sedimen suspensi yang ditimbulkan oleh gelombang pecah di sekitar lokasi gelombang pecah dan di garis pantai. Konsentrasi tinggi di dekat garis pantai disebabkan oleh gerak air berbentuk gergaji mengikuti lintasan datangnya gelombang. Di daerah gelombang pecah sebagian besar transport sedimen terjadi dalam suspensi sedang di luar gelombang pecah sebagai *bedload*. Transport sediment sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Oleh karena itu prediksi transport sediment sepanjang pantai adalah sangat penting.

Dijbana dan Watanabe (1998) dalam Rahman (2012) Laju transportasi sedimen dilakukan dengan mengaplikasikan pendekatan estimasi tegangan geser dasar gelombang irreguler. Eksperimen sheet flow dilakukan dalam loop-shape oscillatory/steady flow water tunnel. Profil kecepatan pengujian transportasi sedimen diperoleh dengan pengukuran kecepatan di dekat dasar gelombang shoaling irreguler melalui uniform slope di wave flume.

Secara spesifik bahwa parameter yang digunakan dalam menentukan nilai transport sedimen tergantung pada parameter yang disajikan dalam (Tabel 9). Kekasaran dasar (roughness) adalah salah satu faktor penting dalam menggerakkan sedimen dan perubahan kekasaran sendiri dapat menyebabkan terjadinya peningkatan nilai total transport. Untuk dasar yang datar (flat) kekasaran dihubungkan dengan nilai rata-rata

diameter sedimen pasir. (Holmedal, 2007 dalam Gislason,

$$2011) k_N = 0,5d_{50} \quad \Leftrightarrow \quad Z_0 = \frac{d_{50}}{12}$$

Untuk dasar dengan ripples (riak) dengan tinggi  $\eta$  dan panjang  $\lambda$  kekasaran dasar diperoleh sebagai berikut

$$Z_0 \approx \frac{\eta^2}{\lambda}$$

**Tabel 9**  
Parameter Transpor Sedimen

Parameter	Simbol
Amplitudo Cepat Rambat Gelombang	$V_o$
Frekuensi Gelombang	$\omega$
Amplitudo Gelombang	$A$
Kecepatan Arus	$v_o$
Kekasaran Dasar	$Z_o$
Diameter Sedimen Pasir	$d_{50}$
Shear Stress Dasar	$\tau_b$
Shield Number	$\Theta$
Kecepatan di kolom perairan	$w_s$

Pada dasarnya gaya gelombang yang lebih besar dan arus merupakan gaya penggerak sedimen untuk mentransportkan sedimen. Mekanisme dasar didalam transpor sedimen bahwa gaya gelombang mendorong dan mengaduk sedimen kemudian arus memindahkan material sedimen. Total transpor sedimen yang di pindahkan merupakan sejumlah transpor sedimen tersuspensi (suspended) dan transpor sedimen bedload sebagai berikut :

$$Q = q_s + q_b$$

dimana  $q_s$  dan  $q_b$  adalah masing-masing transpor sedimen suspended dan transpor sedimen bedload.

### C. Transpor Bedload

Transpor sedimen bedload tergantung pada shear stress dasar dari arus dan gelombang shear stress gelombang di dapatkan sebagai berikut (DHI. 2005).

$$\tau_b = \frac{1}{2} \rho f_w v_A^2 \text{ dimana } \tau_b \text{ adalah Shear Stress dasar, } v_A$$

adalah kecepatan gelombang di luar lapisan batas dan  $f_w$  adalah faktor gesekan gelombang yang dihitung sebagai

$$\text{berikut } f_w = 1,39 \frac{A^{-0,52}}{k_N} \text{ dimana } A \text{ adalah amplitudo}$$

gelombang.

Selanjutnya untuk mendapatkan Shield Number non dimensional diperoleh dari hubungan shear stress dasar sebagai berikut

$$\Theta = \frac{\tau_b}{\rho g (s-1) d_{50}} \quad ; \quad s = \frac{\rho_{\text{sedimen}}}{\rho}$$

Shield number kritis ( $\Theta_c$ ) adalah nilai syarat batas dimana sedimen mulai bergerak dengan nilai bervariasi antara 0.04–0.08. Selanjutnya dari hasil perhitungan Shield Number bedload menghitung faktor gesekan ( $\Phi$ ) non dimensional sebagai berikut:

$$\Phi = 12 \Theta^{\frac{1}{2}} (\Theta - \Theta_c) \frac{\Theta}{|\Theta|}$$

Dengan demikian diperoleh persamaan transpor sedimen untuk bedload

$$\Phi = \frac{Q}{\sqrt{gs - 1}(d_{50})^3}$$

Q adalah transpor bedload

#### D. Transpor Sedimen Tersuspensi

Persamaan yang digunakan untuk menghitung sedimen tersuspensi (Gislasson, 2011)

$$Q_s = \int_{2d_{50}}^{z_{\max}} v c_a \left( \frac{z}{z_a} \right)^{-b} dz$$

v adalah kecepatan di luar lapisan batas dasar,  $z_a$  adalah kedalaman perairan yang diukur dari dasar,  $z_{\max}$  adalah ketebalan lapisan (boundary layer) batas dimana lapisan batas ini merupakan lapisan yang berada sedikit di atas dasar perairan dengan ketebalan yang sangat kecil jika dibandingkan dengan kedalaman perairan (Gambar III.6) dan b di hitung sebagai berikut :

$$b = \frac{w_s}{v}$$

dimana  $w_s$  adalah kecepatan jatuh dan  $c_a$  bisa dihitung sebagai beriku:

$$c_a = \frac{0,331(\Theta - \Theta_c)^{1,75}}{1 + 0,720(\Theta - \Theta_c)^{1,75}}$$

Shield Number diperoleh dari persamaan (1) selanjutnya digunakan untuk menghitung shear stress dan mengambil  $\Theta_c = 0,05$ .



## E. Volume Sedimen Transpor

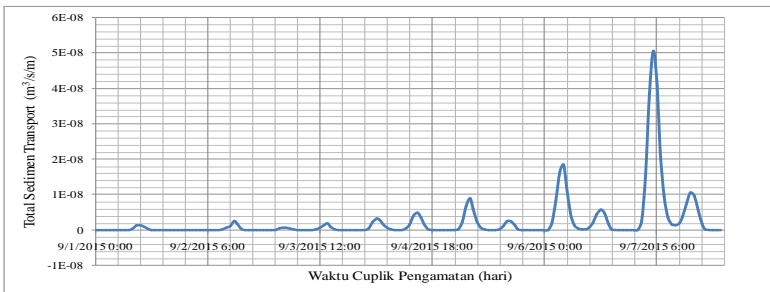
Volume total sedimen transport merupakan selisih antara transport sedimen ke kanan dan ke kiri dalam garis pantai setiap satuan waktu dan merupakan nilai imbalan sedimen pantai. Nilai transport sedimen total menentukan kondisi pantai mengalami erosi dan Sedimentasi. Gambar 30 dan gambar 31 menunjukkan nilai total transport hasil simulasi, Nampak bahwa terdapat bagian yang mengalami erosi dan sedimentasi. Sedimentasi yaitu proses pengendapan endapan lumpur atau pasir di suatu daerah akibat adanya sedimen baik bersumber dari daratan ataupun dari dalam perairan, sementara erosi merupakan proses pengangkutan/sedimen. Terjadinya sedimentasi ataupun erosi pantai lebih disebabkan oleh kondisi hidrodinamika perairan seperti kekuatan gelombang dan arus yang mengikis pantai yang pada akhirnya akan mengubah profil dan morfologi pantai

Salah satu bentuk perubahan profil dan morfologi perairan yaitu terjadinya pendangkalan dan perubahan garis pantai. Garis pantai dikatakan maju jika terjadi pengikisan pantai dan lebar pantai menjadi bertambah dan sebaliknya dikatakan mundur jika terjadi pengendapan sedimen yang cukup besar di wilayah pantai akibat transport sedimen hal ini terjadi jika ada sumber sedimen

Pantai Piai merupakan pantai yang terbuka dimana Perubahan garis pantainya lebih disebabkan

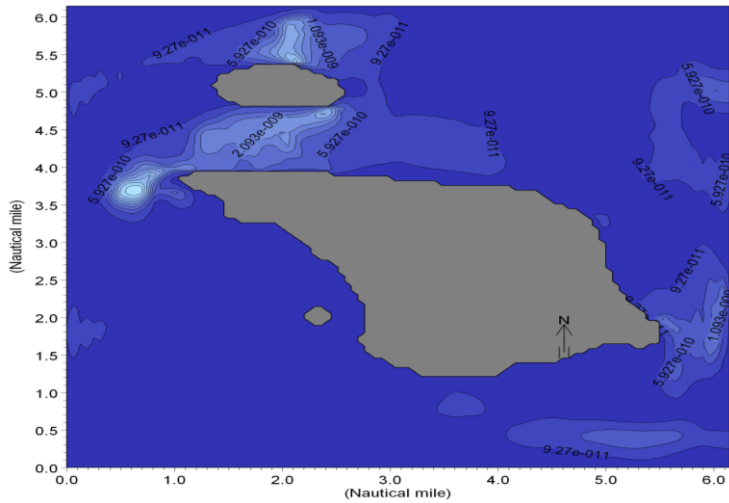
disebabkan oleh gerakan gelombang yang bergerak mengikis kemudian mengendap di suatu tempat secara terus menerus (continue). Selain itu angin dan gelombang secara bersamaan menuju ke pantai menimbulkan gesekan antara gelombang dan dasar laut sehingga terjadi gelombang pecah dan membentuk turbulensi yang kemudian membawa material disekitar pantai melalui pengikisan pantai (erosi pantai).

Pada dasarnya proses perubahan morfologi pantai Piai meliputi proses erosi dan akresi. Erosi pada sekitar pantai dapat terjadi apabila angkutan sedimen yang keluar ataupun yang pindah meninggalkan suatu daerah lebih besar dibandingkan dengan angkutan sedimen yang masuk sebaliknya apabila angkutan sedimen yang keluar adalah kecil dibandingkan dengan angkutan sedimen yang masuk maka yang terjadi adalah sedimentasi (pengendapan). Gambar 30. memperlihatkan pluktuasi sedimen transpor per hari yaitu maksimum sedimen yang di transpor dan diendapkan mencapai antara  $0,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{detik}/\text{m} - 2,0 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{detik}/\text{m}$ .



**Gambar 30**

Akumulasi Total sedimen transpor pada perairan P. Piai



**Gambar 31**  
Pola sebaran sedimen transpor pada perairan P. Piai

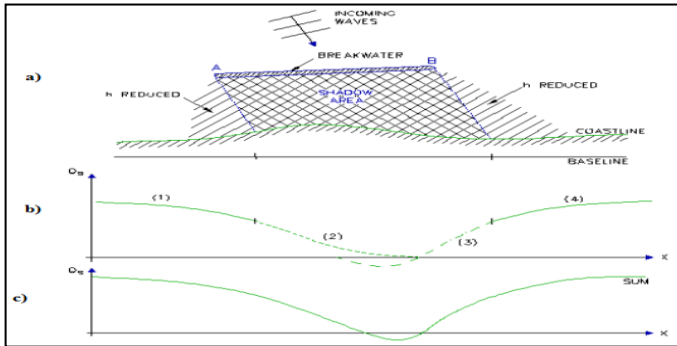


# Bab 5

## REKAYASA PERLINDUNGAN PANTAI

**B**reakwater lepas pantai merupakan suatu struktur yang di desain untuk memberi perlindungan terhadap aksi gelombang pada suatu area atau garis pantai pada sisi di belakang struktur yang menghadap ke darat. Breakwater lepas pantai biasanya ditempatkan sejajar dengan pantai. Breakwater ini bisa juga memberi perlindungan terhadap dermaga atau proses erosi pantai, umumnya sebagai barrier perangkap sedimen litoral. Mekanisme perlindungan yaitu mereduksi sejumlah energi gelombang yang mencapai perairan sebelum mendekati profil pantai.

Respon garis pantai terhadap konstruksi breakwater pantai dominan dipengaruhi oleh transpor material sedimen sekitarnya. Akibat penempatan breakwater mengakibatkan terbentuknya garis pantai baru untuk mencapai keseimbangan. Jika puncak gelombang pecah adalah sejajar dengan garis pantai awal, gelombang mengalami difraksi di daerah terlindung sedimen di transpor dari daerah sekitar dan di endapkan pada daerah sadow zone. Proses ini terus berlanjut hingga konfigurasi garis pantai stabil dan transpor sedimen mencapai nol. Dalam selang waktu tertentu terbentuk cusplate spit (salien/ tombolo).



## A. Rekayasa Breakwater

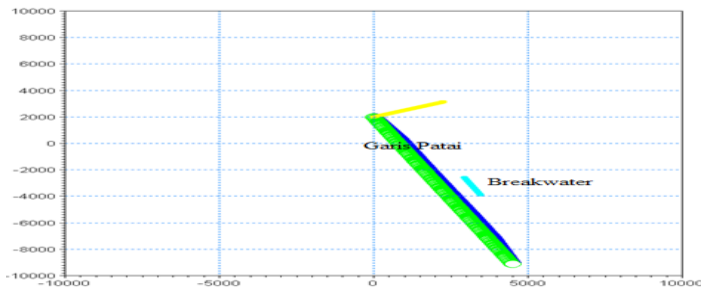
Breakwater adalah jenis pemecah gelombang yang ditempatkan secara terpisah pada jarak tertentu dari garis pantai dengan posisi sejajar pantai. Struktur pemecah gelombang ini dimaksudkan untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang yang datang dari arah lepas pantai. Breakwater juga digunakan untuk menahan sedimen yang kembali ke laut yang disebabkan oleh arus laut (onshore-offshore transport). Pada Periode waktu tertentu sedimen yang tertahan tersebut menumpuk dan membentuk tombolo. Prinsip kerja dari breakwater jenis ini adalah dengan memanfaatkan defraksi gelombang. Akibat adanya defraksi gelombang akan menimbulkan pengaruh terhadap angkutan sedimen yang dibawa, salah satunya dengan terbentuknya tombolo di belakang posisi Breakwater.

Syarat terbentuknya tombolo apabila jarak antara pemecah gelombang dengan garis pantai lebih kecil dibandingkan panjang pemecah gelombang. Apabila

perbandingan panjang breakwater dan jarak breakwater terhadap pantai 1,5 maka akan terbentuk tombolo ( $L/y > 1,5$ ) dan jika perbandingan  $0,5 < L/y \leq 1,5$  terjadi cuspate.

Keberadaan struktur breakwater lepas pantai menimbulkan perubahan garis pantai akibat adanya pengendapan sedimen di daerah bayangan, hal ini disebabkan oleh pelemahan energi gelombang yang teredam sehingga sedimen yang di transportkan dari daerah sekitarnya cenderung diendapkan. Efisiensi breakwater dan responnya terhadap perubahan garis pantai salah satunya ditentukan oleh orientasi penjalaran gelombang dan posisi struktur terhadap garis pantai.

Desain simulasi breakwater yang di rancang sebagai input data model adalah panjang pemecah gelombang direncanakan 70 m dan jarak 300 m dari garis pantai dengan harapan dapat terbentuk cuspate/salien bahkan terbentuknya tombolo. Layout breakwater disajikan pada gambar 32.



**Gambar 32**  
Desain Rekayasa Breakwater

## B. Pembentukan Formasi Salien dan Tombolo

Identifikasi parameter breakwater terhadap pembentukan salien dan tombolo untuk Pantai Piai ditunjukkan pada (gambar 33 dan gambar 34) batas kestabilan pembentukan salien dan tombolo didasarkan pada hubungan rasio antara panjang breakwater dan jarak dari garis pantai. Formasi Tombolo di belakang breakwater terbentuk jika rasio panjang breakwater dan jarak terhadap garis pantai ( $L/y$ ) mencapai lebih besar dan/sama dengan 0,97 hal ini sesuai dengan apa yang diperoleh Sunamura dan Mizuno (1987) dalam Klein (2002), Pilarczyk dkk, (2003), Black dan Andrew (inpres) yaitu rasio  $L/y$  lebih lebih besar 0,67.

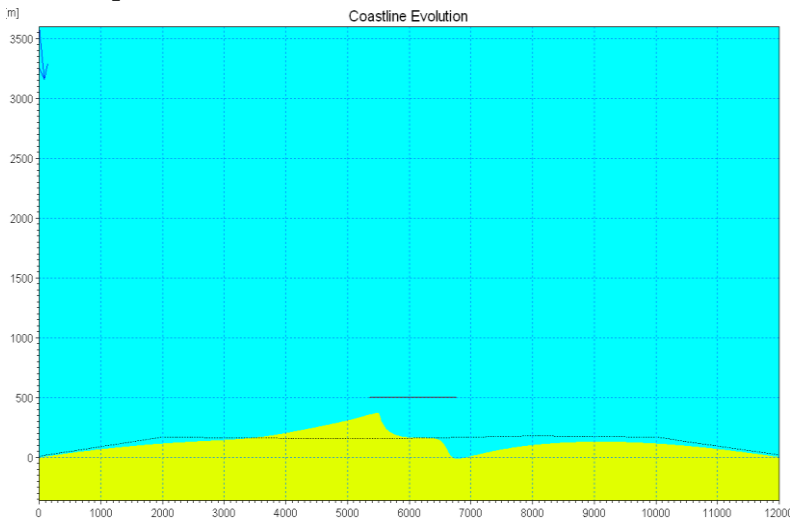
Secara teori bahwa semakin besar rasio panjang breakwater dan jarak breakwater dengan pantai maka pembentukan salien dan tombolo semakin berkembang dan jika panjang breakwater lebih besar atau sama dengan jarak breakwater dengan garis pantai maka secara tidak langsung terbentuk tombolo. Hal demikian telah dibuktikan dengan hasil model yang disimulasikan selama 30 tahun periode 2014 hingga 2050 di Pantai Piai bahwa tombolo terbentuk jika rasio  $L/y$  adalah lebih besar 0,97.

Uji coba model dilakukan terhadap berbagai kondisi yaitu uji coba pertama yaitu melakukan simulasi perubahan garis pantai dan pembentukan tombolo hingga periode 2050 menggunakan menggunakan ukuran panjang breakwater 70 m dan posisinya breakwater terhadap garis pantai sejauh 300 m, yang terjadi adalah



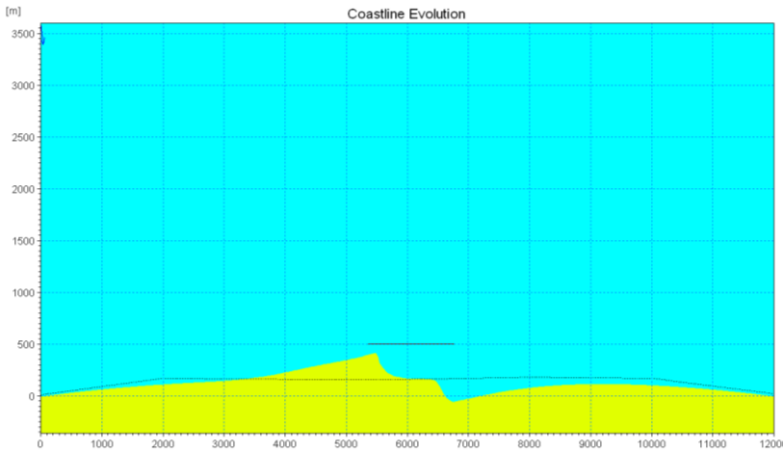
hanya terbentuk salien, pembentukan tombolo tidak terjadi.

Gambar 33 dan 34 memperlihatkan bahwa endapan sedimen yang paling besar terjadi tepat berada dibelakang breakwater kemudian semakin berkurang ke arah kiri dan kanan pusat breakwater. Besarnya endapan di pusat breakwater berkaitan dengan besarnya redaman energi gelombang yang maksimal terjadi dipusat breakwater kemudian berkurang pada sisi kiri dan kanan breakwater. Terbentuknya salien dibelakang breakwater diakibatkan oleh redaman gelombang sehingga debit transpor sedimen menjadi kecil dan cenderung terdeposisikan di daerah tersebut.



**Gambar 33**

Simulasi Pembentukan Salien pantai Piai Periode 2014 2025



**Gambar 34**  
simulasi Pembentukan Tombolo Pantai Piai  
Periode 2014-2050

### C. Verifikasi Hasil Model

Verifikasi hasil model yang dikembangkan akan diverifikasi dengan menggunakan data-data lapangan yaitu data garis pantai tahun 2013 dan data garis pantai tahun 2016 hasil tracking lokasi. Selanjutnya hasil simulasi dan hasil tracking akan dioverlay pada peta untuk melihat besaran kesalahan model yang dibangun. Apabila hasil simulasi sudah diverifikasi dengan kondisi riil di lapangan dan dengan ketentuan tingkat kesalahan yang cukup kecil maka model yang dibangun dapat digunakan untuk memprediksi kondisi lingkungan pada waktu yang akan datang.

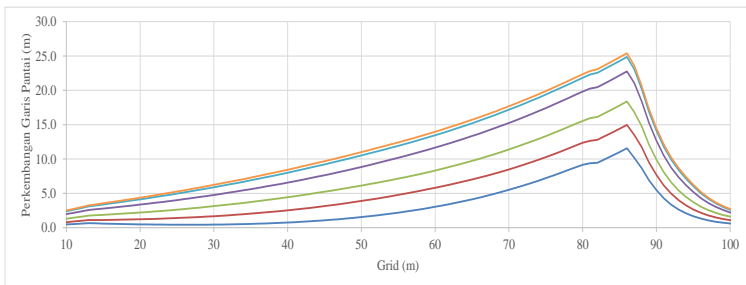
Gambar 35. memperlihatkan kondisi pulau Piai pada tahun 2013 dan 2016, secara visual hampir tidak terdapat perbedaan nyata antara rentang waktu 3-4 tahun antara

kenampakan pada tahun 2013 dan 206, hal ini disebabkan karena skala perubahan yang relatif kecil jika dibandingkan dengan skala kenampakan pulau Piai secara keseluruhan. Jika diperhatikan secara seksama pada bagian Selatan dan utara terdapat lebar pantai yang semakin kecil yang mengindikasikan bahwa pantai mengalami abrasi. Setelah mengetahui titik koordinat terjadinya abrasi pantai yang intensif selanjutnya dilanjutkan dengan merekayasa daerah pantai yang mengalami abrasi untuk dilindungi dengan memasang breakwater. Breakwater yang terpasang diharapkan mampu mengendalikan abrasi. Pendekatan yang dilakukan adalah pendekatan simulasi model. Model didesain sedemikian hingga mengikuti kondisi di alam, sehingga hasil model dapat sesuai kondisi di alam.

Gambar 36. Menunjukkan Grafik perkembangan garis pantai hasil simulasi model periode 2014-2020. Nampak pantai mengalami perkembangan pada periode 206-2020 dengan rata-rata penambahan garis pantai mencapai 2 meter per tahun khususnya di belakang breakwater. Simulasi rekayasa perlindungan pantai yang dilakukan hingga 2050 dengan perbandingan panjang breakwater dan jarak breakwater terhadap garis pantai menggunakan rasio 0,23 belum mampu menciptakan terbentuknya tombolo akan tetapi hanya terbentuk salien. Tombolo terbentuk jika rasio panjang breakwater dan posisi breakwater terhadap garis pantai harus lebih besar dari satu ( $L/y > 1,0$ ). Pada rasio 0,23 yang terbentuk adalah salien yang belum stabil.



**Gambar 35**  
Kondisi Pulau Piai pada Tahun 2013 dan 2016



**Gambar 36**  
Perkembangan Garis Pantai di Belakang Breakatwer



**Gambar 37**  
Peta Pembentukan Salien periode 2018-2020



## DAFTAR PUSTAKA

- Antonio Henrique da Fontoura Klein., Narbal Andriani Junior., João Thadeu de Menezes., (2002). Shoreline Salients and Tombolos on the Santa Catarina coast (Brazil): description and analysis of the morphological relationships. *Journal of Coastal Research*. ISSN 0749-0208: 425-440.
- Aldridge, J. N., ( 2007)., Simple analytical results for bedload transport due to tides., *Journal of the Coastal and shelf sediment transport Geological Society*, **274** : 45-51.
- Ackerman RA. 1997. The Nest Environment and The Embryonic Development Of Sea Turtles. In: Lutz, P.L., and Musick, J.A. (Eds.). *The Biology of Sea Turtles*. Boca Raton: CRC Press, pp. 83-106
- Azhar, R. M., Wurjanto, A., dan Yuanita, N. (2011). Studi pengamanan pantai tipe pemecah gelombang tenggelam di pantai tanjung kait. *Jurnal Program Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air, ITB, Bandung*, 22 hlm.
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268-281.
- Barnet, J., & Adger, W. N. (2003). Climate dangers and atoll countries. *Climatic Change*, 61, 321-337.

- Black, K. S., Athey, S., Wilson, P. & Evans, D. (2007). The use of particle tracking in sediment transport studies: a review., *Journal of the Coastal and shelf sediment transport Geological Society*, **274** : 73-91
- Cooper, J. A. G. and Pilkey, O. H., (2007). Field measurement and quantification of longshore sediment transport. *Journal of the Coastal and shelf sediment transport Geological Society*, **274**, 37-43.
- Chin-Wen Hung., Hong-Bin Chen, Ching-Piao Tsai1, (2008). Simulation of Shoreline Change behind a Submerged Permeable Breakwater. *Taiwan-Polish Joint Seminar on Coastal Protection*, 2008.
- Daduk Setyohadi, 2011. Sea Surface Temperature Distribution Model in Relation with Spread and Density of Sardine (*Sardinella lemuru*) Caught by Purse Seine In Bali Strait. *Jurnal PAL*, **Vol.1**, No.2, Februari 2011, hal. 72-139.
- Darmawan A SK, Handoko YE, Taufik M. 2010. Studi Level Rise (SLR) menggunakan Data Multi Satelit Altimetri. *Jurnal Geoid Edisi 20*. Hal 1-7.
- Danial MM 2008. *Rekayasa Pantai (Coastal Engineering)*. Alfabeta Bandung ISBB.798-8433-94-3 Hal. 114-127.
- Fuentes MMPB, Limpus CJ, Hamman M, Dawson J. 2009. Potential Impact of Project Sea Level Rise on Sea Turtle Rookies. *Aquatic Conservation Marine and Fish Water Ecosystem*, DOI,10:1002-1008



- Fuentes MMPB, Maynard JA, Guinea M, Bell IP, Werdell PS, Hamman M. 2009. Proxy Indicator of Sand Temperature Help Project Impact of Global Warming of Sea Turtle in Northern Australia. *Endangered Species Research* (9):33-40.
- Fuentes MMPB, C.J. Limpus, and M . Haman 2010, Vulnerability of Sea Turtle Nesting Grounds To Climate Change, *Global Change Biology*,111(10):1-13.
- González m, R. Medinaa, M.A. Losada.(1999). Equilibrium beach profile model for perched beaches. *Coastal Engineering*, **36**: 343 - 357.
- Hanson. H dan Nicholas C. Krauss, 2001, Chronic Beach Erosion Adjacement to Inlets and Remediation by Composite (T-Head) Groins. ERDC/CHL CHET-IV-36. US Army Corps of Engineers.
- Hamann M, Limpus CJ, Read MA. 2007. Vulnerability of Marine Reptiles in the Great Barrier Reef to Climate Change. In: *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment* (eds Johnson J, Marshall P), Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Townsville pp. 667-716.
- Hitipeuw C, Dutton PH, Benson S, Thebu Julianus and Bakarbesy J. 2007. Population Status and Interesting Movement of Leatherback Turtles, *Dermochelys coriacea*, Nesting on the Northwest

Coast of Papua, Indonesia. *Chelonian Conservation Biology*, *Chelonian Conservation Biology* 6(6):28-36.

Nallathiga R. 2006. Analysing the Physical, Demographic And Vulnerability Profile of Indian Coastal Zone. Paper Presented at Ninth Biennial International Conference of the International Society for Ecological Economics on " Ecological Sustainability and Human Wellbeing. New Delhi, 2006

Nybakken, J. W. (1992). *Biologi laut. Suatu Pendekatan Ekologis*. Gramedia. Jakarta.

Nuitja IS. 1992. *Biologi dan Ekologi Penelitian Penyu Laut* IPB\_Press\_Bogor

Nguyen, T. S., Tran, N. A., Nguyen, T. S., & Hoang, T. B. (2010). Structural measures to restore Cua Tung beaches, Quang Tri province. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 26(2).

Sukresno1 B dan I W. Kasa,\_\_\_\_\_Dynamical Analysis Of Banda Sea Concerning With El Nino, Indonesian Through Flow And Monsoon By Using Satellite Data And Numerical Model. *Jurnal Ecotrophic*. **Vol 3 (2)** Hal : 87-91 ISSN: 1907-5626

Soulsby, R. L., Mead, C. T. dan Wild, B. R. A., (2007). Model for simulating the dispersal tracks of sand grains in coastal areas: 'SandTrack'. *Journal of the Coastal*

and shelf sediment transport Geological Society, 274, 65-72

Saidi H. Belgacem *et al.* 2010, Detached breakwaters' effect on a microtidal Mediterranean Coast, case of the Hammam-Lif litoral. Springer Science 2010.

Saidi H. Belgacem *et al.* 2010, Impact of Shore-Parallel breakwaters on the microtidal coast of the Hammam-Lif litoral. Saudi Society for geoscience 2010.

Tarigan, M. S. (2007). Perubahan garis pantai di wilayah pesisir perairan cisadane, provinsi banten. Makara Sains 11(1), 49-55.

Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta. 397 hlm.

Yamano H, Kayanne H, Yamaguchi T, Kuwahara Y, Yokohi H, Shimazaki H, Chikamori M. 2007. Atoll Island Vulnerability to Flooding and Innundation Revealed by Historical Reconstruction: Fongafale islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. Global and Planetary Change 57: 407-416 Yang, C.T, 1996. Sediment Transport: Theory and Prantice. The University Press. ISBN 0-07-912265-5.

# **KONDISI OSEANOGRAFI DAN PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI UTARA PAPUA**

Pulau Piai merupakan pulau terluar di utara Kepulauan Raja Ampat Papua Barat pada koordinat  $00^{\circ} 16' - 00^{\circ} 20'$  LU dan  $129^{\circ} 50' - 129^{\circ} 53'$  BT. Posisinya pada wilayah terluar dan berbatasan langsung dengan Samudra Pasifik menyebabkan pulau Piai rentan terhadap perubahan morfologi pantai bahkan tenggelam suatu saat nanti oleh gerusan gelombang, arus, angin dan kenaikan permukaan laut akibat dampak perubahan iklim.

Perairan Utara Papua juga merupakan jalur sekunder pada sistem arus global Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), yang berperan dalam mentransfer massa air dan kalor dari Samudra Pasifik ke Samudera Hindia melewati perairan Indonesia. Aspek ekologi wilayah pesisir dan Pulau-pulau kecil sesungguhnya merupakan wilayah yang memiliki potensi yang sangat tinggi untuk dikembangkan oleh karena itu perlu pengelolaan wilayah pesisir dan sumberdaya kelautan.

**PERIKANAN**

ISBN 9786 2353 6417 9



9 786235 364179

