



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

ANALISIS KUALITAS PERAIRAN DI KAWASAN SELAT DAMPIER: STUDI AWAL RAJA AMPAT SEBAGAI MARINE ECO ARCHEO PARK

PRELIMINARY STUDY OF RAJA AMPAT AS MARINE ECO ARCHEO PARK: WATER QUALITY ANALYSIS IN DAMPIER STRAIT

Agustin Rustam¹⁾, Ira Dillenia¹⁾, Rainer A Troa¹⁾, Eko Triarso¹⁾ & Dietrich G Bengen²⁾

¹⁾Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, KKP
Jln. Pasir Putih 1 Ancol Jakarta; Telp/fax : +62 21 64711583

²⁾Institut Pertanian Bogor

Diterima : 25 November 2015 ; Selesai Perbaikan : 30 Maret 2018 ; Disetujui Setelah Perbaikan: 5 April 2018

ABSTRAK

Selat Dampier di daerah Raja Ampat merupakan salah satu selat yang melintasi gugusan pulau-pulau kecil di ujung barat kepala burung pulau Papua dan merupakan bagian dari kawasan *Coral Triangle* yang memiliki biodiversitas tinggi. Selain itu di lokasi ini terdapat situs arkeologi maritim, sehingga kawasan ini merupakan kawasan yang cocok untuk diusulkan menjadi kawasan *marine eco archeo park*. Penelitian awal kualitas perairan dilakukan pada Mei 2014 secara *purposive sampling* dengan menggunakan alat multiparameter secara *insitu* dan analisis sampel air di laboratorium. Parameter yang diukur yaitu salinitas, pH, turbiditas, padatan tersuspensi (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD₅), nitrat, tembaga dan nikel. Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan menggunakan analisis *Principal Component Analysis*. Hasil laboratorium menunjukkan bahwa semua parameter masih sesuai dengan KepmenLH no 51 tahun 2004, kecuali nilai tembaga pada saat pengukuran tidak sesuai, walaupun secara keseluruhan perairan Selat Dampier pada saat pengukuran masih dalam kondisi baik sebagai daerah taman nasional dan wisata bahari. Analisis PCA menunjukkan bahwa parameter yang berperan kuat di lokasi tersebut adalah BOD₅, pH, TSS dan kecerahan. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait dampak lingkungan akibat kegiatan di lokasi situs maritim dan daerah wisata bahari yang diusulkan di daerah konservasi Selat Dampier untuk mewujudkan *marine eco archeo park* berbasis ekosistem lestari.

Kata kunci: Kualitas air, *marine eco archeo park*, Selat Dampier, Raja Ampat.

ABSTRACT

Dampier strait in the Raja Ampat area is one of the straits which crosses the cluster of small islands at the western tip of the Papua's bird head area and is part of the Coral Triangle which is known as a region with high biodiversity. Furthermore, a maritime archaeological site is located in this area and therefore this area is considered suitable for a marine eco archeo park. Preliminary study on the water quality of this area was conducted in May 2014 by means of insitu purposive sampling using multiparameter instrument and laboratory analysis of water samples. The measured parameters include salinity, pH, turbidity, suspended solids (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD₅), nitrate, copper and nickel. Data analysis is descriptive based on PCA (Principal Component Analysis). The lab results show that all of the parameters are still conformed with the KepmenLH No. 51 of 2004, except the value of copper at the time of measurement exceeded the KepmenLH' standard, eventhough the overall condition of Dampier Strait as a national park and marine tourism area is good at the time of measurement. PCA analysis indicates that important parameters of the location include BOD₅, pH, TSS and brightness. Further research is needed related to the environmental impact due to activities in the proposed archeology maritime and marine tourism area within the Marine Protected Area (MPA) of the Dampier strait in creating a sustainable ecosystems based marine eco Archeo park.

Keywords: Water quality, *marine eco archeo park*, Dampier Strait, Raja Ampat.

Corresponding author:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: sriagustinrustam@yahoo.com

Copyright © 2018 Jurnal Segara

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v14i1.6786>

PENDAHULUAN

Kabupaten Raja Ampat merupakan kabupaten yang berada di bagian barat pulau induk Papua, memiliki luas wilayah 67.379,6 km² dengan wilayah laut sebesar 87 % dari total luas wilayah. Kabupaten Raja Ampat yang terdiri atas gugusan pulau berjumlah 610 pulau dengan empat pulau besar yaitu Pulau Misool, Pulau Salawati, Pulau Batanta dan Pulau Waigeo (Prayudha *et al.*, 2009; BPS, 2017). Ibukota kabupaten Raja Ampat yaitu kota Waisai terletak di distrik Waisai, Pulau Waigeo. Pulau yang berpenghuni terdiri dari 35 pulau dengan jumlah penduduk pada tahun 2017 sebanyak 46.613 jiwa (BPS, 2017).

Raja Ampat merupakan salah satu taman nasional laut yang berada di pusat *Coral Triangle*. Kawasan taman nasional Raja Ampat yang dilindungi mempunyai luas 835,21 ha pada tahun 2007, kemudian diperluas menjadi 1.185.940 ha (Agostini *et al.*, 2012). Kawasan konservasi kepulauan Raja Ampat ini merupakan bagian dari kawasan perlindungan Papua Barat yang dikenal dengan nama Bentang Laut Kepala Burung (BLKB) seluas 3,6 juta ha yang terbagi atas 12 kawasan konservasi perairan (Huffard *et al.*, 2010). Peran taman nasional ini sangat penting sebagai daerah yang memiliki biodiversitas yang tinggi dengan keindahan bawah lautnya. Selain itu, Selat Dampier merupakan lokasi tempat jatuhnya dua pesawat sekutu dalam Perang Dunia II dan merupakan salah satu lokasi yang memiliki kawasan terlindungi (*Marine Protected Area*) seluas 336.000 ha (DKKJI-KKP, 2015) dari semula 303.200 ha; MPA ini merupakan lokasi terluas ke dua setelah Misool (Agostini *et al.*, 2012). Keberadaan pesawat tersebut telah menjadi satu dengan ekosistem sekitarnya dan membentuk terumbu karang (*artificial reef*).

Selat Dampier dan Pulau Wai merupakan salah satu *spot* penyelaman ikan pari manta (Coremap II, 2007). Selain itu keberadaan reruntuhan pesawat peninggalan Perang Dunia II (PD II) *American P47-D - Razorback Aircraft* menjadikan daerah ini berpotensi sebagai kawasan situs arkeologi maritim. *Razorback Aircraft* yang merupakan bagian dari *squadron 7* milik sekutu, ditembak jatuh di Perairan Selat Dampier pada 21 Oktober 1944 saat akan menuju ke Sorong (Dillenja *et al.*, 2016). *Razorback aircraft wrecks* ditemukan pada kedalaman 3 meter, 30 meter dan 36 meter. *Razorback aircraft wrecks* telah menyatu dengan lingkungannya, dan dengan keanekaragaman hayati yang kaya serta keindahan alam bawah lautnya menjadikan lokasi ini berpotensi menjadi daerah tujuan wisata bahari dan *spot* penyelaman.

Adanya situs *aircraft wrecks* dan tingginya keanekaragaman hayati di daerah ini memunculkan konsep pengelolaan yang menggabungkan keduanya

agar upaya perlindungan memperhatikan baik sisi arkeologi maupun sisi ekosistem di sekitarnya. Konsep pengelolaan ini mengembangkan cara pemanfaatan taman laut berbasis ekologi dan arkeologi atau *marine eco archeo park*. Konsep *Marine eco archaeo park* (MEA park) merupakan pengembangan dari konsep *in situ preservation* dengan pemanfaatan situs melalui pengungkapan informasi/*story line history* terjadinya situs serta keunikan biodiversity dan lingkungannya yang ada disana. *Marine eco archaeo park* akan menjadi lokasi yang sangat menarik untuk di datangi oleh para penyelam baik lokal maupun wisatawan mancanegara (Troa *et al.*, 2016). Sebelumnya konsep ini pernah dikembangkan oleh Fozzati & Davidde, 1996, dalam Davidde, 2002) yang disebutnya dengan *Underwater eco archaeological or underwater nature-archaeological park* yang merupakan perpaduan antara taman dan suaka perlindungan arkeologi bawah air. MEA Park sangat menekankan pemanfaatan yang berbasis pelestarian keduanya (situs dan lingkungannya).

Konsep ini memperbolehkan kehadiran dan kunjungan wisatawan namun tetap memperhatikan kelestarian lingkungan yang berbasis arkeologi dan ekosistem sebagai dasar dalam pengelolaan lokasi. Salah satu persyaratan adalah melakukan estimasi daya dukung lingkungan lokasi terhadap kunjungan wisatawan serta dilaksanakannya pemantauan berkala untuk mengetahui perubahan kualitas dan kondisi lingkungan lokasi. Pemantauan yang dilakukan antara lain mencakup jumlah wisatawan, jumlah kapal sebagai sarana transportasi yang menuju kesana dan kualitas lingkungan seperti kondisi terumbu karang, kondisi situs serta kualitas perairan dilingkungan sekitarnya.

Kualitas perairan menjadi salah satu aspek yang perlu dipantau secara berkala agar perubahan kualitas perairan dapat diketahui dan diupayakan agar tetap sesuai untuk kehidupan biota didalamnya. Pemantauan parameter kualitas perairan yang diperlukan mencakup antara lain parameter kesuburan perairan seperti kecerahan, kandungan nutrisi (nitrat, fosfat) maupun zat berbahaya seperti logam berat (a.l. tembaga dan timbal) yang bisa berasal dari limbah kapal. Dalam kaitan langsung dengan kualitas perairan lingkungan situs, analisis dilakukan tidak hanya untuk melihat sejauh mana kondisi kualitas perairan yang mendukung wisata selam, tetapi juga untuk mengetahui adanya acaman degradasi pada situs. Oleh karena itu, kualitas perairan menjadi suatu kajian yang sangat penting dalam mendukung terwujudnya konsep MEA Park, baik dalam pelestarian maupun pemanfaatan situs sebagai obyek wisata bahari.

Tujuan penelitian lingkungan perairan selat Dampier adalah sebagai kajian awal dalam mendukung penerapan konsep MEA park di wilayah Kepala Burung.

Kualitas air dan kondisi perairan MEA park, seperti karakteristik arus dan kecerahan, merupakan unsur penting yang berkaitan dengan keselamatan penyelaman dan keselamatan situs. Adapun tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai parameter penting yang mencerminkan kualitas perairan di area calon MEA park.

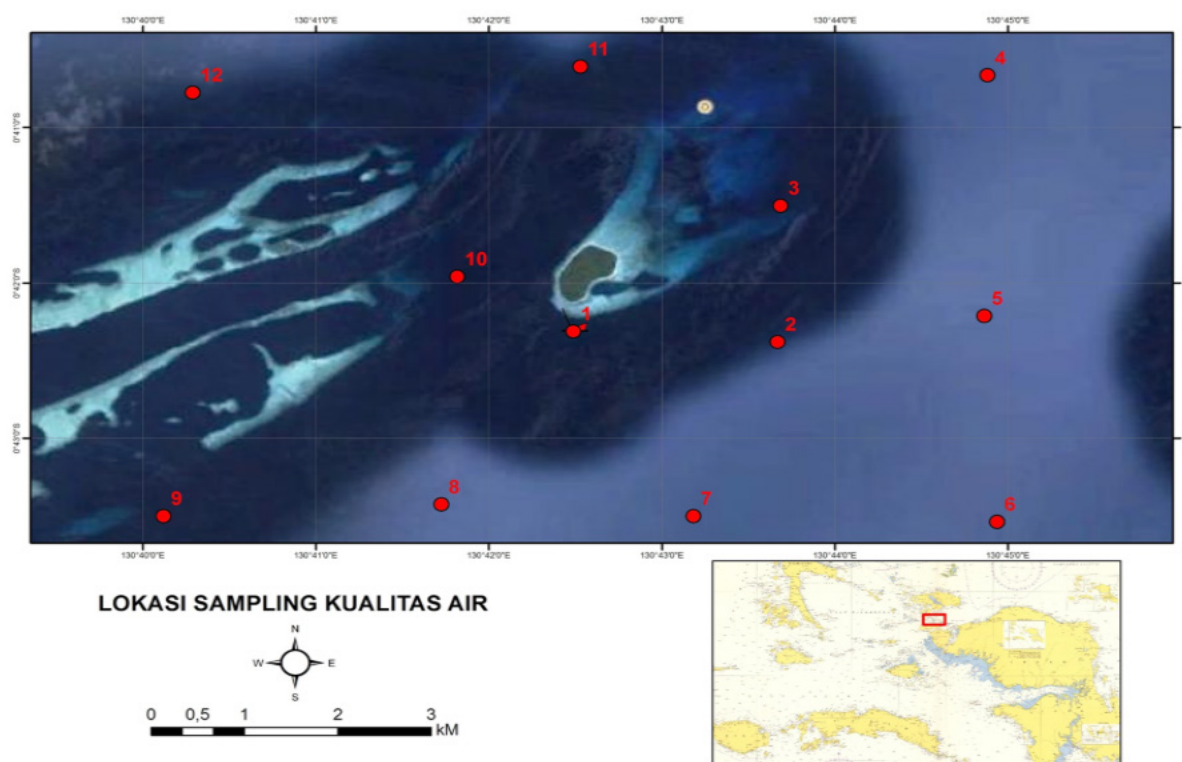
METODE PENELITIAN

Metode pengukuran dan pengambilan sampel air dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan keberadaan situs. Pengukuran karakteristik sampel air dan analisis dilakukan di laboratorium Produktivitas Lingkungan Perairan, Institut Pertanian Bogor (Proling IPB) untuk sampel dari 12 titik stasiun pengukuran kualitas perairan di lokasi studi (Gambar 1). Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan MS Excell 2010 untuk dapat menggambarkan kondisi eksisting kualitas perairan lingkungan secara spasial dengan software ArcGIS. Selain itu dilakukan analisis data sekunder kondisi perairan.

Untuk menentukan variasi parameter fisika-kimia dan biologi perairan antar stasiun penelitian digunakan pendekatan analisis statistik peubah ganda yang didasarkan pada Analisis Komponen Utama (*Principal Component Analysis*, PCA) (Legendre & Legendre, 1983). Analisis Komponen Utama (AKU) merupakan metode statistik deskriptif yang bertujuan untuk

menampilkan data dalam bentuk grafik dan informasi maksimum yang terdapat dalam suatu matriks data. Matriks data yang dimaksud terdiri dari stasiun penelitian sebagai individu statistik (baris) dan parameter lingkungan (fisik-kimia perairan) yang berbentuk kuantitatif (kolom). Analisis ini juga digunakan untuk mereduksi suatu gugus parameter yang berukuran besar dan saling berkorelasi, menguji kesamaan tempat dalam ruang jenis dan parameter lingkungan dengan cara menentukan aksis ortogonal melalui pemaksimalan keragaman. Selain itu analisis PCA dengan model logaritma digunakan untuk menyederhanakan set data dengan dimensi yang tinggi menjadi dimensi yang lebih sederhana untuk analisis data, visualisasi, ekstraksi dan kompresi/pemampatan data (Raiko *et al.*, 2007; Illin & Raiko, 2010). Blei (2008) mengatakan keuntungan analisis ini dapat menyederhanakan data dan mengklasifikasi data lebih cepat. Analisis statistik ini dilakukan dengan menggunakan XLStat 2013 (*evaluation*).

Parameter yang diukur berjumlah 9 parameter, yaitu pH, BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*), turbiditas/kekeruhan, kecerahan, salinitas, TSS (*total suspended solid*), nitrat, tembaga dan nikel, yang diukur pada kedalaman permukaan yaitu 0,2-0,8 meter. Parameter ini akan dibagi menjadi parameter fisika (kekeruhan dan TSS), parameter kimia (pH, salinitas, BOD₅ dan nitrat) serta parameter logam berat (tembaga dan nikel).



Gambar 1. Lokasi sampling kualitas air di sekitar P47-D *Razorback aircraft wreck* di Selat Dampier yang masuk dalam peta kawasan konservasi.

Data arus permukaan pada tahun penelitian (empat musim) diambil dari data sekunder *Global Ocean Physics Analysis and Forecast* yang berasal dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) dengan resolusi $1/12^\circ$ atau $9,25 \times 9,25$ km. Basis data dalam model physics analysis pada CMEMS menggunakan Model NEMO versi 3.1 dan memiliki ketersediaan data secara vertikal dengan 50 lapisan kedalaman. Analisis data arus permukaan laut dilakukan dengan menggunakan komponen utara-selatan (meridional) dan timur-barat (zonal). Sedangkan untuk pengolahan data gelombang menggunakan data yang berasal dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) dengan resolusi $0,125$ atau $13,88 \times 13,88$ km. Parameter yang digunakan dalam analisis data gelombang adalah periode gelombang, tinggi gelombang, dan arah gelombang. Kedua data awal yang memiliki rata-rata harian kemudian diolah untuk mendapatkan rata-rata bulanan yang mewakili tiap-tiap musim yaitu Musim Barat, Musim Peralihan I dan II, serta Musim Timur. Selanjutnya dilakukan proses gridding resolusi data menjadi 1×1 km yang kemudian dibuat visualisasi sebaran masing-masing parameter dengan menggunakan *software* ODV (Lab Data Pusat Riset kelautan, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan nilai parameter kualitas air di lokasi penelitian disandingkan dengan baku mutu untuk biota laut berdasarkan KepMenLH (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup) No 51 tahun 2004.

Secara keseluruhan kualitas air di lokasi penelitian (Tabel 1) menunjukkan kisaran normal kecuali konsentrasi terlarut logam berat tembaga (Cu). Nilai Cu berada diatas rata-rata baku mutu KepMenLH No 51 tahun 2004. Pembahasan mengenai kualitas perairan dibagi menjadi kualitas perairan berdasarkan parameter fisika, kimia dan logam berat.

Kualitas perairan parameter fisika

Parameter fisika yang diukur pada penelitian ini adalah kecerahan, kekeruhan dan TSS. Nilai ketiga parameter ini di seluruh lokasi penelitian menunjukkan kualitas air dalam kondisi bagus dengan nilai yang tidak melebihi baku mutu KepMenLH No 51 tahun 2004 baik untuk biota laut maupun wisata bahari (Tabel 1 dan Gambar 2).

Distribusi spasial kecerahan perairan berkisar antara 4,5 - 21,9 m dengan rata-rata $16,65 \pm 4,3072$ m. Nilai terendah berada di stasiun 1 yang merupakan juga nilai kedalaman terumbu karang di pesisir Pulau Wai. Penelitian yang dilakukan oleh Dinas Perikanan dan Kelautan Raja Ampat bersama COREMAP II tahun 2007 menunjukkan kecerahan di perairan Raja Ampat berkisar antara 4 - 23 m dengan rata-rata kecerahan 12,91 m (DKP, 2007).

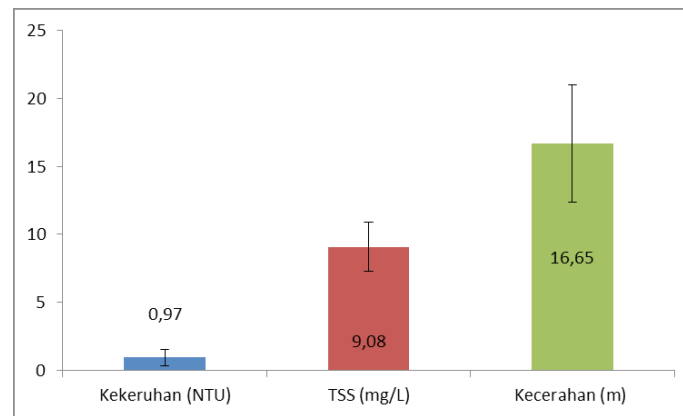
Secara keseluruhan nilai kecerahan masih bagus dan sesuai dengan baku mutu air laut baik untuk wisata bahari maupun biota laut terutama karang. Parameter visibilitas perairan yang diamati secara visual menunjukkan seluruh lokasi pengamatan adalah jernih. Visibilitas perairan merupakan salah satu parameter penting dalam wisata bahari terutama untuk wisata selam untuk dapat menikmati keindahan alam bawah laut baik itu terumbu karang maupun objek tertentu, dalam hal ini adalah P47-D *Razorback aircraft wreck*. Selain itu visibilitas yang jernih sangat terkait erat dengan pertumbuhan terumbu karang yang membutuhkan sinar matahari untuk fotosintesis *zooxanthallae* (alga), hal ini sangat penting dalam proses simbiosis mutualismenya dengan hewan karang sehingga dapat membentuk terumbu.

Kecerahan merupakan gambaran kedalaman air yang dapat ditembus oleh cahaya dan umumnya tampak secara kasat mata. Kecerahan air tergantung pada warna perairan dan kekeruhan. Kecerahan pada suatu perairan sangat erat kaitannya dengan proses fotosintesa yang terjadi di perairan secara alami

Table 1. Parameter kualitas air Selat Dampier, Raja Ampat bulan Mei 2014

Parameter	Minimum	Maksimum	Rerata	Standar Deviasi	Baku Mutu*
Kekeruhan (NTU)	0,49	2,6	0,968	0,590	< 5
TSS (mg/L)	8	13	9,077	1,801	20 - 80
Kecerahan (m)	4,5	21,9	16,646	4,307	> 6
Visibility	Jernih	Jernih	Jernih	Jernih	
pH	7,38	7,84	7,559	0,176	7 - 8,5
BOD ₅ (mg/L)	1	1,4	1,207	0,119	20
Salinitas(PSU)	31,6	32,1	31,74	0,161	33 - 34
Nitrat (mg/L)	0,002	0,137	0,020	0,037	0,008
Tembaga (mg/L)	0,008	0,009	0,009	0,0002	0,008
Nikel (mg/L)	0,003	0,017	0,011	0,005	0,05

*KepMen LH No 51 tahun 2004 untuk biota laut dan wisata bahari



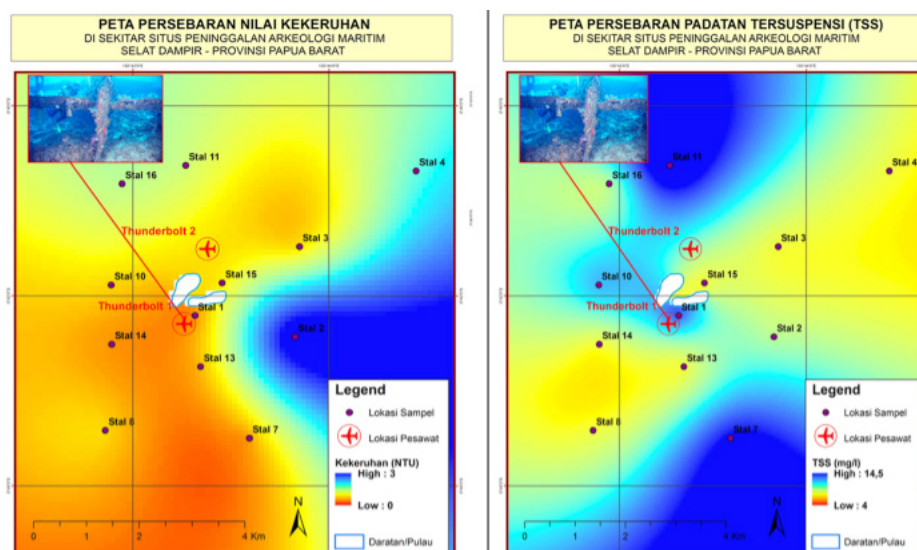
Gambar 2. Nilai kekeruhan, TSS dan kecerahan di lokasi penelitian Mei 2014.

terutama bagi fitoplankton untuk perairan yang jarang terdapat tumbuhan berukuran besar seperti makro algae (rumpun laut) dan lamun. Menurut Nybakken (1992), fotosintesa hanya dapat berlangsung bila intensitas cahaya yang sampai ke suatu sel alga lebih besar dari intensitas di suatu perairan. Nilai kecerahan yang tinggi diperkuat dengan nilai kekeruhan dan TSS yang rendah.

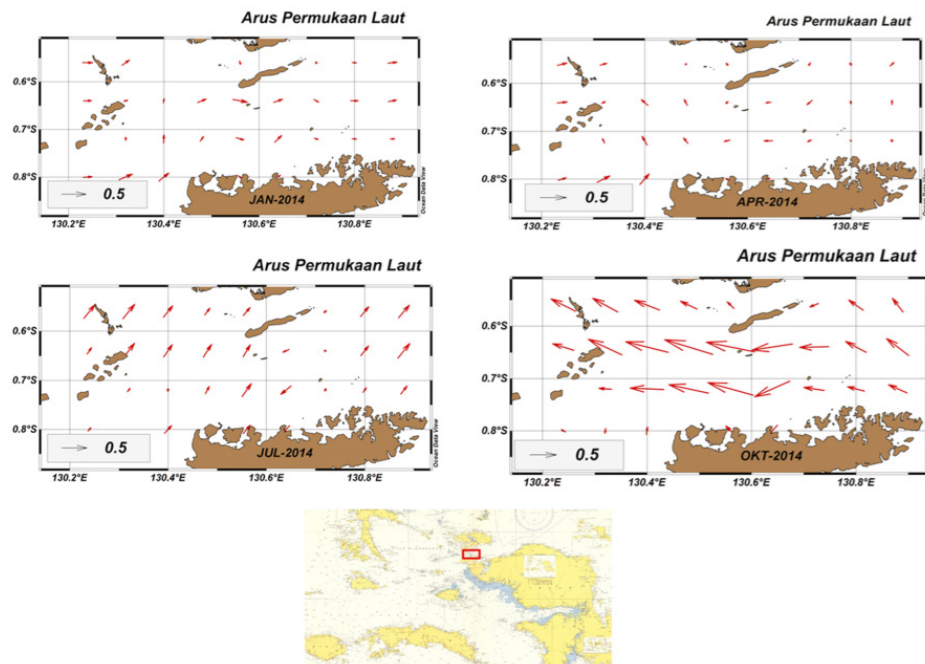
Distribusi spasial kekeruhan di 13 stasiun berkisar antara 0,49 - 2,6 NTU dengan rata-rata sebesar $0,97 \pm 0,5896$ NTU. Gambar 3 menunjukkan distribusi sebaran spasial kekeruhan dan rata-rata TSS di Selat Dampier; hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa lokasi penelitian masih dalam kondisi baik dengan kekeruhan dan TSS dibawah baku mutu yang ditentukan baik untuk biota laut maupun untuk wisata bahari. Kekeruhan pada lokasi situs *Razorback aircraft wreck* nilainya mendekati nol yaitu 0,51 NTU dan 0,87 NTU (dekat dengan Stasiun 1 dan Stasiun 15) (Gambar 3).

Nilai kekeruhan rata-rata maupun nilai kekeruhan setiap stasiun penelitian (13 stasiun) masih berada dalam keadaan bagus, yaitu di bawah baku mutu air laut baik untuk biota laut maupun untuk wisata bahari yaitu < 5 NTU. Gambar 3 panel kanan memperlihatkan nilai kekeruhan tertinggi pada stasiun 2 yang agak jauh dari lokasi reruntuhan pesawat yaitu sebesar 2,6 NTU namun berdasarkan kecerahan stasiun ini memiliki kecerahan yang cukup tinggi yaitu 18 m. Secara keseluruhan nilai kekeruhan di lokasi penelitian yang dekat dengan reruntuhan pesawat adalah rendah dan menjauh ke arah timur nilai kekeruhan mulai meningkat dan tertinggi pada stasiun 2 (Gambar 3 panel kiri).

Nilai TSS berkisar antara 8 - 13 mg/L dengan nilai rata-rata sebesar $9,08 \pm 1,8$ mg/L. TSS merupakan jumlah total padatan yang tersuspensi dalam perairan; ukuran padatan tersuspensi di perairan adalah lebih besar atau sama dengan $0,45 \mu\text{m}$. Distribusi spasial TSS memiliki pola yang berbeda dengan kekeruhan. Disekitar lokasi situs arkeologi maritim nilai TSS



Gambar 3. Distribusi spasial kekeruhan (kiri) dan TSS (kanan) di perairan Selat Dampier, Raja Ampat, Papua Barat, Mei 2014.



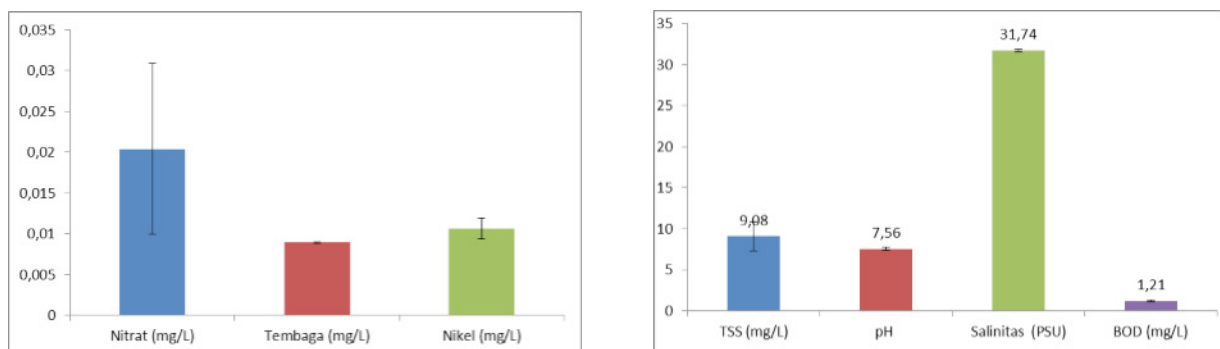
Gambar 4. Arus permukaan di selat Dampier (Sumber: Lab Data Pusat Riset Kelautan, 2018).

cenderung tinggi (11 mg/L), namun nilai ini masih jauh di bawah baku mutu. Keberadaan TSS dalam perairan terkait erat dengan kecerahan perairan yang akhirnya akan berpengaruh pada proses fotosintesis mikro algae yang bersimbiosis dengan karang (*zooxanthellae*). Diketahui bahwa wilayah Kepala Burung Papua memiliki biodiversitas mikro algae *zooxanthellae* sebanyak 574 spesies yang mendukung pertumbuhan 280 spesies karang dalam satu hektar (Veron *et al.*, 2009). Ini mengindikasikan bahwa dengan banyaknya *zooxanthellae* yang hidup di daerah Kepala Burung Papua maka pertumbuhan hewan karang yang bersimbiosis dengan *zooxanthellae* juga tinggi sehingga membentuk terumbu yang beraneka warna. Hal ini dibuktikan dengan keberadaan *Razorback aircraft wreck* yang telah menjadi suatu bentukan karang dengan wujud seperti pesawat (Gambar 3 panel kanan).

Perairan kawasan konservasi selat Dampier

merupakan salah satu lintasan pergerakan massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia yang dikenal dengan Arus Laut Indonesia (Arlindo) atau *Indonesian Through Flow* (ITF). Total massa air yang berpindah per tahun mencapai 15 sverdrup (Sv) yang keluar melalui selat Lombok (2,6 Sv) selat Ombai (4,9 Sv) dan lintasan Timor (7,9 Sv) ke Samudera Hindia yang sebelumnya melewati berbagai perairan di Indonesia antara lain selat Dampier (Sprintall *et al.*, 2009). Massa air ini membawa berbagai macam telur dan larva dari Samudera Pasifik sehingga perairan Selat Dampier yang dilaluinya mempunyai keanekaragaman hayati yang tinggi dengan kondisi bawah air yang indah dan baik untuk dijadikan spot penyelaman.

Analisis arus permukaan di lokasi penelitian selat Dampier (Gambar 4) menunjukkan bahwa arus permukaan pada musim peralihan antara musim timur ke musim barat (bulan Oktober) bergerak dari arah timur menuju barat dengan kecepatan rata-rata 0,46



Gambar 5. Nilai rata-rata parameter kimia di perairan Selat Dampier, Raja Ampat, Papua Barat, Mei 2014.

m/s. Arus permukaan pada musim barat, musim timur maupun musim peralihan bergerak dari barat ke timur dengan kecepatan lebih rendah dari kecepatan pada musim peralihan timur ke barat (Gambar 4).

Kualitas perairan parameter kimia

Enam parameter kimia yang diukur pada penelitian ini adalah pH, salinitas, BOD₅, nitrat dan logam berat jenis tembaga (Cu) dan nikel (Ni).

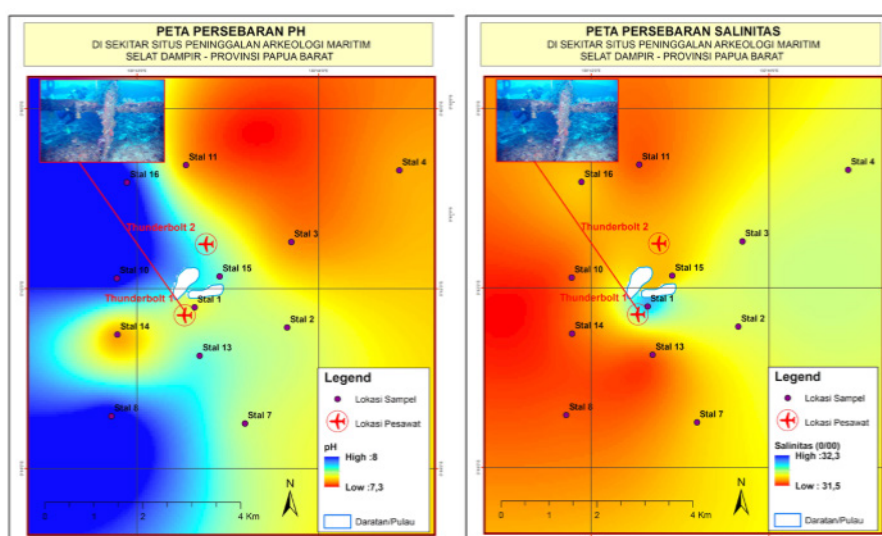
Gambar 5 memperlihatkan bahwa sebaran nilai parameter kimia di 13 lokasi penelitian seragam kecuali nitrat. Nilai pH hasil penelitian adalah $7,56 \pm 0,18$, nilai ini lebih rendah dibandingkan penelitian Pemkab Raja Ampat tahun 2006 sebesar 8,08 (Pemkab, 2006). Nilai pH di Selat Dampier lebih tinggi dibandingkan di perairan Raja Ampat lainnya yaitu Salawati 7,5 (Dimara *et al.*, 2014).

Gambar 6 menjelaskan sebaran pH pada lokasi penelitian, nilai pH dekat *wreck* berada pada kisaran rendah sampai sedang (panel kiri) yang ditunjukkan pada stasiun 1 (7,49) dan stasiun 15 (7,6) (panel kanan). Nilai pH ke arah barat dari lokasi *wreck* meningkat sedangkan ke arah timur menurun. Hal ini dapat dijelaskan bahwa meningkatnya nilai pH dari timur ke arah barat dapat disebabkan daerah timur lebih dekat dengan pulau papua sehingga pengaruh dari daratan lebih besar sedangkan makin ke barat makin jauh dari pengaruh daratan. Nilai pH dalam suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: aktivitas biologi, fotosintesa, suhu, kandungan oksigen, dan adanya kation dan anion (Pemkab, 2006). Selain itu perubahan nilai pH dapat juga disebabkan oleh buangan industri dan rumah tangga yang terbawa oleh sungai (Mahida, 1986) dengan nilai pH sungai

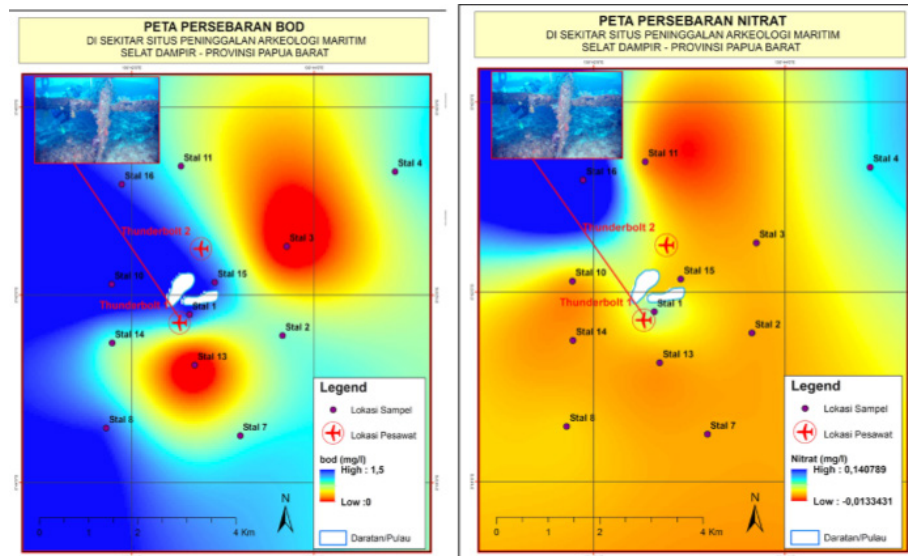
umumnya rendah (<7) sehingga keberadaan ion dan kation di badan air juga rendah. Namun nilai pH di lokasi penelitian berdasarkan KepMenLH No 51 tahun 2004 masih sesuai untuk biota laut dan wisata bahari (7-8,5).

Gambar 6 menunjukkan distribusi spasial salinitas pada lokasi situs sebesar $31,74 \pm 0,161$ PSU, terlihat bahwa nilai salinitas terutama pada lokasi *wreck* yang dekat dengan pulau lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya. Pola sebaran yang berbeda dengan nilai pH sebaran salinitas rendah jauh dengan daratan dan meningkat mendekati daratan (timur). Namun perbedaan kisaran salinitas rendah dan tinggi pada penelitian ini sangat sempit yaitu 0,5 (31,6 - 32,1 PSU) sehingga dapat dikatakan nilai salinitas di lokasi penelitian seragam. Nilai salinitas ini sesuai untuk kehidupan biota laut yang merupakan salinitas alami, walaupun nilai yang sesuai dengan KepmenLH No 51 tahun 2004 untuk karang berkisar antara 33 - 34 PSU dengan perubahan $< 5\%$ dari rata-rata salinitas musiman. Nilai salinitas perairan Raja Ampat menurut Pemkab (2006) rata-rata 33,91 PSU dengan kisaran 30 - 35 PSU.

BOD (*Biological Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen biologis merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikro organisme (jasad renik) untuk melakukan kegiatan metabolisme bahan organik terlarut dan sebagian bahan organik tersuspensi serta bahan anorganik (senyawa nitrogen, sulfida dan ferro) (Wibisono, 2005; Sanusi, 2006). Nilai rata-rata BOD₅ di lokasi penelitian adalah $1,207 \pm 119$. Sebaran spasial nilai BOD₅ (Gambar 7 - panel kiri), perairan menunjukkan adanya konsentrasi nilai terendah pada stasiun 13 dan stasiun 3, dan nilai BOD₅ dekat ke arah daratan (timur) lebih rendah dibandingkan yang



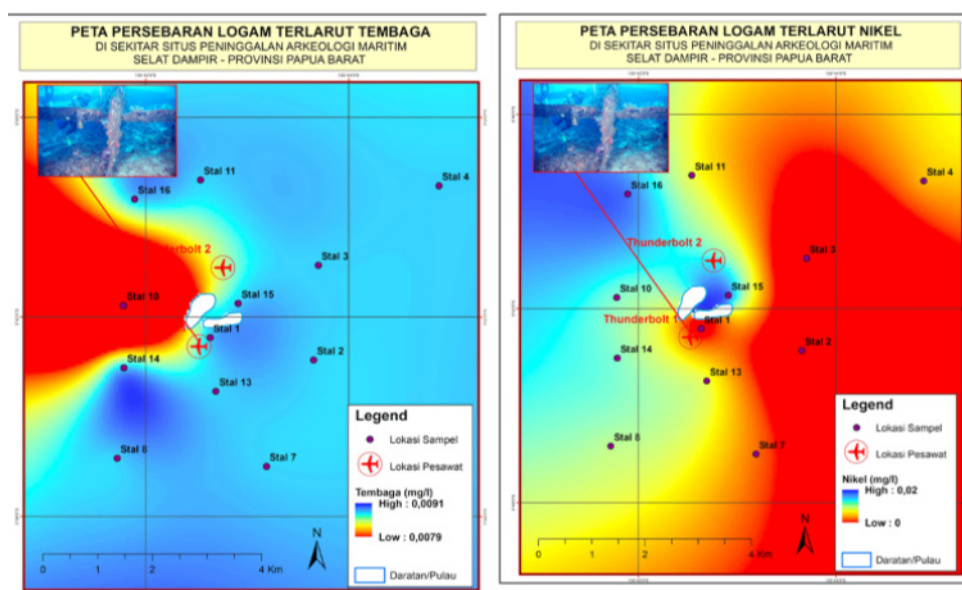
Gambar 6. Distribusi spasial pH (kiri) dan salinitas (kanan) di Selat Dampier, Raja Ampat, Papua Barat, Mei 2014.



Gambar 7. Distribusi spasial BOD (kiri) dan nitrat (kanan) di Selat Dampier, Raja Ampat, Papua Barat, Mei 2014.

menjau daratan (barat). Hal ini menunjukkan adanya stasiun yang memiliki nilai bahan organik di bagian barat lokasi penelitian lebih banyak dibandingkan dengan bagian timur. Namun nilai BOD_5 masih jauh dari ambang batas baku mutu KepMenLH No 51 tahun 2004 (20). Nilai BOD_5 yang rendah menunjukkan perairan masih dalam kondisi baik dan belum terjadi pencemaran bahan organik yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh klasifikasi Lee *et al.* (1978) bahwa nilai $BOD_5 \leq 2,9$ mg/L menunjukkan kondisi perairan tidak tercemar. Mengacu pada KepMenLH No 51 tahun 2004, nilai ini masih sangat sesuai untuk wisata bahari seperti penyelaman dan kehidupan biota laut terutama pertumbuhan dan pembentukan terumbu karang.

Nutrien merupakan salah satu faktor yang menunjang dalam penentuan kualitas suatu perairan (Damar, 2004). Nutrien dipergunakan dalam pembentukan sel biota seperti fitoplankton dan tanaman, dan salah satu nutrisi atau unsur hara di perairan yang umumnya diukur adalah nitrat. Nitrat dan amonium (NH_4^+) merupakan unsur nitrogen di perairan yang dapat dimanfaatkan biota (Sanusi, 2006). Kisaran nitrat di lokasi penelitian adalah 0,002 - 0,137 mg/L dengan rata-rata $0,020 \pm 0,037$ mg/L. Nilai nutrisi tampaknya berfluktuasi dengan besarnya nilai standar deviasi dibandingkan nilai rata-rata. Hal ini diperkuat dalam Gambar 7 bahwa sebanyak 62% stasiun memiliki nilai nitrat dibawah 0,008 mg/L. Tingginya nilai nitrat di stasiun 16 dapat



Gambar 8. Distribusi spasial tembaga (Cu) dan nikel di Selat Dampier, Raja Ampat, Papua Barat, Mei 2014.

disebabkan oleh nutrisi yang terbawa dari daratan Pulau Waigeo belum dimanfaatkan secara maksimal oleh biota. Nilai nitrat di perairan Waigeo pada tahun 2001 adalah tinggi dengan nilai sebesar $2,13 \pm 4,07$ mg/L (COREMAP, 2001). Secara keseluruhan sebaran spasial nilai nitrat di lokasi penelitian melebihi baku mutu air laut KepMenLH no 51 tahun 2004 (0,008 mg/L). Nitrat merupakan nutrisi untuk pertumbuhan biota sehingga dapat dikatakan perairan di lokasi penelitian merupakan perairan yang subur.

Parameter kimia lainnya yang diukur adalah logam berat tembaga dan nikel. Tembaga berasal dari limbah kapal atau berasal dari korosi bangkai pesawat (Palar, 1994), sedangkan nikel berasal dari kegiatan penambangan nikel di daratan Pulau Waigeo sehingga limbah nikel dikhawatirkan mencemari perairan Raja Ampat.

Sebaran spasial logam berat tembaga menunjukkan nilai yang hampir seragam di semua lokasi penelitian yaitu 0,009 mg/L (Gambar 8). Nilai ini sedikit di atas nilai baku mutu KEPMENLH no 51 tahun 2004 untuk biota laut (0,008 mg/L) dan masih jauh di bawah baku mutu untuk wisata bahari (0,05 mg/L). Keberadaan tembaga di perairan merupakan elemen mikro yang dibutuhkan oleh biota, namun dalam jumlah yang sedikit (Palar, 1994; Sanusi, 2006); keberadaan unsur tembaga di perairan yang melebihi kebutuhan akan mengakibatkan terjadinya bioakumulasi (Palar, 1994).

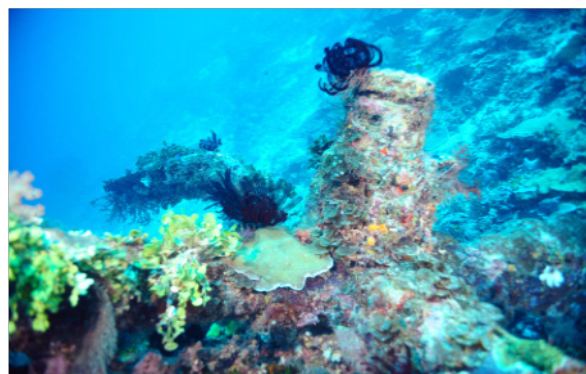
Nikel merupakan bahan galian untuk keperluan industri terutama sebagai campuran besi baja dan stainless steel. Raja Ampat merupakan daerah yang kaya akan hasil tambang antara lain nikel yang sebarannya di P. Gebe, P. Kawe, P. Gag, P. Batangpele, P. Manyafun, P. Nawan dan P. Waigeo di sebelah utara dan selatan Teluk Mayalibit (Pemb. Raja Ampat, 2006). Nilai nikel di lokasi penelitian

berkisar antara 0,003-0,017 mg/L dengan rata-rata sebesar $0,011 \pm 0,005$ mg/L. Nilai ini masih jauh di bawah baku mutu KepMenLH no 51 tahun 2004 (0,05 mg/L), sehingga dapat dikatakan perairan ini masih dalam kondisi baik untuk kehidupan biota maupun wisata bahari.

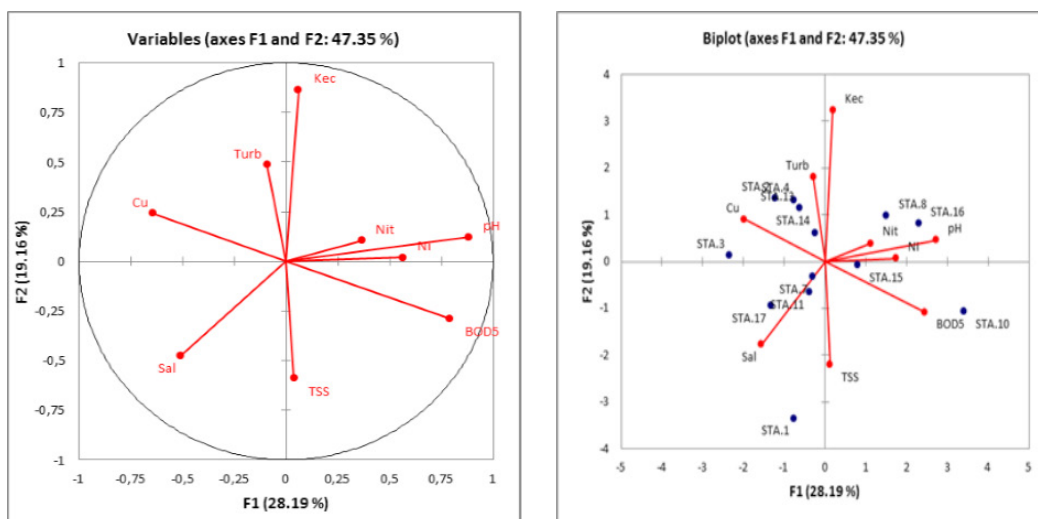
Sebaran spasial nikel terlihat lebih tinggi di bagian utara yang dekat dengan Pulau Waigeo dibandingkan dengan yang dekat daratan Papua (bagian selatan). Hal ini dapat disebabkan keberadaan tambang nikel yang sedang beroperasi ada di Pulau Waigeo yaitu seperti PT Bumi Makmur Selaras dan Waigeo Mining (Pemb. Raja Ampat, 2006).

P47-D Razorback aircraft wreck sebagai artificial reef dan wisata bahari

Reruntuhan pesawat terbang P47-D Razorback yang jatuh di laut pada perang dunia II telah ditutupi biota menempel dan karang dan masih menampilkan bentuk kapal (Gambar 9). Bangkai pesawat ini telah membentuk *artificial reef* dan menjadi rumah bagi berbagai jenis ikan dengan pemandangan bawah air yang indah sehingga dapat menjadi destinasi wisata bahari. Perairan Raja Ampat merupakan bagian dari wilayah *Coral Triangle* yang merupakan pusat keanekaragaman hayati laut tropis terkaya di dunia (Rumetna *et al.*, 2011) yang menyimpan lebih dari 50 % kekayaan terumbu karang dunia dengan 456 spesies karang keras (Mc Kenna *et al.*, 2002). Perairan ini memiliki 574 species *zoanthellate corals* dengan masing-masing terumbu yang terbentuk mendukung kehidupan karang sampai 280 species/ha (Veron *et al.*, 2009). Selain itu perairan Selat Dampier juga merupakan daerah pembesaran stok ikan pelagis kecil kembang banjar (*Rastrelliger kanagurta* Cuvier, 1816) atau dikenal dengan nama daerah ikan lema (Oktaviani *et al.*, 2014) dan merupakan daerah yang secara biodiversitas sangat kaya dengan sekitar 212



Gambar 9. *Razorback aircraft wreck* yang telah menjadi *artificial reef* di perairan Selat Dampier, Raja Ampat, Papua Barat, Mei 2014.



Gambar 10. Analisis PCA karakteristik fisikokimia situs arkeologi maritim Selat Dampier, Raja Ampat.

spesies ikan karangnya (Allen, 2002).

Penempelan biota (*fouling*) pada bangkai pesawat dapat mencegah dan mengurangi kemungkinan terjadinya korosi. Proses penempelan dimulai dari *mikro fouling* sampai *makro fouling* (Railkin, 2005) oleh berbagai jenis karang dan menyebabkan bangkai pesawat menjadi terlindungi. Keindahan berbagai jenis karang yang menempel pada reruntuhan pesawat akan menimbulkan pemandangan bawah air yang indah, dan keberadaannya pada kedalaman yang tidak terlalu dalam dapat menjadi daerah wisata selam tersendiri seperti keindahan bangkai kapal di Tulamben, Bali (Ridwan *et al.*, 2014).

Analisis karakteristik habitat

Analisis karakteristik habitat dilakukan dengan analisa statistik PCA, agar dapat diketahui dari semua parameter yang terukur parameter mana yang berperan di lokasi penelitian (Gambar 10). Variasi kondisi antar stasiun dianalisa dan dideterminasi berdasarkan sebaran 8 parameter karakteristik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.

Hasil analisis PCA dari matriks ragam peragam menggambarkan hubungan antara parameter lingkungan dengan sebaran spasial stasiun penelitian dijelaskan pada keempat sumbu utama (F1, F2, F3 dan F4) sebesar 77,84 % (kriteria nilai eigen >1). Besaran prosentase pada masing-masing sumbu adalah F1 28,19%, F2 19,16 %, F3 16,35% dan F4 14,15% dari ragam total.

Karakteristik habitat berdasarkan analisis PCA yang dilakukan mendapatkan 5 parameter yang berperan di lokasi penelitian dari 9 parameter yang diukur. Lima parameter ini terjelaskan dalam sumbu F1

(horizontal) terdiri dari parameter kimia BOD₅, pH dan logam berat tembaga (Cu), sedangkan sumbu vertikal F2 menjelaskan parameter fisika kecerahan dan TSS (Gambar 10 panel kiri). Nilai BOD₅ dan pH berkorelasi positif dengan nilai $r=0,605$. Logam berat Cu berkorelasi negatif ($r=-0,487$) dengan parameter BOD₅. Parameter BOD₅ merupakan parameter yang menjelaskan jumlah oksigen yang diperlukan mikroorganisme mengurai bahan organik yang terkandung dalam kolom air, diketahui jumlah oksigen terlarut dipengaruhi oleh pH (Effendi, 2003). Stasiun yang dicirikan dengan 5 parameter tersebut adalah stasiun 3, 8, 10 dan 15 dicirikan dengan parameter BOD₅, pH dan keberadaan logam berat tembaga, stasiun 1 dan 4 dicirikan dengan parameter fisika turbiditas, kecerahan dan TSS (Gambar 10 panel kanan).

KESIMPULAN

Parameter kualitas perairan yang terukur secara umum masih sesuai baku mutu KEPMENLH no 51 tahun 2004, kecuali untuk sebaran logam berat terlarut tembaga yang melebihi ambang baku mutu. Tinggi nilai tembaga mengindikasikan tingginya limbah tembaga yang mungkin berasal dari kapal wisatawan. Pemantauan dan pengambilan sampel air pada waktu-waktu tertentu misalnya waktu puncak kedatangan wisatawan dan waktu tidak ada atau sedikit wisatawan datang mungkin akan memberikan informasi yang lebih akurat. Keberadaan P47-D *Razorback aircraft wreck* yang telah ditutupi karang dengan bentuk pesawat yang tampak dengan jelas, memperkuat usulan Selat Dampier sebagai spot penyelaman wisata bahari dalam konsep *Marine Eco-Archaeo park*. Namun demikian, pemantauan kualitas lingkungan situs arkeologi dan wisata penyelaman seperti pemantauan kualitas perairan perlu dilakukan secara berkala.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Balitbang KP (Pusat Riset Kelautan, BRSDM KP) dan Laboratorium Data Pusat Riset Kelautan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agostini, V.N., Grantham, H.S., Wilson, J., Mangubhai, S., Rotinsulu, C., Hidayat, N., Muljadi, A., Muhajir., Mongdong, M., Darmawan, A., Rumatna, L., Erdmann, M.V. & Possingham, H.P. (2012). Achieving fisheries and conservation objectives within marine protected areas: zoning the Raja Ampat network. The Nature Conservancy, Indo-Pacific Division, Denpasar. Report No 2/12. 71 hal.
- Allen, G.R. (2002). Reef fishes of the Raja Ampat islands, Papua Province, Indonesia. RAP Bulletin of Biological Assessment 22. Conservation International, Washington DC(US). 46 - 57
- Blei, D (2008). COS 424: Interacting with data. http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/spr08/cos424/scribe_notes/0424.pdf [12 Agustus 2015]
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2017). Kabupaten Raja Ampat dalam Angka. BPS Kabupaten Raja Ampat. ISSN: 2088.6438.
- [COREMAP] Coral Reef Rehabilitation and Management Program. (2001). Baseline study kepulauan Raja Ampat, Papua. Coremap dan Lipi. Jakarta 143 hal
- Damar, A. (2004). Effect of Enrichment on Nutrient Dynamics, Phytoplankton Dynamics and Productivity in Indonesias Tropical Water: a Comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. PhD Dissertation. Cristian-Albrechts-University. Kiel, Germany. 235 p
- Davidde, B (2002). Underwater archaeological parks: a new perspective and a challenge for conservation-the Italian panorama. The international journal of Nautical Archaeology. 31: 83-88. DOI: 10.1006ijna.2002.1001
- Diilenia, I., Troa, R. & Triarso, E. (2016). In situ preservation of marine archaeological remains based on geodynamic condition, Raja Ampat, Indonesia. Conservation and Management of Archaeological Sites. 18:1-3. 364-372. DOI:10.1080/13505033.2016.1182775
- Dimara, W., Ngangi, E.D. & Mondoringin, L.L.J.J. (2014). Evaluasi lahan pembudidayaan rumput laut di perairan Kampung Sakabu, Pulau Salawati, Kabupaten Raja Ampat. Budidaya Perairan Vol 2 No 3. 64 -68
- [DKP] Departemen Kelautan dan Perikanan. (2007). Laporan Akhir: Penyusunan rencana strategis pengelolaan terumbu karang Kabupaten Raja Ampat. Unit Pelaksanaan Rehabilitasi dan Pengelolaan Terumbu Karang Tahap II (COREMAP II).
- Effendi, H. (2003). Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 259 hal
- Huffard, C.L., Wilson, J., Hitipeuw, C., Rotinsulu, C., Mangubhai, S., Erdmann, M.V., Adnyana, W., Barber, P., Manuputty, J., Mondong, M., Purba, G., Rhodes, K. & Toha, H. (2010). Pengelolaan berbasis ekosistem di Bentang Laut Kepala Burung Indonesia: Mengubah ilmu pengetahuan menjadi tindakan. Ecosystem Based Management Program: Conservation International, The Nature Conservancy, and WWF Indonesia. 40 hal
- Illin, A. & Raiko, T. (2010). Practical approaches to principal component analysis in the presence of missing values. Journal of Machine Learning Research (11); 1957 - 2000.
- [KEPMENLHKEPMENLH] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51. (2004). Baku mutu air laut. Jakarta. 10 hal
- Lee, C.D., Wang S.B. & Kao C.L. (1978). Benthic macroinvertebrate and fish as biological indicator of water quality with reference to community diversity index. In Quano E.A.R., Developing countries, The Asian Institute of Technology, London.
- Legendre, L. & Legendre, P. (1983). Statistical Ecology: A Primer on Method and Computing. Jhon Wiley and Sons.Inc.New York .337 p.
- Mahida, U.N. (1986). Pencemaran air dan pemanfaatan limbah industri. C.V. Rajawali. Jakarta. 543 hal
- McKenna, S.A., Allen, G.R., & Suryadi, S. (2002). A marine rapid assesment of the Raja Ampat Island, Papua Province, Indonesia. RAP Bulletin of Biological Assessment 22. Conservation International, Washington DC(US). 190 hal
- Nybakken, J.W. (1992). Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologi. Penerjemah: M. Eidman, Koesoebiono, D.G. Bangen, M. Hutomo dan S. Sukarjo. Jakarta.

Gramedia : 459 hal.

978-616-7961-17 ISBN 978-616-7961-16-3
e-book

- Oktaviani, D., Supriatna, J., Erdmann, M., & Abinawanto, A. (2014). Maturity stages of Indian Mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1817) In Mayalibit Bay, Raja Ampat, West Papua. *International Journal of Aquatic Science*. 5(1):67-76.
- Prayudha, B., Leatemia, F. & Picasauw, J. (2009). Monitoring terumbu karang Raja Ampat (Pulau-pulau Batangpele). CREMAP II LIPI. Jakarta. 36 hal
- Palar, H. (1994). Pencemaran dan Toksikologi logam berat. Jakarta :Rineka Cipta
- [Pemkab Raja Ampat] Pemerintah Kabupaten Raja Ampat. (2006). Atlas sumberdaya pesisir Kabupaten Raja Ampat. 154 hal
- Railkin, A.I. (2004). Marine biofouling. Colonization processes and defence. CRC Press. Florida
- Raiko T., Ilin, A. & Karhunen, J. (2007.) Principal component analysis for sparse high-dimensional data. In *Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2007)*, pages 566–575, Kitakyushu, Japan, 2008.
- Ridwan, N.N.H., Husrin, S., Kusumah, G., Ilham, A., Putra, A. & Sofyan, H. (2014) The vulnerability assessment USAT Liberty underwater heritage, Tulamben Bali to changes in the physical environment. *Seminar Hasil Penelitian Terbaik tahun 2014*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan.
- Rumetna, L., Amin, M.I., Rotinsulu, C. & Mongdong, M. (2011). Pembentukan struktur tata kelola (lembaga pengelola) yang representatif untuk pengelolaan jejaring Kawasan Konservasi Laut Daerah Raja Ampat yang efektif. *Marine Program - Asia Pacific Conservation Region, The Nature Conservancy publishing, Indonesia*.
- Sanusi, H. (2006). *Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. 188 hal
- Troa, R., Dillenia, I. & Triarso, E (2016). Preserving underwater cultural heritage sites in the Natuna islands, Indonesia: A multidisciplinary approach to utilization towards a Marine Eco-Archeological Park. *Proceeding Advancing Southeast Asias Archaeology*. SEAMEA SPAFA. 211- 222. ISBN