

Lokasi penelitian di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten, April 2013.

VARIASI TEMPORAL ARUS WYRTKI DI SAMUDERA HINDIA DAN HUBUNGANNYA DENGAN FENOMENA INDIAN OCEAN DIPOLE
Wijaya Mardiansyah & Iskhaq Iskandar

PERAN EKOSISTEM LAMUN SEBAGAI BLUE CARBON DALAM MITIGASI PERUBAHAN IKLIM, STUDI KASUS TANJUNG LESUNG, BANTEN

Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Restu Nur Afiati, Hadiwijaya L. Salim, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Nasir Sudirman, Yusmiana Puspitaningsih R, Devi Dwiyaniti S & Andreas Hutahaean

STOK KARBON DAN STRUKTUR KOMUNITAS MANGROVE SEBAGAI BLUE CARBON DI TANJUNG LESUNG, BANTEN

Restu Nur Afi Ati, Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Nasir Sudirman, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Hadiwijaya L. Salim & Andreas A. Hutahaean

DETECTION OF UPWELLING USING MODIS IMAGE AND TRITON BUOY IN THE NORTH PAPUA WATERS

Widhya Nugroho Satrioajje

STRUKTUR KOMUNITAS PADANG LAMUN DAN STRATEGI PENGELOLAAN DI TELUK YOUTEFA JAYAPURA PAPUA

Selvi Tebaiy, Fredinan Yulianda, Achmad Fahrudin & Ismudi Muchsin

PENDUGAAN AKUIFER AIRTAHAN DI PESISIR PULAU SOLOR, NUSA TENGGARA TIMUR

Pryambodo. D. G, Kusumah,. G & Sudirman, N

PENENTUAN KAWASAN WISATA BAHARI DI P.WANGI-WANGI DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Yulius, Hadiwijaya L. Salim, M. Ramdhan, T. Arifin & D. Purbani

RESPON SPEKTRUM DESAIN PADA LOKASI TEMPAT EVAKUASI SEMENTARA TSUNAMI DI KOTA PARIAMAN

Lestari Cendikia Dewi, Joko Prihantono, Dini Purbani & Mulyo Harris Pradono

Jurnal Segara

VOLUME 10 NO.2 DESEMBER 2014

Nomor Akreditasi: 559/AU2/P2MI-LIPI/09/2013
(Periode Oktober 2013 - Oktober 2016)

Jurnal SEGARA adalah Jurnal yang diasuh oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan – KKP, dengan tujuan menyebarkan informasi tentang perkembangan ilmiah bidang kelautan di Indonesia, seperti: oseanografi, akustik dan instrumentasi, inderaja, kewilayahan sumberdaya nonhayati, energi, arkeologi bawah air dan lingkungan. Naskah yang dimuat dalam jurnal ini terutama berasal dari hasil penelitian maupun kajian konseptual yang berkaitan dengan kelautan Indonesia, yang dilakukan oleh para peneliti, akademisi, mahasiswa, maupun pemerhati permasalahan kelautan baik dari dalam dan luar negeri. Terbit pertama kali tahun 2005 dengan frekuensi terbit dua kali dalam satu tahun.

Pimpinan Redaksi/Penanggung Jawab

Dr. Budi Sulistyio

Pemimpin Pengelola Redaktur

Prof. Dr. Ngurah N. Wiadnyana (Oceanografi) - KKP

Dewan Editor

Dr. Sugiarta Wirasantosa (Kebumian) - KKP
 Dr. I Wayan Nurjaya (Oseanografi) - IPB
 Dr.-Ing. Widodo Setiyo Pranowo (Oseanografi) - KKP
 Dr. Irsan S. Brodjonegoro (Teknik Kelautan) - ITB
 Prof. Dr.rer.nat. Edvin Aldrian (Meteorologi Klimatologi) - BMKG
 Dr. Andreas A. Hutahean, M.Sc. (Biogeokimia Laut & Oseanografi Kimia) - KKP
 Dr. Khairul Amri (Sumberdaya dan Lingkungan) - KKP

Redaksi Pelaksana

Triyono, MT. (Geografi) - KKP
 Agus Hermawan, S.Sos. (Ekonomi) - KKP
 Lestari Cendikia Dewi, M.Si. (Geologi & Geofisika) - KKP

Sekretariat Redaksi

Peter Mangindaan, M.Si (Sumber Daya Pesisir) - KKP
 Mariska Astrid Kusumaningtyas, S.Si (Biologi) - KKP

Design Grafis

Dani Saepuloh, A.Md. (Teknik Informatika) - KKP

Mitra Bestari Edisi ini

Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. (Oseanografi Fisika) - UNSRI
 Dr.-Ing. Widjo Kongko, M.Eng. (Teknik Pantai, Teknik Gempa/Tsunami) - BPPT
 Dr. I. Nyoman Radiarta (Lingkungan, SIG dan Remote Sensing) - KKP
 Prof. Dr. Wahyoe S. Hantoro (Geologi Kelautan, Geoteknologi) - LIPI

Redaksi Jurnal Ilmiah Segara bertempat di Kantor Pusat Balitbang Kelautan dan Perikanan

Alamat : JL. Pasir Putih I Ancol Timur Jakarta Utara 14430
 Telpon : 021 - 6471-1583
 Faksimili : 021 - 6471-1654
 E-mail : jurnal.segara@gmail.com
 Website : <http://p3sdlp.litbang.kkp.go.id>

Jurnal Segara Volume 10 No. 2 Desember 2014 diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir Tahun Anggaran 2014

Jurnal Segara

VOLUME 10 NO.2 DESEMBER 2014

Mitra Bestari

- Dr.-Ing.Widjo Kongko, M.Eng. (Teknik Pantai, Teknik Gempa/Tsunami) - BPPT
 Dr. Haryadi Permana (Geologi-Tektonik) - LIPI
 Ir. Suhari, M.Sc (Pusat Sumberdaya Air Tanah dan Lingkungan) - KESDM
 Dr. I. Nyoman Radiarta (Lingkungan, SIG dan Remote Sensing) - KKP
 Dr. Makhfud Efendy (Teknologi Kelautan) - UNIVERSITAS TRUNOJOYO
 Prof. Dr. Ir. Bangun Mulyo Sukojo (Geodesi, Geomatika, Remote Sensing, GIS) - ITS
 Dr. Ir Munasik, M.Sc (Oseanografi Biologi) - UNDIP
 Dr. rer. nat. Mutiara Rachmat Putri (Oseanografi Fisika) - ITB
 Dr. Ivonne M. Radjawane, M.Si., Ph.D. (Oseanografi Pemodelan) - ITB
 Dr. Ir. Ario Damar, M.Si. (Ekologi Laut) - IPB
 Prof. Dr. Rosmawaty Peranginangin (Pasca Panen Perikanan) - KKP
 Prof. Dr. Safwan Hadi (Oseanografi) - ITB
 Prof. Dr. Hasanuddin Z. Abiddin (Geodesi dan Geomatika) - ITB
 Dr. Ir. Yan Rizal R., Dipl. Geol. (Geologi Lingkungan) - ITB
 Ir. Tjoek Aziz Soeprapto, M.Sc (Geologi) - KESDM
 Lili Sarmili, M.Sc. (Geologi Kelautan) - KESDM
 Dr. Nani Hendiarti (Penginderaan Jauh Kelautan dan Pesisir) - BPPT
 Dr.rer.nat. Rina Zurida (Paleoklimat, Paleoseanografi, Plaeoenvironment) - KESDM
 Prof. Dr. Cecep Kusmana (Ekologi dan Silvikultur Mangrove) - IPB
 Dr. Agus Supangat, DEA (Oseanografi) - DNPI
 Dr. Wahyu Widodo Pandoe (Oseanografi) - BPPT
 Dr. Hamzah Latief (Tsunami) - ITB
 Dr. Herryal Zoelkarnaen Anwar, M.Eng. (Manajemen Resiko Bencana) - LIPI
 Dr. Makhfud Efendy (Teknologi Kelautan) - UNIVERSITAS TRUNOJOYO
 Dr. Ir. Sam Wouthuyzen, M.Sc. (Oseanografi Perikanan) - LIPI
 Prof. Dr. Wahyoe S. Hantoro (Geologi Kelautan, Geoteknologi) - LIPI
 Prof. Dr.rer.nat. Edvin Aldrian (Meteorologi Klimatologi) - BMKG

Redaksi Jurnal Ilmiah Segara bertempat di Kantor Pusat Balitbang Kelautan dan Perikanan

Alamat : JL. Pasir Putih I Ancol Timur Jakarta Utara 14430

Telpon : 021 - 6471-1583

Faksimili : 021 - 6471-1654

E-mail : jurnal.segara@gmail.com

Website : <http://p3sdpl.litbang.kkp.go.id>

Jurnal Segara Volume 10 No. 2 Desember 2014 diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir Tahun Anggaran 2014

Jurnal Segara

**Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan
Kementerian Kelautan dan Perikanan**

Volume 10 Nomor 2 Desember 2014
Hal. 98 - 171

VARIASI TEMPORAL ARUS WYRTKI DI SAMUDERA HINDIA DAN HUBUNGANNYA DENGAN FENOMENA *INDIAN OCEAN DIPOLE*
Wijaya Mardiansyah & Iskhaq Iskandar

PERAN EKOSISTEM LAMUN SEBAGAI *BLUE CARBON* DALAM MITIGASI PERUBAHAN IKLIM, STUDI KASUS TANJUNG LESUNG, BANTEN
Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Restu Nur Afiati, Hadiwijaya L. Salim, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Nasir Sudirman, Yusmiana Puspitaningsih R, Devi Dwiyaniti S & Andreas Hutahaean

STOK KARBON DAN STRUKTUR KOMUNITAS *MANGROVE* SEBAGAI *BLUE CARBON* DI TANJUNG LESUNG, BANTEN
Restu Nur Afi Ati, Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Nasir Sudirman, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Hadiwijaya L. Salim & Andreas A. Hutahaean

DETECTION OF UPWELLING USING MODIS IMAGE AND TRITON BUOY IN THE NORTH PAPUA WATERS
Widhya Nugroho Satrioajie

STRUKTUR KOMUNITAS PADANG LAMUN DAN STRATEGI PENGELOLAAN DI TELUK YOUTEFA JAYAPURA PAPUA
Selvi Tebaiy, Fredinan Yulianda, Achmad Fahrudin & Ismudi Muchsin

PENDUGAAN AKUIFER AIRTANAH DI PESISIR PULAU SOLOR, NUSA TENGGARA TIMUR
Pryambodo. D. G, Kusumah, . G & Sudirman, N

PENENTUAN KAWASAN WISATA BAHARI DI P.WANGI-WANGI DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
Yulius, Hadiwijaya L. Salim, M. Ramdhan, T. Arifin & D. Purbani

RESPON SPEKTRUM DESAIN PADA LOKASI TEMPAT EVAKUASI SEMENTARA TSUNAMI DI KOTA PARIAMAN
Lestari Cendikia Dewi, Joko Prihantono, Dini Purbani & Mulyo Harris Pradono

PENGANTAR REDAKSI

Jurnal Segara adalah jurnal yang diterbitkan dan didanai oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan.

Jurnal Segara Volume 10 No. 2 Desember 2014 merupakan terbitan ke satu di Tahun Anggaran 2014. Naskah yang dimuat dalam Jurnal Segara berasal dari hasil penelitian maupun kajian konseptual yang berkaitan dengan kelautan Indonesia, yang dilakukan oleh para peneliti, akademis, mahasiswa, maupun pemerhati permasalahan kelautan dari dalam dan luar negeri.

Pada nomor ke dua 2014, jurnal ini menampilkan 8 artikel ilmiah hasil penelitian tentang: Variasi Temporal Arus Wyrтки di Samudera Hindia dan Hubungannya dengan Fenomena *Indian Ocean Dipole*; Peran Ekosistem Lamun Sebagai *Blue Carbon* dalam Mitigasi Perubahan Iklim, Studi Kasus Tanjung Lesung, Banten; *Stok Karbon dan Struktur Komunitas Mangrove Sebagai Blue Carbon* di Tanjung Lesung, Banten; *Detection Of Upwelling Using Modis Image and Triton Buoy In The North Papua Waters*; Struktur Komunitas Padang Lamun dan Strategi Pengelolaan di Teluk Youtefa Jayapura Papua; Pendugaan Akuifer Airtanah di Pesisir Pulau Solor, Nusa Tenggara Timur; Penentuan Kawasan Wisata Bahari di P.Wangi-Wangi Dengan Sistem Informasi Geografis; Respon Spektrum Desain pada Lokasi Tempat Evakuasi Sementara Tsunami di Kota Pariaman.

Diharapkan artikel tersebut dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kelautan Indonesia. Akhir kata, Redaksi mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga atas partisipasi aktif peneliti dalam mengisi jurnal ini.

REDAKSI


Jurnal Segara
Volume 10 Nomor 2 DESEMBER 2014

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
LEMBAR ABSTRAK	iii-vi
Variasi Temporal Arus Wyrтки di Samudera Hindia dan Hubungannya dengan Fenomena <i>Indian Ocean Dipole</i> Wijaya Mardiansyah & Iskhaq Iskandar	98-105
Peran Lamun Ekosistem Sebagai <i>Blue Carbon</i> dalam Mitigasi Perubahan Iklim, Studi Kasus Tanjung Lesung, Banten Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Restu Nur Afati, Hadiwijaya L. Salim, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Nasir Sudirman, Yusmiana Puspitaningsih R, Devi Dwiyaniti S & Andreas Hutahaeen	107-117
<i>Stok Karbon dan Struktur Komunitas Mangrove Sebagai Blue Carbon</i> di Tanjung Lesung, Banten Restu Nur Afi Ati, Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Nasir Sudirman, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Hadiwijaya L. Salim & Andreas A. Hutahaeen	119-127
<i>Detection Of Upwelling Using Modis Image and Triton Buoy In The North Papua Waters</i> Widhya Nugroho Satrioajie	129-136
Struktur Komunitas Padang Lamun dan Strategi Pengelolaan di Teluk Youtefa Jayapura Papua Selvi Tebaiy, Fredinan Yulianda, Achmad Fahrudin & Ismudi Muchsin	137-146
Pendugaan Akuifer Airtanah di Pesisir Pulau Solor, Nusa Tenggara Timur Pryambodo. D. G, Kusumah,. G & Sudirman, N	147-155
Penentuan Kawasan Wisata Bahari di P.Wangi-Wangi Dengan Sistem Informasi Geografis Yulius, Hadiwijaya L. Salim, M. Ramdhan, T. Arifin & D. Purbani	157-164
Respon Spektrum Desain pada Lokasi Tempat Evakuasi Sementara Tsunami di Kota Pariaman Lestari Cendikia Dewi, Joko Prihantono, Dini Purbani & Mulyo Harris Pradono	165-171

**VARIASI TEMPORAL ARUS WYRTKI DI SAMUDERA HINDIA
DAN HUBUNGANNYA DENGAN FENOMENA INDIAN OCEAN DIPOLE**

**TEMPORAL VARIATION IN THE INDIAN OCEAN WYRTKI
FLOW AND RELATIONSHIP WITH THE PHENOMENON THE INDIAN OCEAN DIPOLE**

Wijaya Mardiansyah & Iskhaq Iskandar

ABSTRAK

Interaksi laut dan atmosfer baik secara lokal, regional maupun global sangat mempengaruhi variasi temporal arus Wyrтки yang terjadi pada arus permukaan ekuator Samudera Hindia yang bergerak ke arah timur. Kajian ini difokuskan pada variasi musiman dan variasi antar-tahunan (*interannual*) yang dihubungkan dengan fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD). Analisis dilakukan dengan menggunakan data *Ocean Surface Current Analysis-Real time* (OSCAR) *Project*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus Wyrтки musim peralihan II (Oktober – November) lebih kuat dan berlangsung lebih lama jika dibandingkan dengan arus Wyrтки musim peralihan I. Arus Wyrтки musim peralihan II membentang di sepanjang ekuator dari bujur 50°BT hingga sisi timur Samudera Hindia. Sementara itu, arus Wyrтки musim peralihan I terkonsentrasi di sisi timur Samudera Hindia. Dalam skala antar-tahunan, arus Wyrтки musim peralihan II termodulasi oleh fenomena IOD. Pada kejadian IOD positif, arus Wyrтки musim peralihan II mengalami pelemahan atau bahkan berbalik arah, sementara pada kejadian IOD negatif arus Wyrтки musim peralihan II mengalami peningkatan intensitas. Pola dan amplitudo arus Wyrтки sangat dipengaruhi oleh pola dan amplitudo angin baratan di atas ekuator Samudera Hindia. Angin baratan pada musim peralihan II lebih kuat dan berlangsung lebih lama dibandingkan dengan angin baratan musim peralihan I. Lebih lanjut lagi, ketika terjadi IOD positif di ekuator Samudera Hindia terdapat angin timuran selama musim peralihan II, sedangkan pada saat IOD negatif angin baratan mengalami peningkatan intensitas.

Kata kunci: angin permukaan, arus-ekuator permukaan, arus Wyrтки, *Indian Ocean Dipole*, variasi antar-tahunan, variasi musiman

ABSTRACT

Interaction of ocean and atmosphere either locally, regionally and globally influences temporal variation Wyrтки flow that occurs in the equatorial Indian Ocean surface currents moving eastward. This study focused on the seasonal and interannual variations and its possible relation with the Indian Ocean Dipole (IOD) event. The analysis was evaluated using data from Ocean Surface Current Analysis-Real time (OSCAR) Project. On seasonal time-scale, the analysis shows that the fall Wyrтки jet is stronger and has longer duration than the spring Wyrтки jet. The fall Wyrтки jet can be observed along the equator spreading from east of about 50°E to the eastern boundary of the Indian Ocean. On the other hand, the spring Wyrтки jet is concentrated in the eastern side of the Indian Ocean. On interannual time scale, moreover, the fall Wyrтки jet was modulated by the IOD event. The fall Wyrтки jet weakened or even reversed its direction during the positive IOD events, while it strengthened during the negative IOD events. The pattern and amplitude of the Wyrтки jet are associated with the pattern and amplitude of the westerly winds along the equator. The fall westerly winds are stronger and longer lasting compared with the spring westerly winds. In addition, there were easterly wind anomalies during the positive IOD event, while during the negative IOD event the westerly winds were strengthened.

Keywords: *Indian Ocean Dipole, surface equatorial currents, surface winds, Wyrтки jet, seasonal variation, interannual variation*

**PERAN EKOSISTEM LAMUN SEBAGAI BLUE CARBON DALAM MITIGASI
PERUBAHAN IKLIM, STUDI KASUS TANJUNG LESUNG, BANTEN**

**SEAGRASS ECOSYSTEM ROLE AS BLUE CARBON IN CLIMATE CHANGE MITIGATION:
CASE STUDY TANJUNG LESUNG, BANTEN**

Agustin Rustam¹⁾, Terry L. Kepel¹⁾, Restu Nur Afiati¹⁾, Hadiwijaya L. Salim¹⁾, Mariska Astrid¹⁾, August Daulat¹⁾, Peter Mangindaan¹⁾, Nasir Sudirman¹⁾, Yusmiana Puspitaningsih R¹⁾, Devi Dwiyantri S¹⁾ & Andreas Hutahaean¹⁾

ABSTRAK

Lamun merupakan tanaman yang dapat menyimpan karbon dalam bentuk biomasa dan di sedimen yang dikenal dengan karbon biru. Penelitian peranan lamun sebagai karbon biru dalam mitigasi perubahan iklim dilakukan pada 8 – 12 April 2013 di perairan pesisir Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten dengan tujuan untuk mengetahui keberadaan padang lamun dan potensinya sebagai *blue carbon*. Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling* terkait dengan keberadaan ekosistem padang lamun. Pengambilan data meliputi pengukuran prosentase tutupan lamun, kerapatan dan biomassa berdasarkan berat basah, berat kering serta analisa kandungan karbon di laboratorium. Biomassa yang terukur dibagi dua yaitu bagian atas (*above ground/abg*) dan bagian bawah (*below ground/bg*). Hasil menunjukkan bahwa terdapat tujuh jenis lamun yang berasal dari dua famili. Famili *Hydrocharitaceae* terdiri dari tiga jenis yaitu *Enhalus acoroides* (Ea), *Thalassia hemprichii* (Th) dan *Halophila ovalis* (Ho). Empat jenis dari famili *Cymodoceaceae* yaitu *Cymodocea serrulata* (Cs), *Cymodocea rotundata* (Cr), *Halodule uninervis* (Hu) dan *Syringodium isoetifolium* (Si). Kisaran prosentase tutupan lamun adalah 2% - 80%, kerapatan berkisar antara 34 – 761 tunas m⁻². Stok karbon biomasa lamun adalah sebesar 1,32

ABSTRACT

Seagrasses as plants can store carbon in biomass and sediment known as blue carbon. The role of seagrass as blue carbon in climate change mitigation was conducted from 8 to 12 April 2013 in the coastal waters of Miskam bay, Tanjung Lesung, Banten. The purpose this study is to determine the presence of seagrass and its potential as blue carbon. Collecting data includes measuring the percentage of seagrass cover, density and biomass based on wet weight, dry weight and carbon content analysis in the laboratory. As for the biomass, the samples measurement were divided into two parts: (1) upper (above ground/abg) and (2) the bottom (below ground / bg). The results show seven species of seagrass that consists of two families. Family Hydrocharitaceae consisted of three types namely Enhalus acoroides (Ea), Thalassia hemprichii (Th) and Halophila ovalis (Ho). Four types of family Cymodoceaceae are namely Cymodocea serrulata (Cs), Cymodocea rotundata (Cr), Halodule uninervis (Hu) and Syringodium isoetifolium (Si). Seagrass cover percentage and density ranged between 2% - 90%, and 34 shoot m⁻² - 761 shoot m⁻². Carbon stock of seagrass biomass is 1.32 MgC ha⁻¹. The largest carbon stock in sediment is 171.72 MgC ha⁻¹. From this study, the seagrasses had high contribution as blue carbon

MgC ha⁻¹. Nilai karbon yang terkandung dalam sedimen terbesar tercatat pada sedimen padang lamun Ea dengan nilai sekitar 171,72 MgC ha⁻¹. Dari hasil penelitian yang diperoleh disimpulkan bahwa lamun yang berperan besar sebagai *blue carbon* yaitu Ea, Cs dan Si dengan Ea dengan nilai berturut adalah sebesar 0,4 MgC ha⁻¹, Cs 0,12 MgC ha⁻¹ dan Si 0,07 MgC ha⁻¹.

were Ea, Cs and Si with the concentration of 0.4 MgC ha⁻¹, 0,12 MgC ha⁻¹ and 0,07 MgC ha⁻¹.

Keywords: *Seagrass Ecosystem, blue carbon, Tanjung Lesung-Banten*

Kata kunci: Ekosistem Lamun, karbon biru, Tanjung Lesung-Banten

STOK KARBON DAN STRUKTUR KOMUNITAS MANGROVE SEBAGAI BLUE CARBON DI TANJUNG LESUNG, BANTEN

CARBON STOCK AND COMMUNITY STRUCTURE OF MANGROVE AS BLUE CARBON IN TANJUNG LESUNG, BANTEN

Restu Nur Afi Ati, Agustin Rustam, Terry L. Kepel, Nasir Sudirman, Mariska Astrid, August Daulat, Peter Mangindaan, Hadiwijaya L. Salim & Andreas A. Hutahaean

ABSTRAK

Mangrove merupakan salah satu parameter *Blue Carbon*, karena perannya dalam memanfaatkan CO₂ untuk fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa dan sedimen. Pembangunan ekonomi sering berdampak terhadap lingkungan seperti konversi hutan *mangrove* menjadi tambak dan kawasan pariwisata. Penetapan Teluk Miskam di Tanjung Lesung sebagai salah satu Kawasan Ekonomi Khusus untuk kawasan pertumbuhan pariwisata menjadikan daerah tersebut rentan pemanfaatan berlebih yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan. Atas dasar tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengkaji struktur komunitas *mangrove* dan keberadaan karbon stok kondisi terkini. Penelitian dilakukan pada 8 – 12 April 2013. Metode pengambilan data *mangrove* yaitu dengan menarik garis transek dan kuadrat. Penentuan biomassa *mangrove* melalui *Diameter Breast Height* (DBH) dan persamaan allometrik sedangkan kandungan karbon *mangrove* dan sedimen menggunakan CN analysis. Analisis struktur komunitas menggunakan Indeks *Shannon-Wiener*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai simpanan karbon pada *mangrove* di Teluk Miskam adalah sebesar 49,44 – 55,33 MgC ha⁻¹ untuk jenis *Avicennia marina* dan 2,50 MgC ha⁻¹ untuk jenis *Bruguiera gymnorhiza*. Secara umum, karakteristik sedimen *mangrove* di Teluk Miskam ber lumpur dan berbau. Kandungan karbon dalam sedimen berkisar antara 0,78 – 9,51% atau 4,43 – 27,92 MgC ha⁻¹. Simpanan karbon yang besar dalam sedimen berada pada kedalaman 50 m (stasiun 1) dan 40 m (stasiun 2), yaitu masing-masing sebesar 23,26 dan 27,92 MgC ha⁻¹.

Kata kunci: *mangrove, karbon stok, blue carbon, Teluk Miskam Tanjung Lesung Banten*

ABSTRACT

Mangrove forests is one of parameters in *Blue Carbon*, because of its role in CO₂ uptake through photosynthesis and subsequently store into biomass and sediment. Economic development often produces an impact on the environment such as the conversion of *mangrove forests* into fish pond and tourism areas. Determination of Miskam Bay in Tanjung Lesung as a Special Economic Zone for new tourism growth makes the area to become vulnerable of such excessive use, which potentially produces environmental damage. Therefore, the aims of the present research are to investigate the *mangrove community structure* and the presence of carbon stocks. The study was conducted during period of 8 - 12 April 2013. Methods of *mangrove data collection* were based on line transects and squares. Determination of *mangrove biomass* is implemented through *Diameter Breast Height* (DBH) and allometric equations whereas analysis CN was used to know the value of carbon stocks *mangrove and sediment*. Community structure analysis was calculated according to *Shannon-Wiener Index*. The present research found that the carbon storage values obtained in *mangrove biomass in the Miskam Bay* is 49.44 to 55.33 MgC ha⁻¹ for the *Avicennia marina* and 2.50 MgC ha⁻¹ for the *Bruguiera gymnorhiza*. Generally, characteristic of *mangrove sediment in the Miskam Bay* is muddy and smelly. The carbon content in sediment varies between 0.78 to 9.51% or 4.43 to 27.92 MgC ha⁻¹. The large carbon store in sediments is located in 50 m depth (Station 1) and 40 m depth (station 2), which were respectively 23.26 and 27.92 MgC ha⁻¹.

Keywords: *mangrove, carbon stocks, blue carbon, Teluk Miskam Tanjung Lesung Banten*

DETEKSI UPWELLING MENGGUNAKAN CITRA MODIS DAN TRITON BUOY DI PERAIRAN UTARA PAPUA

DETECTION OF UPWELLING USING MODIS IMAGE AND TRITON BUOY IN THE NORTH PAPUA WATERS

Widhya Nugroho Satrioajie

ABSTRAK

Fenomena *upwelling* memiliki keterkaitan yang erat dengan distribusi spasial biomassa ikan. Namun, hubungan ini sering diabaikan karena adanya penafsiran keliru, dimana cukup dengan menggunakan data suhu permukaan laut (SPL) untuk menganalisa biomassa ikan laut dalam. *Upwelling* dapat dideteksi dengan menganalisa profil suhu permukaan dan vertikal laut pada berbagai kedalaman. Salah satu cara adalah penggunaan citra MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) dan TRITON buoy (Triangle Trans-Ocean buoy Network) sebagai data in situ. Penelitian ini bertujuan untuk mengobservasi hubungan SPL Citra MODIS dan TRITON buoy serta menganalisa profil suhu vertikal laut

ABSTRACT

Upwelling is closely associated with the spatial distribution of fish biomass. However, this phenomenon is often ignored due to misinterpretation that is simply using sea surface temperature (SST) to analyse deep fish biomass. *Upwelling* can be detected by analysing distribution of sea surface (SST) and vertical temperature at the various depths. One of the methods is the use of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) image and TRITON buoy (Triangle Trans-Ocean buoy Network) as in-situ data. This research aimed to observe the correlation between SST MODIS and TRITON buoy and to analyse sea vertical temperature in order to investigate the *upwelling* in the North Papua Waters. Descriptive method was

TRITON buoy untuk mendeteksi peristiwa upwelling di Perairan Utara Papua. Metode deskriptif digunakan pada penelitian ini, dimana SPL MODIS yang dianalisa pada SeaDas Mapped 5.0 dibandingkan dengan data in situ SPL dari TRITON buoy pada rentang waktu Juli-November 2002 (musim timur 2002); Desember 2006-February 2007 (musim barat 2007) dan Juli-September 2007 (musim barat 2007). Selanjutnya, analisa upwelling dilakukan terhadap data profil suhu vertikal laut dari TRITON buoy pada koordinat stasiun yang telah ditentukan dengan menggunakan ER Mapper 6.4 dan Surfer 3.2. Dari hasil penelitian diketahui antara SPL Citra MODIS dan TRITON buoy mempunyai hubungan kuat masing-masing $r=0,5738$; $0,5989$; $0,5509$. Upwelling di Perairan Utara Papua terindikasi terjadi pada Februari 2007 (musim barat 2007), dimana kisaran penurunan suhu permukaan laut mencapai 26°C .

Kata kunci: Upwelling, Suhu Permukaan dan Vertikal Laut, Citra MODIS, TRITON buoy.

used on this study, where SST MODIS that was analysed by SeaDas Mapped 5.0 was compared to the TRITON buoy's SST data during July 2002 to November 2002 (in east season 2002); December 2006 to February 2007 (in west season 2007) and July 2007-September 2007 (in east season 2007). Then, the analysis of upwelling was carried out towards the TRITON buoy's vertical temperature on the particular coordinates using ER.Mapper 6.4 and Surfer 3.2. From this research, both of SST MODIS image and TRITON buoy have a strong relationship by $r=0.5738$; 0.5989 ; 0.5509 respectively. The upwelling in the North Papua Waters was indicated in February 2007 (west season 2007), when the degradation level of SST reached up to 26°C .

Keywords: Upwelling, Sea Surface-Vertical Temperature, MODIS Image, TRITON buoy.

STRUKTUR KOMUNITAS PADANG LAMUN DAN STRATEGI PENGELOLAAN DI TELUK YOUTEFA JAYAPURA PAPUA

COMMUNITY STRUCTURE OF SEAGRASS AND MANAGEMENT STRATEGIES IN THE YOUTEFA BAY JAYAPURA PAPUA

Selvi Tebaiy, Fredinan Yulianda, Achmad Fahrudin & Ismudi Muchsin

ABSTRAK

Struktur komunitas lamun merupakan data dasar dari ekosistem lamun yang perlu diketahui untuk dapat mengelolanya secara berkelanjutan. Penelitian lamun dilakukan pada Agustus 2012 di Teluk Youtefa Jayapura Papua, dengan tujuan untuk mengkaji distribusi dan struktur komunitas lamun. Koleksi data dilakukan dengan metode acak terstruktur dengan menggunakan transek kuadrat pada 3 lokasi pengamatan (Tobati, Enggros I dan Enggros II). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat jenis lamun yang ditemukan yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis* dan *Halophila minor*. Komposisi jenis dan distribusi lamun bervariasi pada setiap lokasi dan didominasi oleh *Thalassia hemprichii* dengan tutupan berkisar antara 34,05-49,27%. Frekuensi tertinggi tercatat di lokasi Enggros I yaitu jenis *Thalassia hemprichii* (67,46%), *Enhalus acoroides* di lokasi Enggros II (37,10%). Sumberdaya lamun di Teluk Youtefa cukup baik dan potensial untuk kehidupan biota yang berasosiasi. Pengelolaan terpadu antara pihak yang terkait menjadi strategi pengelolaan ekosistem lamun dalam aspek ekologi, sosial ekonomi dan budaya (pengetahuan lokal masyarakat).

Kata kunci: struktur komunitas, lamun, *Thalassia hemprichii*, pengelolaan terpadu, Teluk Youtefa, Jayapura, Papua

ABSTRACT

Community structure of seagrass is the basic data of seagrass ecosystem that has to be developed in order to manage this ecosystem. Study on seagrass was carried out in August 2012 at Youtefa Bay of Jayapura Papua, with the aim to study the distribution and community structure of seagrass. The data were collected using structural randomized method with quadratic transect at three sites (Tobati, Enggros I and Enggros II). The results show that there were four species of seagrass recorded in this area that are *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis*, and *Halophila minor*. The composition and distribution of seagrass were various in each site and generally dominated by *Thalassia hemprichii* covering from 34.05 to 49.27%. The highest frequency of seagrass in Enggros I was *Thalassia hemprichii* (67.46%), while *Enhalus acoroides* was in Enggros II, which had about 37.10%. Integrated management among stakeholders will be a strategy in managing seagrass ecosystem in terms of ecological, socio-economic, and cultural (indigenous knowledge) aspects.

Keywords: Community structure, Seagrass, *Thalassia hemprichii*, Integrated management, Youtefa bay, Jayapura, Papua

PENDUGAAN AKUIFER AIR TANAH DI PESIR PULAU SOLOR, NUSA TENGGARA TIMUR

ESTIMATION OF GROUNDWATER AQUIFER IN COASTAL ISLAND OF SOLOR, EAST NUSA TENGGARA

Pryambodo. D. G, Kusumah., G & Sudirman, N

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian geofisika dengan metode Geolistrik 2D konfigurasi werner untuk pendugaan keberadaan akuifer di desa Tanalein Pulau Solor NTT. Data Geolistrik 2D ditampilkan dalam bentuk 4 lintasan penampang geolistrik dan digunakan untuk melihat pendugaan akuifer di daerah penelitian. Keberadaan akuifer diduga terdapat pada lintasan GL-01 dan GL-03 terdapat pada kedalaman 50 – 70 meter dari permukaan tanah dan berada pada 300 - 320 meter dari ujung lintasan (baratlaut), akuifer airtanah ini diindikasikan oleh adanya struktur dan litologi dari akuifernya berupa lapukan breccias.

Kata kunci: Akuifer, Metode Geolistrik 2D, Pulau Solor

ABSTRACT

Geophysical study using geoelectrical 2D werner configuration method was conducted to estimate the presence of aquifers on the Tanalein village of Solor island NTT. Geoelectric 2D data is displayed in the form of 4 lines geoelectric cross-section and used to estimate aquifer in the study area. The presence of aquifers is suspected in the lines of GL-01 and GL-03 are at a depth of 50-70 meters from the surface of land and is located at 300-320 meters from the edge line (northwest), the aquifer is controlled by the structure and lithology of aquifer of weathering breccias.

Keywords: Aquifer, Geoelectric 2D Methods, Solor Island

**PENENTUAN KAWASAN WISATA BAHARI
DI P.WANGI-WANGI DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS**

**DETERMINATION OF MARINE TOURISM REGION
IN WANGI-WANGI ISLAND WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

Yulius, Hadiwijaya L. Salim, M. Ramdhan, T. Arifin & D. Purbani

ABSTRAK

Wakatobi memiliki sumber daya alam yang sangat potensial dengan 25 gugusan terumbu karang yang indah dan masih alami dengan spesies beraneka ragam bentuk. Kawasan ini dinilai terbaik di dunia dengan sering dijadikan sebagai ajang diving dan snorkeling bagi para penyelam nasional maupun internasional. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kesesuaian kawasan untuk wisata bahari menggunakan SIG. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis spasial (keruangan) dan analisa tabular terhadap kesesuaian kawasan dalam SIG. Hasil analisis spasial dan tabular terhadap kesesuaian kawasan untuk wisata bahari, menunjukkan bahwa lokasi yang sesuai adalah di utara Pulau Wangi-wangi, Kecamatan Wangi-wangi dan di utara Pulau Kapota, Kecamatan Wangi-wangi Selatan dengan luas sekitar 2.786,9 hektar atau 20,3% dari luas total wilayah kawasan.

Kata kunci: Sistem Informasi Geografis (SIG), wisata bahari, pulau wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi

ABSTRACT

Wakatobi has a huge potential of natural resources with 25 beautiful and pristine coral reefs species in diverse forms. Wakatobi is a considered as the best biosphere area in the world and frequently used as a place for diving and snorkeling among national and international divers. This study aims to determine the suitability of the area for marine tourism using GIS. The methods used in this research are spatial analysis methods and tabular analysis of the suitability of the area with the GIS tools. From the results of the spatial analysis of the suitability area for marine tourism, it is obtained that the corresponding location is on the northern island of Wangi-Wangi, district of Wangi-wangi and on the northern of Kapota island, South District of Wangi-wangi with an area of 2786,9 hectares or 20,3 % of the total area in the region.

Keywords: Geographic Information System (GIS), marine tourism, coastal region

**RESPON SPEKTRUM DESAIN PADA LOKASI TEMPAT EVAKUASI
SEMENTARA TSUNAMI DI KOTA PARIAMAN**

**DESIGN SPECTRAL RESPONSE OF TSUNAMI
TEMPORARY EVACUATION SITE IN PARIAMAN CITY**

Lestari Cendikia Dewi, Joko Prihantono, Dini Purbani & Mulyo Harris Pradono

ABSTRAK

Kota Pariaman di Sumatra Barat termasuk ke dalam zona bahaya gempa dan tsunami. Kota ini hanya memiliki 12 Tempat Evakuasi Sementara (TES) tsunami yang belum mampu mengakomodasi semua permukiman di zona rawan tsunami. Penelitian tentang penentuan lokasi TES tambahan telah dilakukan dan menghasilkan 21 buah lokasi usulan menurut metode *network analysis*. TES tersebut berada di sepanjang pesisir Kota Pariaman yang rawan tsunami. Sehingga TES mutlak bersifat tahan gempa dan tsunami. Pembangunan TES yang tahan gempa membutuhkan informasi percepatan puncak di permukaan tanah. Penelitian ini ditujukan untuk menentukan respon spektrum desain yaitu percepatan puncak di permukaan tanah untuk berbagai periode alami pada lokasi TES yang diusulkan. Penelitian dilakukan pada 2013 dengan wilayah studi 0°33'00'' - 0°40'43'' LS dan 100°10'33'' - 100°10'55'' BT. Data yang digunakan adalah lokasi TES usulan hasil peneliitandari literatur. Data kecepatan gelombang geser rata-rata setebal 30 m dari permukaan tanah digunakan untuk menentukan jenis tanah. Data percepatan puncak di batuan dasar diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia Tahun 2010. Perhitungan respon spektrum desain dilakukan dengan menggunakan aplikasi dari laman. Hasil menunjukkan bahwa semua TES yang diusulkan berada di atas jenis tanah sedang. Percepatan puncak di permukaan tanah mencapai maksimum dengan nilai antara 0,841 – 0,866 g. Respon spektrum desain di semua TES usulan menunjukkan kemiripan karena berada di atas jenis tanah yang sama yaitu tanah sedang dan memiliki nilai percepatan puncak di batuan dasar yang tidak jauh berbeda.

Kata kunci: gempa, tsunami, Tempat Evakuasi Sementara, percepatan puncak di permukaan tanah

ABSTRACT

Pariaman City in West Sumatera Province is classified as earthquake and tsunami hazard zone. This city only has 12 tsunami Temporary Evacuation Site (TES), which is not able to accommodate all settlements in tsunami hazard zone. Research on determining the location of an additional TES was performed and it produced 21 TES based on the network analysis method. Since the proposed TES is located along Pariaman City which hazardous to tsunami, then TES should resist to earthquake and tsunami. The construction of earthquake resisted TES needs a peak ground acceleration (PGA) information of the site. This research is aimed to determine design spectral response that peak acceleration on land surface for several natural periode in the proposed TES location. This research was done in 2013 with the study area 0° 33' 00" S - 0°40' 43" S and 100°10'33" - 100°10'55" E. The data that was used in this research is the proposed TES location from literatur. The average of the shear wave velocity 30 meters depth from the land surface was used for classifying the soil. PGA at the base rock was obtained from the Indonesia earthquake hazard map 2010. Design spectral response calculation was done by using application from web page. The result shows that all the proposed TES located on stiff soil type. PGA reach maximum in range value between 0.841 – 0.866 g. Design spectral response at all the proposed TES shows similarity because those are located on same soil type that is stiff soil and the PGA at base rock are not much different.

Keywords: earthquake, tsunami Temporary Evacuation Site, Peak Ground Acceleration

VARIASI TEMPORAL ARUS WYRTKI DI SAMUDERA HINDIA DAN HUBUNGANNYA DENGAN FENOMENA INDIAN OCEAN DIPOLE

Wijaya Mardiansyah¹⁾ & Iskhaq Iskandar^{1),2)}

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya

²⁾Pusat Study Geo-hazard dan Perubahan Iklim, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya

Diterima tanggal: 18 Juli 2014; Diterima setelah perbaikan: 15 September 2014; Disetujui terbit tanggal 20 Oktober 2014

ABSTRAK

Interaksi laut dan atmosfer baik secara lokal, regional maupun global sangat mempengaruhi variasi temporal arus Wyrтки yang terjadi pada arus permukaan ekuator Samudera Hindia yang bergerak ke arah timur. Kajian ini difokuskan pada variasi musiman dan variasi antar-tahunan (*interannual*) yang dihubungkan dengan fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD). Analisis dilakukan dengan menggunakan data *Ocean Surface Current Analysis-Real time* (OSCAR) Project. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus Wyrтки musim peralihan II (Oktober – November) lebih kuat dan berlangsung lebih lama jika dibandingkan dengan arus Wyrтки musim peralihan I. Arus Wyrтки musim peralihan II membentang di sepanjang ekuator dari bujur 50°BT hingga sisi timur Samudera Hindia. Sementara itu, arus Wyrтки musim peralihan I terkonsentrasi di sisi timur Samudera Hindia. Dalam skala antar-tahunan, arus Wyrтки musim peralihan II termodulasi oleh fenomena IOD. Pada kejadian IOD positif, arus Wyrтки musim peralihan II mengalami pelemahan atau bahkan berbalik arah, sementara pada kejadian IOD negatif arus Wyrтки musim peralihan II mengalami peningkatan intensitas. Pola dan amplitudo arus Wyrтки sangat dipengaruhi oleh pola dan amplitudo angin baratan di atas ekuator Samudera Hindia. Angin baratan pada musim peralihan II lebih kuat dan berlangsung lebih lama dibandingkan dengan angin baratan musim peralihan I. Lebih lanjut lagi, ketika terjadi IOD positif di ekuator Samudera Hindia terdapat angin timuran selama musim peralihan II, sedangkan pada saat IOD negatif angin baratan mengalami peningkatan intensitas.

Kata kunci: angin permukaan, arus-ekuator permukaan, arus Wyrтки, *Indian Ocean Dipole*, variasi antar-tahunan, variasi musiman

ABSTRACT

Interaction of ocean and atmosphere either locally, regionally and globally influences temporal variation Wyrтки flow that occurs in the equatorial Indian Ocean surface currents moving eastward. This study focused on the seasonal and interannual variations and its possible relation with the Indian Ocean Dipole (IOD) event. The analysis was evaluated using data from Ocean Surface Current Analysis-Real time (OSCAR) Project. On seasonal time-scale, the analysis shows that the fall Wyrтки jet is stronger and has longer duration than the spring Wyrтки jet. The fall Wyrтки jet can be observed along the equator spreading from east of about 50°E to the eastern boundary of the Indian Ocean. On the other hand, the spring Wyrтки jet is concentrated in the eastern side of the Indian Ocean. On interannual time scale, moreover, the fall Wyrтки jet was modulated by the IOD event. The fall Wyrтки jet weakened or even reversed its direction during the positive IOD events, while it strengthened during the negative IOD events. The pattern and amplitude of the Wyrтки jet are associated with the pattern and amplitude of the westerly winds along the equator. The fall westerly winds are stronger and longer lasting compared with the spring westerly winds. In addition, there were easterly wind anomalies during the positive IOD event, while during the negative IOD event the westerly winds were strengthened.

Keywords: *Indian Ocean Dipole, surface equatorial currents, surface winds, Wyrтки jet, seasonal variation, interannual variation*

PENDAHULUAN

Samudera Hindia memiliki beberapa keunikan jika dibandingkan dengan Samudera Pasifik dan Samudera Atlantik. Dari sisi topografi, bagian utara Samudera Hindia dibatasi oleh daratan Asia. Salah satu konsekuensi dari bentuk topografi ini adalah sirkulasi angin di atas wilayah Samudera Hindia didominasi oleh variasi musiman yang disebabkan oleh adanya variasi perbedaan temperatur daratan dan lautan. Perbedaan temperatur antara daratan dan lautan ini berasosiasi dengan perbedaan tekanan yang pada gilirannya akan mempengaruhi sistem sirkulasi angin di Samudera Hindia yang dikenal dengan angin muson (*monsoonal winds*) (Schott & McCreary, 2001). Pada saat belahan bumi utara mengalami musim dingin, tekanan atmosfer di belahan

bumi utara lebih tinggi dari belahan bumi selatan yang sedang mengalami musim panas. Akibatnya, angin akan berhembus dari belahan bumi utara menuju belahan bumi selatan. Kondisi ini berlangsung pada Desember – Maret. Hal sebaliknya akan terjadi ketika belahan bumi utara mengalami musim panas, sedang di belahan bumi selatan mengalami musim dingin. Kondisi ini terjadi pada Juni – September (Schott & McCreary, 2001).

Di antara kedua musim tersebut, terdapat musim peralihan yang berlangsung pada April – Mei dan Oktober – November. Pada musim peralihan ini, angin di atas ekuator Samudera Hindia didominasi oleh angin baratan (*westerly winds*). Angin ini akan membangkitkan arus ekuator atau dikenal dengan arus Wyrтки. Studi-studi terdahulu telah menunjukkan

bahwa arus ekuator ini memainkan peran yang penting dalam pendistribusian massa air, bahang, dan salinitas yang pada gilirannya akan memodifikasi suhu permukaan laut (SPL) di daerah kolam air hangat (*warm water pool*) di ekuator Samudera Hindia. Perubahan SPL di daerah ini meskipun kecil akan menghasilkan variasi interaksi laut dan atmosfer yang akan mempengaruhi sistem iklim baik lokal, regional maupun global (Masumoto *et al.*, 2005).

Arus Wyrтки yang bergerak ke timur, setelah mencapai pantai barat Sumatra energinya akan terbagi menjadi 3 (tiga) bagian. Pertama akan terefleksi kembali ke Samudera Hindia dalam bentuk gelombang Rossby yang merambat ke arah barat. Bagian kedua akan merambat ke utara menuju Teluk Bengal. Sedangkan bagian terakhir akan merambat ke arah tenggara sepanjang pantai barat Sumatra dan pantai selatan Jawa (Clarke & Liu, 1993; Arief & Muray, 1996; Iskandar *et al.*, 2005; Iskandar *et al.*, 2006; Druska *et al.*, 2010).

Salah satu fenomena interaksi laut-atmosfer di Samudera Hindia yang terkait dengan arus Wyrтки adalah fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD). Fenomena IOD merupakan gejala penyimpangan cuaca yang dihasilkan oleh interaksi antara permukaan samudera dan atmosfer di kawasan Samudera Hindia sekitar ekuator dan di sebelah selatan Jawa (Saji *et al.*, 1999; Webster *et al.*, 1999; Murtugudde *et al.*, 2000). Interaksi itu menghasilkan tekanan tinggi di Samudera Hindia bagian timur (bagian Selatan Jawa dan Barat Sumatra) yang menimbulkan aliran massa udara yang berhembus ke barat. Hembusan angin ini akan mendorong massa air di depannya dan mengangkat massa air dari bawah ke permukaan (*upwelling*). Akibatnya, suhu permukaan laut di sekitar pantai Selatan Jawa dan pantai Barat Sumatra akan mengalami penurunan yang cukup drastis (anomali negatif rata-rata sebesar $\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Aliran massa udara ke arah barat dan penumpukan massa air di bagian barat Samudera Hindia ini merupakan gejala fisik utama yang mengendalikan fenomena IOD. Gejala ini akan menimbulkan gelombang Kelvin sepanjang ekuator yang bergerak ke arah timur (berlawanan dengan arah angin). Gelombang ini pada gilirannya mengangkat lapisan *thermocline*. Ketika *thermocline* ini terangkat, suhu permukaan air laut menurun. Sebaliknya, di sisi Barat, gelombang ini akan menekan *thermocline* lebih masuk ke dalam, yang mengakibatkan suhu permukaan air laut meningkat, dan Indian Ocean Dipole pun berlangsung. Karena itu pula penurunan suhu permukaan air laut di sisi Timur Samudera Hindia (anomali negatif) dan kenaikan suhu permukaan air laut di sisi Barat nya (anomali positif) disebut peristiwa pembentukan dua kutub (kutub positif dan kutub

negatif suhu permukaan air laut) atau IOD (Saji *et al.*, 1999).

Pembentukan dua kutub suhu permukaan air laut ini akan mengakibatkan pergeseran zona konveksi (zona pembentukan awan-awan yang berpotensi menimbulkan hujan), zona ini biasanya terdapat di atas permukaan air laut yang hangat (anomali positif). Pada kondisi normal, zona konveksi berada di perairan pantai Barat Sumatra. Akan tetapi pada kondisi IOD, zona konveksi akan bergeser ke arah barat, ke daerah perairan di tengah-tengah Samudera Hindia dan perairan pantai Timur Afrika. Akibatnya, zona hujan pun akan bergeser ke arah barat, sehingga Indonesia akan mengalami defisit curah hujan (Saji *et al.*, 1999).

Seperti halnya El Niño yang diindikasikan dengan Indeks Osilasi Selatan, maka fenomena IOD direpresentasikan oleh perbedaan suhu permukaan air laut di bagian Barat Samudera Hindia (daerah 50° - 70° BT dan 10° LS - 10° LU) dan suhu permukaan air laut di bagian Timur Samudera Hindia (daerah 90° - 110° BT dan 10° LS - 0° LU). Indeks perbedaan suhu permukaan air laut ini disebut *Dipole Mode Index* (DMI). Semakin besar nilai indeks ini, semakin kuat sinyal IOD dan semakin dahsyat akibat yang ditimbulkan.

Evolusi IOD dimulai pada Mei atau Juni, mencapai puncaknya pada Oktober dan akan berakhir pada November atau Desember. Akibatnya, Indonesia yang biasanya mengalami musim hujan mulai Oktober, akan sedikit mengalami perpanjangan musim kemarau. Kondisi kemarau di Indonesia akan semakin parah apabila fenomena IOD diikuti oleh fenomena El Niño. Jika kedua fenomena ini terjadi secara berurutan, seperti pada 1997 – 1998, maka Indonesia akan mengalami musim kemarau yang panjang, dari Juni hingga Februari tahun berikutnya (Saji *et al.*, 1999).

Mengingat pentingnya peran arus ekuator (arus Wyrтки) dalam meregulasi SPL di daerah kolam air hangat Samudera Hindia yang selanjutnya akan mempengaruhi evolusi IOD, maka penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan variasi musiman dan variasi antar-tahunan arus Wyrтки dan hubungannya dengan kejadian IOD di Samudera Hindia.

METODE PENELITIAN

Data arus

Penelitian ini menggunakan data arus dari *Ocean Surface Current Analysis-Real time* (OSCAR) *Project* (Bonjean & Lagerloef, 2002). Data ini dihitung dengan menggabungkan data drifter dan data tinggi muka laut serta data angin dari *satellite remote sensing* dengan pemodelan diagnostik berdasarkan pada dinamika geostropik dan prinsip friksi *Ekman*. Hasil dari kombinasi

ini merepresentasikan arus pada kedalaman 15 m dari permukaan laut dan dianggap cukup ideal untuk merepresentasikan arus Wyrтки di ekuator Samudera Hindia. Data ini memiliki resolusi spasial sebesar $1^\circ \times 1^\circ$. Data arus bulanan dari Januari 1993 hingga Desember 2013 digunakan dalam penelitian ini.

Data angin

Data angin bulanan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), yang memiliki resolusi spasial sebesar $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Data dari Januari 1993 hingga Desember 2013 digunakan dalam studi ini.

Perhitungan variasi musiman (*seasonal*) dan variasi antar-tahunan (*interannual*)

Untuk mengidentifikasi karakteristik arus musiman dilakukan perhitungan nilai klimatologi bulanan data arus. Perhitungan nilai klimatologi bulanan arus ini dilakukan dengan menjumlahkan data arus untuk tiap-tiap bulan yang sama, dimulai dari bulan Januari hingga bulan Desember. Selanjutnya, nilai penjumlahan data arus untuk tiap-tiap bulan yang sama dibagi dengan jumlah bulan yang ada dalam periode pengukuran dari tahun 1993 sampai dengan 2013, yaitu sebanyak $n = 21$.

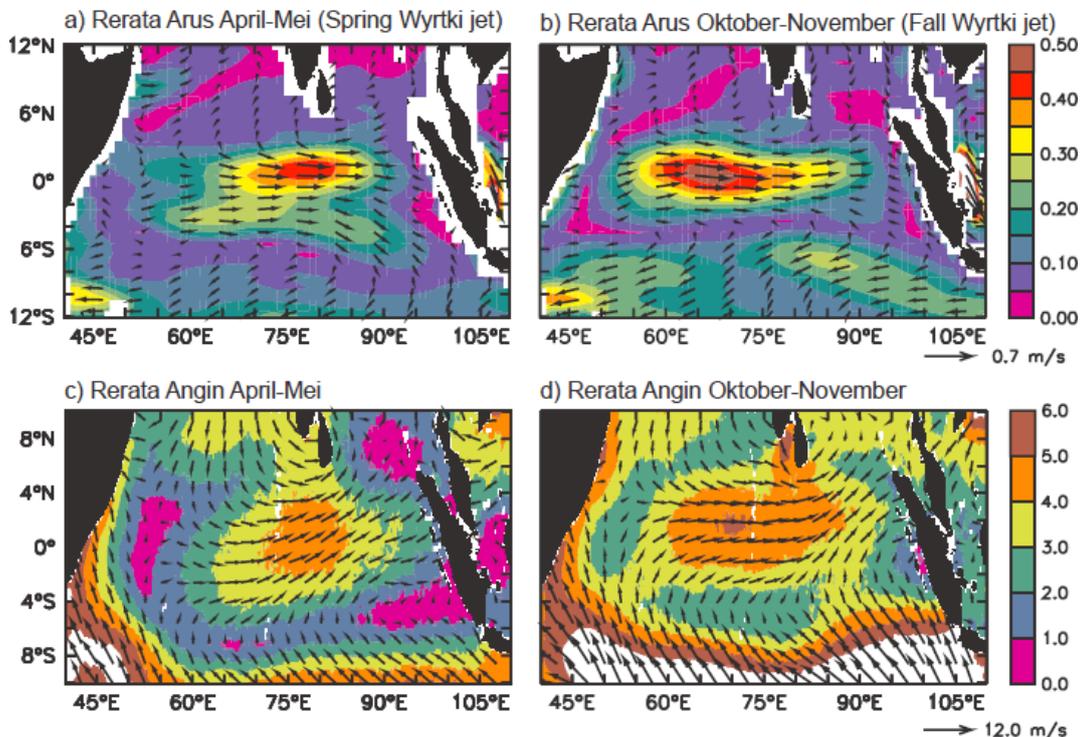
Untuk mengidentifikasi variasi antar-tahunan, maka dilakukan perhitungan data anomali arus dengan cara menghitung selisih antara arus bulanan dan arus klimatologi bulanan. Hasil perhitungan ini selanjutnya diproses dengan menggunakan metoda *lowpass filter* (Emery *et al.*, 2004) dengan periode *cut-off* sebesar 13-bulan untuk mendapatkan data arus yang bervariasi dalam skala antar-tahunan. Perhitungan variasi musiman dan variasi antar-tahunan untuk data angin dilakukan dengan cara yang sama dengan perhitungan untuk data arus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Musiman

Di atas ekuator Samudera Hindia selama musim peralihan I (April-Mei) dan musim peralihan II (Oktober-November) berhembus angin baratan yang cukup kuat (*westerly wind burts*) (Gambar 1c-d). Angin ini akan membangkitkan arus ekuator yang bergerak sepanjang ekuator dari barat ke timur. Hasil analisis klimatologi dengan menggunakan data OSCAR mengidentifikasi adanya arus Wyrтки selama musim peralihan tersebut (Gambar 1a-b).

Dari hasil perhitungan arus klimatologi bulanan diketahui bahwa arus Wyrтки pada musim peralihan II



Gambar 1. Arus permukaan (m/s) yang terekam dalam data OSCAR selama bulan (a) April-Mei (*spring Wyrтки jet*) dan (b) Oktober-November (*fall Wyrтки jet*). Angin permukaan dari data NCEP/NCAR selama bulan (c) April-Mei dan (d) Oktober-November. Amplitudo ditunjukkan dalam skala warna dan arah dinyatakan dalam vektor.

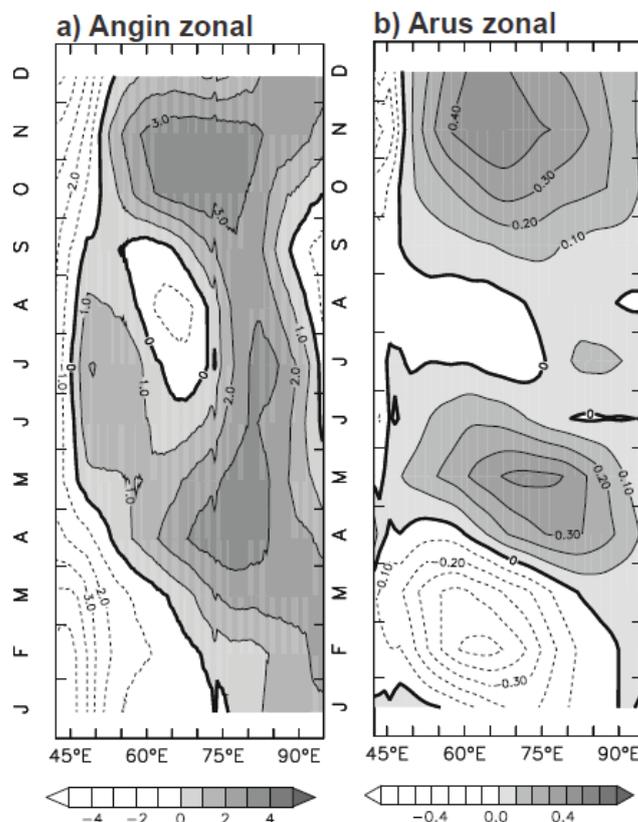
pada Oktober-November (*fall Wyrтки jet*) lebih besar amplitudonya dibandingkan dengan arus Wyrтки pada musim peralihan I pada April-Mei (*spring Wyrтки jet*). Hasil perhitungan ini juga menunjukkan bahwa arus Wyrтки pada musim peralihan II membentang sepanjang ekuator, sedangkan arus Wyrтки pada musim peralihan I terkonsentrasi di sebelah timur bujur 65°BT. Dari Gambar 1a-b juga terlihat bahwa posisi amplitudo maksimum arus Wyrтки untuk kedua musim ini berbeda. Pada musim peralihan I posisi amplitudo maksimum berada di bujur 75°BT - 80°BT, sedangkan pada musim peralihan II posisi amplitudo maksimum bergeser ke arah barat di bujur 65°BT - 70°BT. Amplitudo dan pola arus Wyrтки baik di musim peralihan I maupun di musim peralihan II berkorelasi dengan amplitudo dan pola angin permukaan yang ditunjukkan dalam Gambar 1c-d. Amplitudo angin permukaan di musim peralihan II lebih besar dari amplitudo angin permukaan di musim peralihan I. Demikian juga, amplitudo maksimum angin permukaan berada di atas amplitudo maksimum arus Wyrтки, baik di musim peralihan I maupun musim peralihan II.

Selanjutnya, untuk melihat variasi spasial dan temporal arus Wyrтки di sepanjang ekuator Samudera Hindia dan hubungannya dengan angin zonal di atas ekuator Samudera Hindia, diagram hovmouller angin

dan arus zonal di sepanjang ekuator ditunjukkan dalam Gambar 2. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui bahwa arus Wyrтки yang dibangkitkan pada musim peralihan I dan II berasosiasi dengan angin baratan. Pola dan amplitudo arus Wyrтки tergantung dengan pola dan amplitudo angin baratan yang membangkitkannya.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, terlihat bahwa amplitudo arus Wyrтки musim peralihan II lebih besar dari amplitudo arus Wyrтки musim peralihan I (Gambar 1a,b). Durasi munculnya arus Wyrтки musim peralihan I lebih pendek dibandingkan dengan arus Wyrтки musim peralihan II. Pada musim peralihan I, arus Wyrтки muncul selama periode April – Juni dengan amplitudo maksimum terjadi pada Mei sebesar 0.5 m/s. Sedangkan pada musim peralihan II, arus Wyrтки terlihat dari bulan September – Desember dengan amplitudo maksimum sebesar 0.7 m/s terjadi pada November.

Perbedaan pola dan amplitudo arus Wyrтки terkait dengan pola dan amplitudo angin baratan yang membangkitkan arus Wyrтки tersebut. Terlihat bahwa selama musim peralihan I, angin baratan terkonsentrasi di sisi timur Samudera Hindia (Gambar 2a). Meskipun angin baratan pada musim peralihan I ini berlangsung dalam durasi yang cukup lama (April – Juni), akan tetapi bentang bujurnya semakin menyempit dengan



Gambar 2. Diagram hovmouller (a) angin zonal (m/s) dan (b) arus zonal (m/s) di sepanjang ekuator Samudera Hindia. Daerah yang diarsir menunjukkan nilai positif (bergerak ke timur). Sedangkan daerah yang diberi kontur putus-putus menunjukkan nilai negatif (bergerak ke barat).

amplitudo maksimum sebesar ± 3 m/s. Sementara itu, angin baratan yang terjadi pada musim peralihan II lebih lebar bentang bujurnya dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan angin baratan pada musim peralihan I. Amplitudo maksimum angin baratan pada musim peralihan II sebesar ± 5 m/s terjadi selama periode Oktober – November yang berhembus dari posisi 50°BT hingga pantai timur Samudera Hindia. Perbedaan pola dan amplitudo angin baratan inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan pola dan amplitudo arus Wyrтки di Samudera Hindia.

Arus Wyrтки pada saat terjadinya fenomena Indian Ocean Dipole

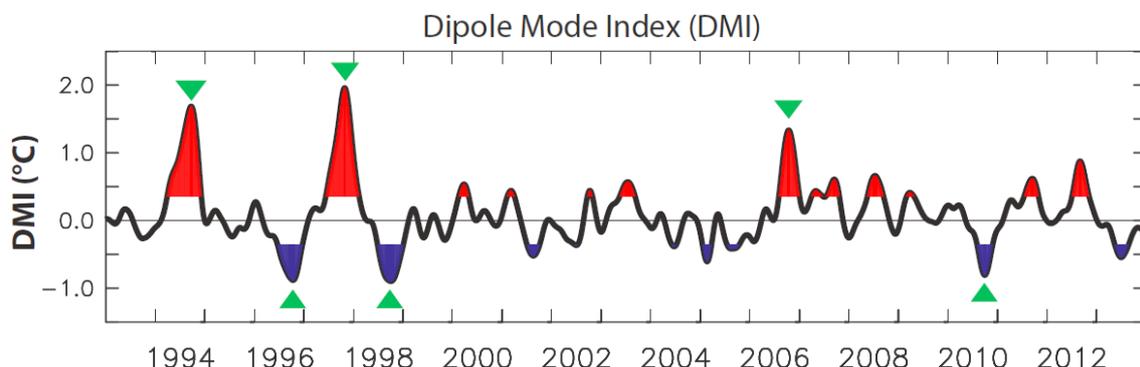
Karakteristik temporal arus Wyrтки menunjukkan bahwa arus Wyrтки yang terjadi selama musim peralihan I dan II dibangkitkan oleh angin baratan. Sementara itu, ketika fenomena IOD positif terjadi, maka intensitas angin baratan pada musim peralihan II mengalami pelemahan atau bahkan berbalik arah. Sebaliknya, jika IOD negatif yang terjadi maka intensitas angin baratan akan mengalami peningkatan yang signifikan (Saji *et al.*, 1999). Berdasarkan pada arah perubahan intensitas angin karena pengaruh fenomena IOD ini, maka dapat ditarik satu hipotesis bahwa arus Wyrтки juga akan mengalami pelemahan atau bahkan berbalik arah jika IOD positif yang terjadi. Demikian juga sebaliknya, jika IOD negatif yang terjadi maka arus Wyrтки akan mengalami peningkatan intensitas juga.

Untuk mengetahui pengaruh IOD terhadap arus Wyrтки, maka pertama ditinjau kejadian IOD positif dan IOD negatif yang terjadi selama kurun waktu studi ini, yaitu dari Januari 1993 hingga Desember 2013. Adapun parameter yang digunakan adalah *Dipole Mode Index* (DMI). Gambar 3 menunjukkan nilai DMI selama kurun waktu Januari 1993 – Desember 2013. Dari nilai DMI tersebut terlihat bahwa ada 3 kejadian IOD positif

dan 3 kejadian IOD negatif yang intensitasnya tinggi. Kejadian-kejadian IOD positif tersebut berlangsung pada 1994, 1997 dan 2006. Sedangkan kejadian-kejadian IOD negatif yang intensitasnya tinggi terekam pada 1996, 1998 dan 2010. Selanjutnya, akan dikaji karakteristik arus Wyrтки musim peralihan II yang terjadi pada tahun-tahun terjadinya IOD positif dan IOD negatif yang disebutkan di atas.

Gambar 4 menunjukkan pola anomali arus Wyrтки dan pola angin pada musim peralihan II selama terjadinya IOD positif pada 1994, 1997 dan 2006. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada saat terjadinya fenomena IOD positif, terdapat anomali arus Wyrтки yang bergerak ke arah barat, berlawanan dengan karakteristik arus Wyrтки pada kondisi normal. Hal ini disebabkan karena ketika terjadi fenomena IOD positif, terdapat anomali angin zonal di sepanjang ekuator yang juga berubah arah menjadi angin timuran. Angin ini selanjutnya akan membangkitkan arus permukaan yang bergerak ke arah barat yang merupakan anomali dari karakteristik arus Wyrтки pada musim peralihan II. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi fenomen IOD positif, arus Wyrтки mengalami pelemahan atau berbalik arah karena angin barat yang muncul pada musim peralihan II melemah atau bahkan berbalik arah. Dari analisis tersebut juga terlihat bahwa intensitas anomali arus Wyrтки juga berasosiasi dengan intensitas IOD dan intensitas anomali angin permukaan.

Pada kejadian IOD positif 1997, dimana nilai DMI melebihi dua kali nilai standard deviasinya, intensitas anomali angin permukaan juga sangat tinggi yang mengakibatkan peningkatan anomali arus Wyrтки yang bergerak arah menuju ke barat (Gambar 4b,e). Anomali arus permukaan ini membentang sepanjang ekuator Samudera Hindia dengan amplitudo maksimum mencapai 1,2 m/s terdeteksi pada posisi

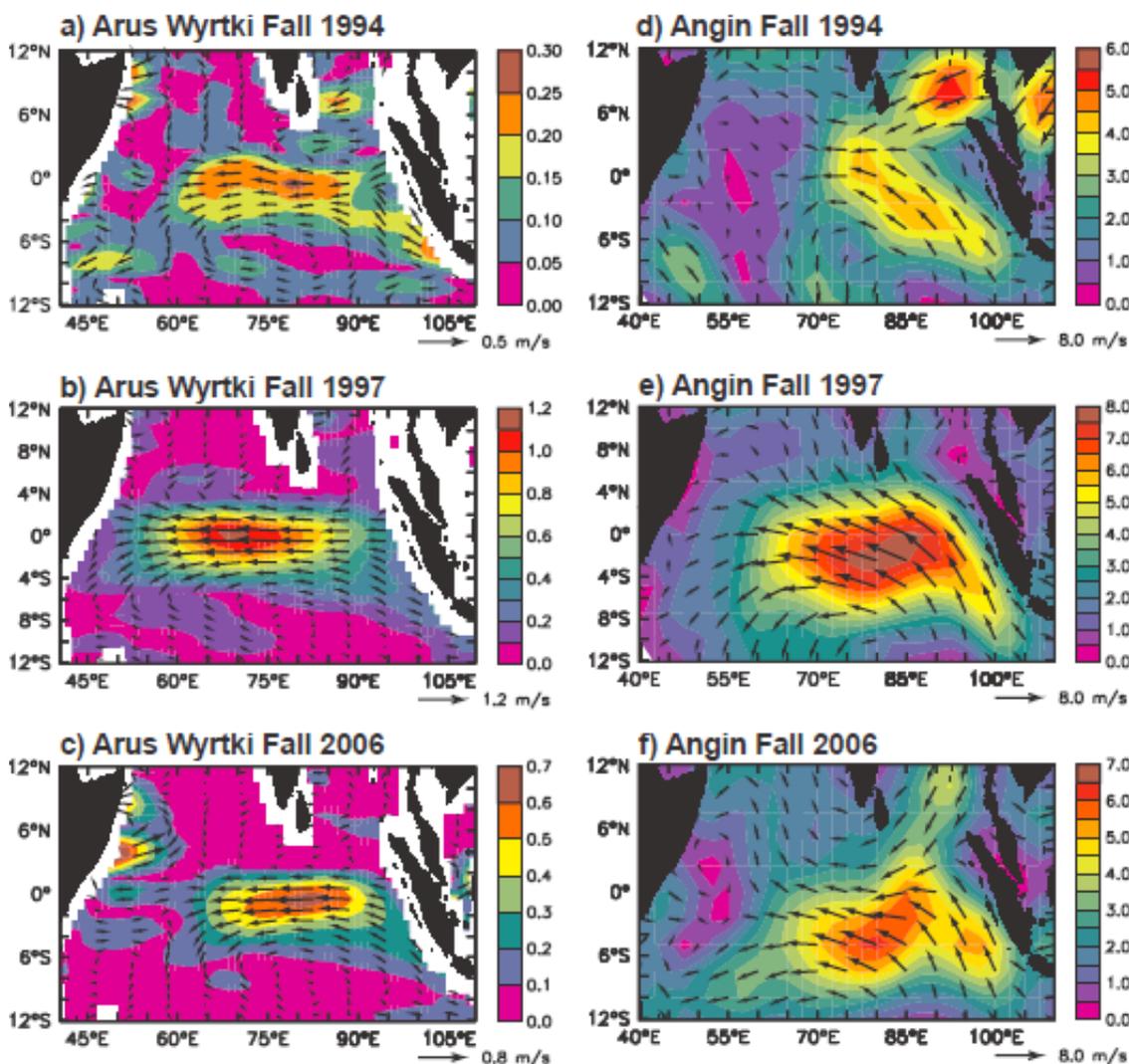


Gambar 3. *Dipole Mode Index* selama periode Januari 1993 – Desember 2013. DMI dihitung menurut perbedaan suhu permukaan air laut di bagian Barat Samudera Hindia (daerah 50°-70° BT dan 10° LS - 10° LU) dan suhu permukaan air laut di bagian Timur Samudera Hindia (daerah 90°-110° BT dan 10° LS - 0° LU). IOD positif (negatif) ditandai dengan warna merah (biru) dimana nilai DMI lebih besar (kecil) dari satu kali nilai standard deviasi positif (negatif) (Saji *et al.*, 1999).

70°BT - 75°BT. Hal yang sama terjadi pada IOD positif pada 2006 namun dengan amplitudo maksimum anomali arus Wyrтки yang relatif lebih kecil, yaitu 0,7 m/s dan terekam di sisi timur pada posisi 80°BT - 85°BT (Gambar 4c,f). Hal ini terkait dengan intensitas anomali angin permukaan yang juga relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan anomali angin permukaan pada kejadian IOD positif pada 1997. Oleh karena itu, anomali arus permukaan juga terlihat dengan jelas hanya di sisi timur Samudera Hindia. Sementara itu, pada kejadian IOD positif pada 1994, meskipun nilai DMI-nya lebih besar dibandingkan dengan nilai DMI untuk IOD positif pada 2006, akan tetapi intensitas anomali angin permukaannya lebih kecil (Gambar 4b). Hal ini menunjukkan bahwa nilai DMI tidak selalu berbanding lurus dengan intensitas anomali angin permukaan karena nilai DMI dipengaruhi juga oleh besar-kecilnya fluks energi radiasi matahari yang mempengaruhi suhu permukaan laut. Pada IOD positif pada 1994, anomali arus permukaan jauh lebih kecil dibandingkan dengan

nilai anomali arus permukaan pada dua kejadian IOD positif pada 1997 dan 2006 (Gambar 4a). Meskipun membentang hampir di sepanjang ekuator akan tetapi nilai maksimumnya hanya mencapai 0,3 m/s dan terekam di sisi timur ekuator pada posisi 80°BT - 85°BT.

Sementara itu, pola anomali arus Wyrтки dan angin permukaan selama kejadian IOD negatif pada 1996, 1998 dan 2010 ditunjukkan dalam Gambar 5. Seperti yang telah disampaikan sebelumnya bahwa ketika terjadi IOD negatif maka akan terjadi peningkatan intensitas angin baratan pada puncak kejadian IOD positif di musim peralihan II (Oktober – November). Gambar 5d, 5e dan 5f menunjukkan peningkatan intensitas angin baratan ini, akan tetapi hal yang menarik adalah peningkatan intensitas angin baratan ini terkonsentrasi di sisi tenggara ekuator Samudera Hindia di dekat pantai barat Sumatra bagain selatan. Oleh karena itu, amplitudo maksimum anomali arus permukaan juga tidak berada di ekuator tetapi



Gambar 4. Anomali arus permukaan (sisi kiri; m/s) dan angin permukaan (sisi kanan; m/s) pada musim peralihan II (Oktober – November) ketika terjadi IOD positif di tahun (a,d) 1994, (b,e) 1997 dan (c,f) 2006. Amplitudo ditunjukkan dalam skala warna dan arah dinyatakan dalam vektor.

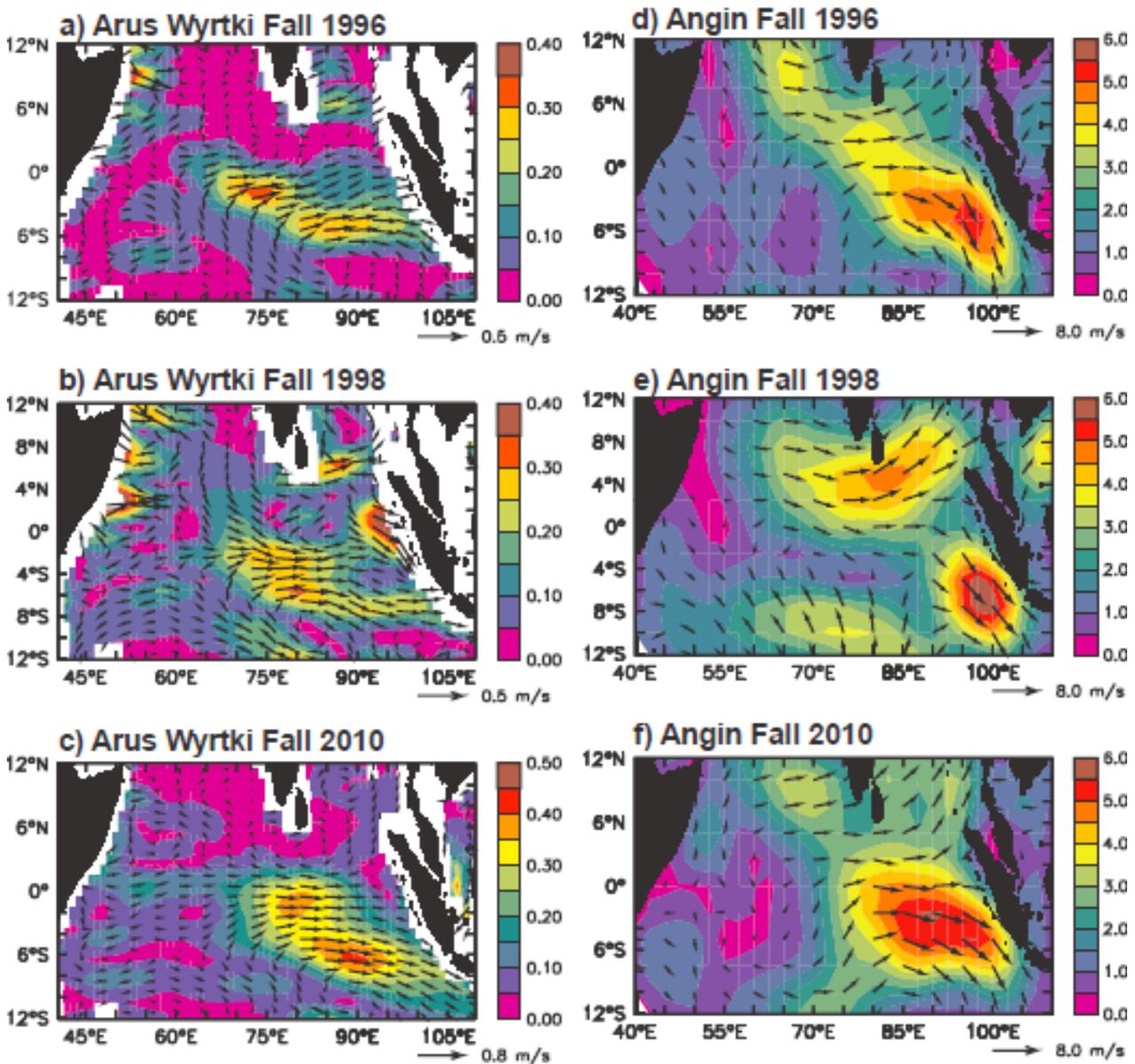
berada pada posisi yang dekat dengan dengan posisi amplitudo maksimum angin permukaan yaitu di sisi selatan ekuator Samudera Hindia.

Pada kejadian IOD negatif pada 1996, ada dua amplitudo maksimum anomali arus Wyrтки (Gambar 5a). Amplitudo maksimum pertama sebesar 0,4 m/s berada pada posisi (70°BT - 75°BT, 0° - 4°LS). Sedangkan amplitudo maksimum kedua yang lebih kecil yaitu sebesar 0,3 m/s terletak di sebelah tenggara ekuator pada posisi (85°BT - 90°BT, 4°LS - 6°LS). Pada kejadian IOD negatif pada 1998, peningkatan intensitas arus Wyrтки terkonsentrasi di tengah ekuator Samudera Hindia pada posisi (70°BT - 80°BT, 2°LS - 6°LS) (Gambar 5c). Sementara itu, pada kejadian IOD

negatif pada 2010 peningkatan intensitas arus Wyrтки terjadi di sepanjang ekuator dengan posisi amplitudo maksimum berada di sisi timur Samudera Hindia (Gambar 5c). Terdapat dua amplitudo maksimum yang masing-masing terletak pada posisi (70°BT - 75°BT, 0° - 4°LS) dan pada posisi (85°BT - 90°BT, 6°LS - 8°LS). Nilai amplitudo maksimum pada posisi pertama sebesar 0,4 m/s, sedangkan nilai amplitudo maksimum kedua relatif lebih besar yaitu 0,45 m/s.

KESIMPULAN

Skala musiman arus Wyrтки pada musim peralihan II memiliki amplitudo yang relatif lebih besar jika dibandingkan dengan amplitudo arus Wyrтки pada



Gambar 5. Sama seperti Gambar 4 akan tetapi untuk kejadian IOD negatif di tahun (a,d) 1996, (b,e) 1998 dan (c,d) 2010.

musim peralihan I, membentang di sepanjang ekuator Samudera Hindia dengan puncak amplitudo berada di posisi yang lebih ke arah barat jika dibandingkan dengan posisi puncak amplitudo arus Wyrcki musim peralihan I. Variasi arus ini berasosiasi dengan angin baratan di atas ekuator Samudera Hindia.

Dalam skala antar-tahunan (*interannual*), pada saat terjadinya fenomena IOD positif, terdapat anomali arus Wyrcki yang bergerak ke arah barat, berlawanan dengan karakteristik arus Wyrcki pada kondisi normal. Hal ini disebabkan karena ketika terjadi fenomena IOD positif, terdapat anomali angin zonal di sepanjang ekuator yang juga berubah arah menjadi angin timuran (pelemahan angin baratan). Sementara itu, ketika terjadi fenomena IOD negatif, terdapat peningkatan intensitas arus Wyrcki seiring dengan meningkatnya intensitas angin baratan. Pada kejadian IOD positif, anomali arus permukaan terkonsentrasi di sepanjang ekuator Samudera Hindia, namun pada kejadian IOD negatif anomali arus permukaan berada di sisi selatan ekuator Samudera Hindia

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Sriwijaya untuk diskusi-diskusi ilmiah selama proses penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh Universitas Sriwijaya melalui program Penelitian SATEKS (No: 0567/UN9.4.2.1/LK-ULP/2013) tahun 2013. Penelitian ini merupakan kontribusi Pusat *Study Geo-hazard* dan Perubahan Iklim Nomor 1405.

DAFTAR PUSTAKA

Arief, D., & Muray, S. P. (1996). "Low-frequency fluctuations in the Indonesian Throughflow through Lombok Strait". *J. Geophys. Res.*, 101: 12455 – 12464.

Bonjean, F., & Lagerloef, G. S. E. (2002). "Diagnostic model and analysis of the surface currents in the tropical Pacific Ocean". *J. Phys. Oceanogr.* 32: 2938–2954.

Clarke, A. J., & X. Liu. (1993). "Observations and dynamics of semiannual and annual sea levels near the eastern equatorial Indian Ocean boundary". *J. Phys. Oceanogr.*, 23: 386-399.

Drushka, K., Sprintall, J., Gille, S. T. & Brodjonegoro, I. (2010). "Vertical structure of Kelvin waves in the Indonesian throughflow exit passages". *J. Phys. Oceanogr.*, 40: 1965 – 1987.

Emery, W. J., & Thomson, R. E. (2004). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Elsevier,

Amsterdam, Netherlands.

Iskandar, I., Mardiansyah, W., Masumoto, Y. & Yamagata, T. (2005). "Intraseasonal Kelvin waves along the southern coasts of Sumatra and Java". *J. Geophys. Res.*, 110: C04013, doi:10.1029/2004JC002508.

Iskandar, I., Tozuka, T., Sasaki, H., Masumoto, Y. & Yamagata, T. (2006). "Intraseasonal variations of surface and subsurface currents off Java as simulated in a high-resolution ocean general circulation model". *J. Geophys. Res.*, 111: C012015, doi:10.1029/2006JC003486.

Masumoto, Y., Hase, H., Kuroda, Y., Matsuura, H. & Takeuchi, K. (2005). "Intraseasonal variability in the upper layer currents observed in the eastern equatorial Indian Ocean". *Geophys. Res. Lett.*, 32: L02607, doi:10.1029/2004GL021896.

Murtugudde, R., McCreary, J. P. & Busalacchi, A. J. (2000). "Oceanic processes associated with anomalous events in the Indian Ocean with relevance to 1997-98". *J. Geophys. Res.*, 105 (C2): 3295 – 3306.

Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N. & Yamagata, T. (1999). "A dipole mode in the tropical Indian Ocean". *Nature*, 410: 360 – 363.

Schott, F., & McCreary, J. P. (2001). "The monsoon circulation of the Indian Ocean". *Prog. Oceanogr.*, 51: 1–123.

Webster, P. J., A. W. Moore, A. W., Loschnigg, J. P. & Leben, R. R. (1999). "Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-98". *Nature*, 401: 356 – 360.

PERAN EKOSISTEM LAMUN SEBAGAI *BLUE CARBON* DALAM MITIGASI PERUBAHAN IKLIM, STUDI KASUS TANJUNG LESUNG, BANTEN

Agustin Rustam¹⁾, Terry L. Kepel¹⁾, Restu Nur Afianti¹⁾, Hadiwijaya L. Salim¹⁾, Mariska Astrid¹⁾, August Daulat¹⁾, Peter Mangindaan¹⁾, Nasir Sudirman¹⁾, Yusmiana Puspitaningsih R¹⁾, Devi Dwiyantri S¹⁾ & Andreas Hutahaean¹⁾

¹⁾Peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan-KKP

Diterima tanggal: 19 Juni 2014; Diterima setelah perbaikan: 20 September 2014; Disetujui terbit tanggal 19 Oktober 2014

ABSTRAK

Lamun merupakan tanaman yang dapat menyimpan karbon dalam bentuk biomasa dan di sedimen yang dikenal dengan karbon biru. Penelitian peranan lamun sebagai karbon biru dalam mitigasi perubahan iklim dilakukan pada 8 – 12 April 2013 di perairan pesisir Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten dengan tujuan untuk mengetahui keberadaan padang lamun dan potensinya sebagai *blue carbon*. Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling* terkait dengan keberadaan ekosistem padang lamun. Pengambilan data meliputi pengukuran prosentase tutupan lamun, kerapatan dan biomassa berdasarkan berat basah, berat kering serta analisa kandungan karbon di laboratorium. Biomassa yang terukur dibagi dua yaitu bagian atas (*above ground/abg*) dan bagian bawah (*below ground/bg*). Hasil menunjukkan bahwa terdapat tujuh jenis lamun yang berasal dari dua famili. Famili *Hydrocharitaceae* terdiri dari tiga jenis yaitu *Enhalus acoroides* (Ea), *Thalassia hemprichii* (Th) dan *Halophila ovalis* (Ho). Empat jenis dari famili *Cymodoceaceae* yaitu *Cymodocea serrulata* (Cs), *Cymodocea rotundata* (Cr), *Halodule uninervis* (Hu) dan *Syringodium isoetifolium* (Si). Kisaran prosentase tutupan lamun adalah 2% - 80%, kerapatan berkisar antara 34 – 761 tunas m⁻². Stok karbon biomasa lamun adalah sebesar 1,32 MgC ha⁻¹. Nilai karbon yang terkandung dalam sedimen terbesar tercatat pada sedimen padang lamun Ea dengan nilai sekitar 171,72 MgC ha⁻¹. Dari hasil penelitian yang diperoleh disimpulkan bahwa lamun yang berperan besar sebagai *blue carbon* yaitu Ea, Cs dan Si dengan Ea dengan nilai berturut adalah sebesar 0,4 MgC ha⁻¹, Cs 0,12 MgC ha⁻¹ dan Si 0,07 MgC ha⁻¹.

Kata kunci: Ekosistem Lamun, karbon biru, Tanjung Lesung-Banten

ABSTRACT

Seagrasses as plants can store carbon in biomass and sediment known as blue carbon. The role of seagrass as blue carbon in climate change mitigation was conducted from 8 to 12 April 2013 in the coastal waters of Miskam bay, Tanjung Lesung, Banten. The purpose this study is to determine the presence of seagrass and its potential as blue carbon. Collecting data includes measuring the percentage of seagrass cover, density and biomass based on wet weight, dry weight and carbon content analysis in the laboratory. As for the biomass, the samples measurement were divided into two parts: (1) upper (above ground/abg) and (2) the bottom (below ground / bg). The results show seven species of seagrass that consists of two families. Family Hydrocharitaceae consisted of three types namely Enhalus acoroides (Ea), Thalassia hemprichii (Th) and Halophila ovalis (Ho). Four types of family Cymodoceaceae are namely Cymodocea serrulata (Cs), Cymodocea rotundata (Cr), Halodule uninervis (Hu) and Syringodium isoetifolium (Si). Seagrass cover percentage and density ranged between 2% - 90%, and 34 shoot m⁻² - 761 shoot m⁻². Carbon stock of seagrass biomass is 1.32 MgC ha⁻¹. The largest carbon stock in sediment is 171.72 MgC ha⁻¹. From this study, the seagrasses had high contribution as blue carbon were Ea, Cs and Si with the concentration of 0.4 MgC ha⁻¹, 0.12 MgC ha⁻¹ and 0.07 MgC ha⁻¹.

Keywords: Seagrass Ecosystem, blue carbon, Tanjung Lesung-Banten

PENDAHULUAN

Lamun merupakan tanaman sejati yang tumbuh di laut, yang mampu beradaptasi terhadap salinitas dengan kisaran lebar (10 – 40 PSU) dan pasang surut air laut. Keberadaan lamun dapat membentuk padang lamun dengan luasan yang dapat mencapai ribuan hektar. Fungsi ekologis padang lamun adalah sebagai sumber makanan (penyu hijau, dugong, beronang), daerah pemijahan, daerah pembesaran berbagai biota laut. Padang lamun juga berperan seperti hutan di daratan dalam mengurangi karbondioksida (CO₂). Hal ini ditunjukkan dengan hasil penelitian pada ekosistem lamun di Teluk Banten sebagai penyerap CO₂ pada Agustus 2009 dan Juli 2010 berdasarkan pada perbedaan tekanan parsial CO₂ pada atmosfer

dan air (Adi & Rustam, 2010; Rustam *et al.*, 2013), Lamun seperti tanaman darat lainnya memanfaatkan karbondioksida (CO₂) untuk fotosintesis dalam pertumbuhannya dan disimpan dalam biomasa yang dikenal dengan *blue carbon*. Selain itu, serasah dan biomassa bagian bawah seperti rhizome dan akar dapat tersimpan dalam sedimen dalam waktu yang sangat lama. Penelitian secara intensif dan menyeluruh peranan lamun sebagai karbon biru dalam upaya mitigasi perubahan iklim telah dilakukan sejak 10 tahun terakhir selain hutan di daratan.

Teluk Miskam, Tanjung Lesung merupakan daerah yang berada di sebelah barat Pulau Jawa bagian selatan yang berhadapan langsung dengan selat Sunda. Padang lamun di daerah Tanjung Lesung

Korespondensi Penulis:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: a_rustam@kkp.go.id

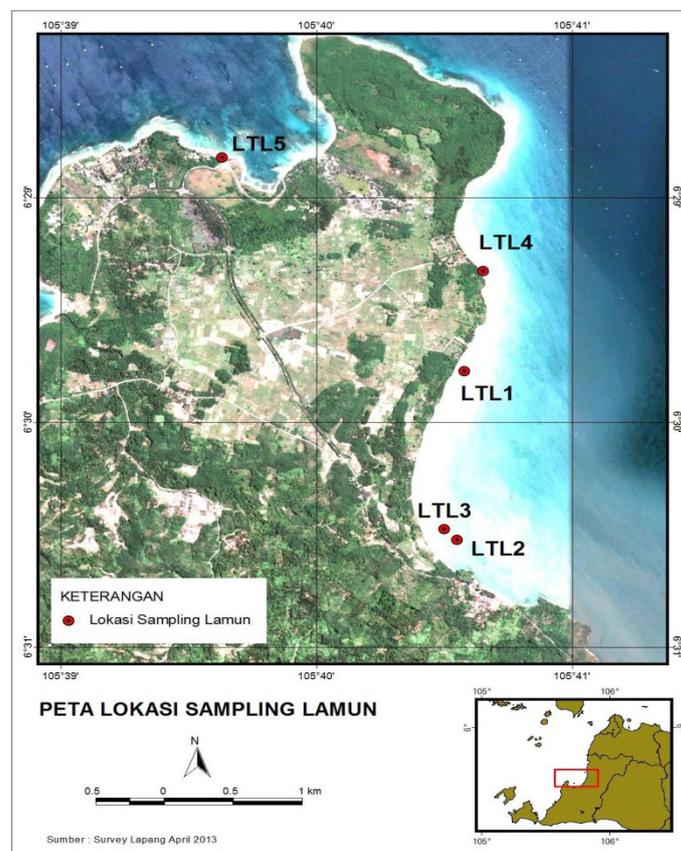
dahulu diketahui sebagai habitat dugong (*Dugong dugon* Mueller) yang pada 1992 pernah tertangkap oleh nelayan setempat (Kiswara & Tomascik, 1994). Selain itu padang lamun di perairan Teluk Miskam berpotensi sebagai penyimpan *blue carbon*. Oleh karena itu perlunya penelitian kembali untuk mengetahui keberadaan padang lamun dan potensinya sebagai *blue carbon* di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Teluk Miskam dengan menetapkan 5 lokasi transek (Gambar 1). Dengan menggunakan perahu dan berjalan kaki, penelitian dilakukan secara *purposive sampling* yang diharapkan dapat mewakili lokasi keberadaan lokasi lamun. Pengambilan data lamun dilakukan secara line transek dengan mengadopsi *seagrasswatch*. Transek garis ditarik tegak lurus garis pantai dan kemudian kuadrat berukuran 50 x 50 cm² diletakkan secara sistematis dengan jarak antar kuadrat 5 atau 10 meter, tergantung pada panjang padang lamun. Jarak antar transek berkisar antara 50 – 100 meter tergantung pada lebar padang lamun. Parameter yang diambil di setiap stasiun penelitian adalah persentase tutupan tajuk lamun dalam setiap kuadrat 50 x 50 cm² diambil dengan metode estimasi visual visual

menuurut panduan persentase tutupan lamun standar *SeagrassWatch* (McKenzie *et al.*, 2003). Persentase tutupan yang diambil adalah persentase tutupan total lamun dan persentase tutupan setiap jenis lamun dalam kuadrat. Selanjutnya, dilakukan penghitungan jumlah tunas lamun untuk lamun berukuran besar (*E. acoroides*) dihitung di setiap kuadrat 50x50 cm², sedangkan untuk spesies lainnya dilakukan pengambilan spesimen dalam *core* berukuran 0,0591608 m². Spesimen dimasukkan ke dalam plastik berlabel dan penghitungan jumlah individu dalam kuadrat tersebut dilakukan di *base camp*. Setiap jenis lamun yang ditemukan juga diambil sebagai spesimen untuk diidentifikasi ulang.

Letak ke-5 lokasi keberadaan lamun di Teluk Miskam yaitu di desa Cipanon (LTL 1), dua lokasi di desa Bunnar (LTL 2 dan LTL 3) serta dua lokasi lagi di daerah resort Sailing Club (LTL 4) dan Beach Club (LTL 5) Tanjung Lesung. Transek hanya dapat dilakukan di dua lokasi yaitu LTL 4 dan LTL 5. Tiga lokasi lainnya dilakukan pengamatan secara visual dengan *snorkeling* dan *ground check* keberadaan lamun dikarenakan kondisi perairan yang sangat keruh dan arus yang kuat. Biomassa lamun diukur menurut berat basah dan berat kering. Prosentase karbon yang tersimpan dianalisis dengan alat *Truspect Analyst* CHNS di laboratorium Bioteknologi Tanah, Departemen Ilmu



Gambar 1. Lokasi penelitian di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten, April 2013.

Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian IPB. Analisa data lamun dilakukan secara deskriptif meliputi prosentase tutupan lamun dan kerapatan. Potensi penyimpanan karbon dalam biomassa bagian atas substrat (*above ground*) dan biomassa bagian bawah substrat (*below ground*) ditera berdasarkan pada gram berat basah, gram berat kering serta dikonversi dalam bentuk gram karbon persatuan luas (gbb m⁻², gbk m⁻² dan gC m⁻²).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kisaran batimetri kedalaman Teluk Miskam adalah antara 2,7 – 12,3 m dengan kecerahan 0,5 – 3 m dan profil ke arah laut makin dalam dan cerah. Temperatur air berkisar antara 29,1 – 31,73 °C dengan rata – rata sebesar 30,09 ± 0,67 °C. Nilai salinitas adalah 10,37 – 26,8 PSU (20,49 ± 4,189 PSU). Hasil pengukuran pH berkisar 7,97 – 8,38 (rata - rata 8,21 ± 0,084).

Di Teluk Miskam didapatkan tujuh spesies lamun yang menyebar di lima stasiun (Tabel 1). Ketujuh spesies lamun berasal dari dua famili yaitu *Hydrocharitaceae* dan *Cymodoceaceae*. Tiga jenis dari famili *Hydrocharitaceae* yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii* dan *Halophila ovalis*. Empat jenis dari famili *Cymodoceaceae* yaitu *Cymodocea serrulata*, *Cymodocea rotundata*, *Halodule uninervis* dan *Syringodium isoetifolium*. Kiswara & Tomascik (1994) menemukan delapan spesies lamun di perairan Teluk Miskam yaitu tiga jenis dari famili *Hydrocharitaceae* yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii* dan *Halophila ovalis* serta lima jenis dari family *Cymodoceaceae* yaitu *Cymodocea serrulata*, *Cymodocea rotundata*, *Halodule uninervis*, *Halodule pinifolia* dan *Syringodium isoetifolium*. Tidak ditemukannya lamun jenis *Halodule pinifolia* pada penelitian ini (19 tahun kemudian) dapat disebabkan beberapa hal, antara lain, penurunan kualitas perairan, sedimentasi, meningkatnya suhu. Diketahui bahwa *Halodule pinifolia* merupakan jenis lamun yang sangat

rentan atas perubahan kualitas perairan yang, memiliki siklus hidup (*turn over*) yang cepat dan disenangi oleh epifit yang dapat menyebabkan kematian. Walaupun dalam daftar merah yang diterbitkan *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) *Halodule pinifolia* termasuk dalam daftar beresiko rendah (*least concern*) (IUCN, 2014) namun keberadaannya di lokasi penelitian tidak ditemukan lagi lebih disebabkan karena aktivitas pembangunan pesisir yang menurunkan kualitas lingkungan untuk hidup lamun jenis ini.

Tabel 1 menunjukkan bahwa jenis lamun lebih banyak ditemukan di lokasi Sailing Club (LTL 4) sebanyak enam jenis dan paling sedikit ditemukan di LTL 1. Kondisi perairan pada saat penelitian pada April 2013 berangin dan hujan turun di daratan dan laut yang menyebabkan perairan keruh. Tiga lokasi LTL 1, LTL 2 dan LTL 3, dekat dengan sungai sehingga perairan sangat keruh tetapi daun - daun *Enhalus acoroides* dan *Cymodocea serrulata* yang melambai di air terlihat dari atas perahu dan membentuk padang lamun monospesies ketika dilakukan pengecekan langsung dengan *snorkeling*. Padang lamun monospesies yang terbentuk dekat dengan pantai dari jenis *Cymodocea serrulata* dengan ketebalan ± 100 meter kemudian digantikan dengan spesies *Enhalus acoroides* dengan ketebalan ± 150 – 200 meter ke arah laut. Tiga stasiun ini memiliki tekstur substrat pasir berlumpur.

Kiswara & Tomascik (1994) memperkirakan sebaran padang lamun di Teluk Miskam mulai dari desa Cipanon (LTL 1) membentuk padang lamun sepanjang 2,5 km sampai Tanjung Lesung (LTL 5), dengan ketebalan antara 30 sampai 250 m dan luas diperkirakan 25 – 30 ha. Penelitian yang dilakukan pada April 2013 (kurang lebih 19 tahun kemudian setelah penelitian terdahulu) menunjukkan bahwa sebaran lamun tampak di mulai dari desa Cipanon sampai Tanjung Lesung tetapi hanya membentuk spot-spot lamun dengan luas diperkirakan di LTL 1 (Cipanon) 2 ha, di LTL 2 sekitar 2,5 sampai 4 ha dan di LTL 3 kurang lebih 2 ha. Untuk di Tanjung Lesung (stasiun LTL 4 dan

Tabel 1. Spesies lamun yang ditemukan di perairan Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten

Jenis lamun	Stasiun				
	LTL 1	LTL 2	LTL 3	LTL 4	LTL 5
Hydrocharitaceae					
<i>Enhalus acoroides</i>	X	X	X	X	
<i>Halophila ovalis</i>				X	X
<i>Thalassia hemprichii</i>					X
Cymodoceaceae					
<i>Cymodocea serrulata</i>		X	X	X	X
<i>Cymodocea rotundata</i>				X	
<i>Syringodium isoetifolium</i>				X	
<i>Halodule uninervis</i>				X	

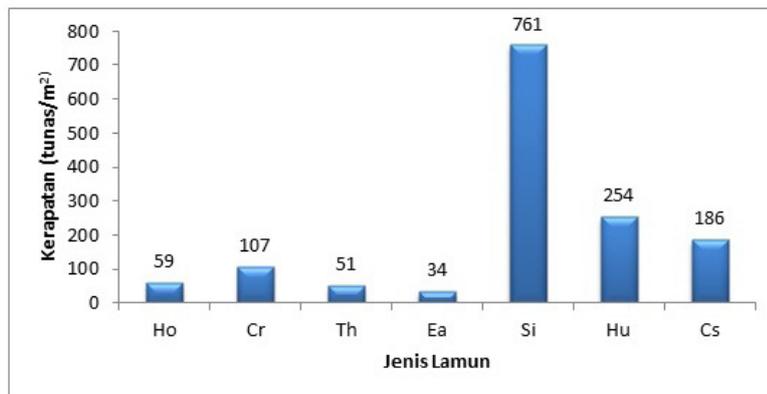
Keterangan: X = ada

LTL 5) tidak membentuk padang lamun hanya lamun menyebar sporadis dengan substrat karang dan pasir, diperkirakan luasan lamun kurang dari 1 ha. Di Stasiun LTL 4 dan LTL 5 dengan substrat dominan pasir dan pecahan karang, ditemukan jenis lamun yang lebih banyak daripada stasiun sebelumnya. Di Stasiun LTL 4 ditemukan enam jenis lamun yaitu Ea, Cs, Cr, Ho, Hu dan Si. Sementara di Stasiun LTL 5 ditemukan tiga jenis lamun yaitu Cs, Ho dan Th. Kedua stasiun ini banyak ditemukan tiga jenis makro alga yaitu *Halimeda sp.*, *Padina sp* dan *Neomeris sp*.

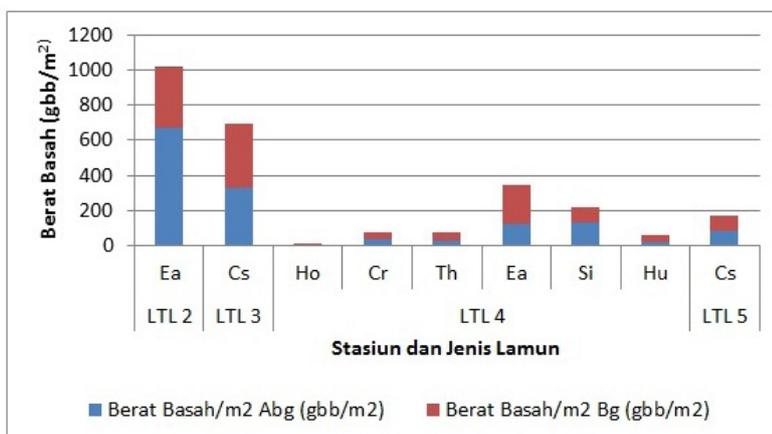
Prosentase tutupan lamun di perairan Tanjung Lesung berkisar antara 2% – 80%. Di Stasiun LTL 1 (dari pengamatan secara visual) terlihat padang lamun monospesies Ea dengan prosentase tutupan berkisar antara 40% - 80%. Di Stasiun LTL 2 dan LTL 3 terdapat dua bentukan padang lamun monospesies, spesies Cs dan Ea dengan prosentase tutupan untuk kedua jenis lamun berkisar antara 30% - 70%. Di Stasiun LTL 4 prosentase tutupan lamun berkisar antara 2% - 40%, dengan prosentase tutupan 3 jenis lamun yang tertinggi Hu 40%, Cr 38% dan Si 30%. Di Stasiun LTL 5 prosentase tutupan lamun berkisar antara 5% - 15%, dimana pada stasiun ini lebih banyak terlihat makro alga dan pecahan karang mati.

Pada Gambar 2 dapat dilihat kerapatan jenis lamun pada lokasi penelitian berdasarkan tunas/ individu lamun perluasan (tunas m⁻²). Lamun Si memiliki nilai kerapatan yang sangat tinggi yaitu 761 tunas m⁻² dan yang terendah lamun Ea 34 tunas m⁻². Kerapatan tinggi jenis Si tidak diikuti dengan luasan atau tutupan lamun serta biomassa yang signifikan dibandingkan dengan jenis lamun lainnya seperti Ea, Cs dan Th.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa biomassa basah jenis lamun umumnya besar pada bagian bawah (Bg). Biomassa terbesar pada lamun jenis Ea di stasiun LTL 2 dan Cs di stasiun LTL 3 yang terkecil biomassa jenis Ho. Rasio antara Bg dan Abg berkisar antara 0,528 – 2,306 (Tabel 2). Rasio tertinggi pada jenis Hu di stasiun LTL 4 dimana biomassa bagian bawah (Bg) 2,31 kali dari biomassa bagian atas (Abg). Dua jenis lamun yang memiliki rasio biomassa berat basah kurang dari 1 yaitu Ea (0,528) di stasiun LTL 2 dan Si (0,723) di stasiun LTL 4. Terlihat anomali Ea dimana pada stasiun LTL 2 rasio kurang dari 1, sedangkan Ea di stasiun Sailing Club biomassa Bg hampir dua kali biomassa Abg (1,841). Hal ini dapat terjadi pada stasiun LTL 2 daun – daun Ea terlihat lebih besar. Tidak dilakukan pengambilan biomassa pada stasiun Cipanon (LTL 1) dikarenakan kondisi perairan yang menuju pasang berarus cukup kuat dan keruh sehingga tidak dapat



Gambar 2. Kerapatan jenis lamun di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten, April 2013.



Gambar 3. Kerapatan jenis lamun di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten, April 2013.

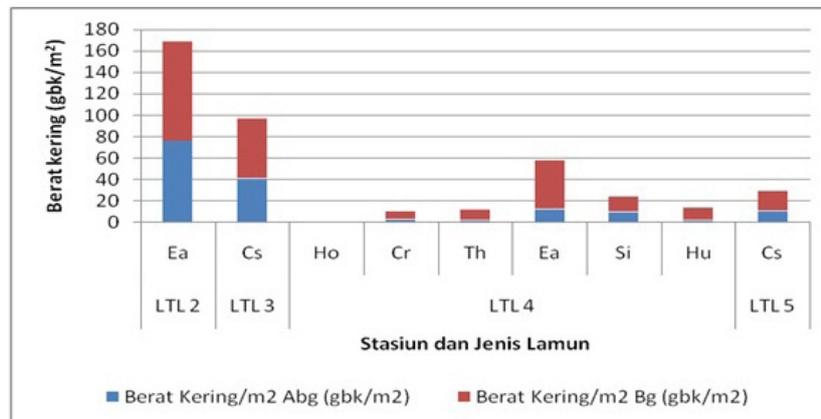
dilakukan core biomassa di stasiun ini.

Berat kering lamun seperti terlihat pada Gambar 4 pada umumnya berat terbesar terdapat pada bagian Bg untuk semua jenis kecuali pada lamun jenis Ho berat kering Abg dan Bg memiliki nilai sama sehingga rasionya 1. Hal ini menjelaskan biomassa lamun sebagai potensi *blue carbon* lebih banyak tersimpan pada bagian bawah substrat. Dimana materi biomassa yang terbentuk pada Bg umumnya berupa biomassa lebih padat (kayu) dibandingkan biomassa Abg (daun). Fenomena ini cukup terlihat dengan jelas pada lamun jenis Ea di stasiun LTL 2. Di mana rasio berat basah Bg dengan Abg sebesar 0,523 menjadi 1,22 pada rasio berat kering. Terlihat dengan jelas rasio berat kering Bg dan Abg Ea di LTL 2 menjadi lebih dari 2 kali lipat berat basahnya. Th dan Hu memiliki rasio Bg/Abg tinggi yaitu Th = 5 dan Hu = 5,4 (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa berat kering bagian bawah kedua jenis lamun ini Th dan Hu mencapai lebih dari lima kali lipat bagian atas. Berdasarkan pada berat kering total urutan potensi *blue carbon* yang tersimpan di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten berturut turut adalah Ea (113,0816 gbk m⁻²), Cs (62,96399 gbk m⁻²), Si (23,66432 gbk m⁻²), Hu (13,01537 gbk m⁻²),

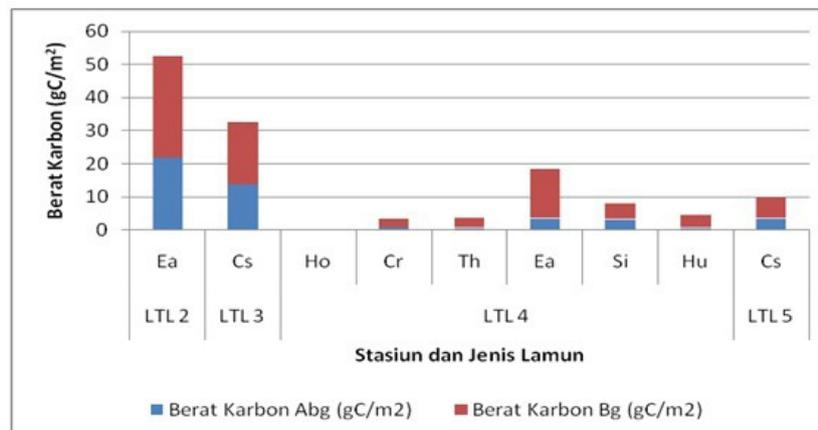
Th (11,66313 gbk m⁻²), Cr (10,14189 gbk m⁻²) dan Ho (0,33806 gbk m⁻²).

Gambar 5 menunjukkan berat karbon yang tersimpan dari biomassa lamun. Terlihat kesamaan antara berat kering (Gambar 4) dengan berat karbon. Makin terlihat dengan jelas bahwa biomassa Bg lebih banyak menyimpan karbon terutama pada lamun jenis Ea di stasiun LTL 4. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan rasio antara berat basah, berat kering dan berat karbon, dimana rasio berat basah 1,84, rasio berat kering 3,52 dan rasio berat basah Bg/Abg menjadi 4,04 (Tabel 2).

Hemminga & Duarte (2000) mengatakan bahwa biomassa lamun pada umumnya lebih besar tersimpan pada bagian bawah substrat (below ground/Bg) dibandingkan dengan bagian atas substrat (above ground/Abg). Diperkuat oleh Duarte & Chiscano (1999) yang mendapatkan hubungan positif yang kuat antara biomassa bagian atas (Above ground biomass) dan bagian bawah (Bg) dimana bagian bawah makin besar biomasanya maka biomassa bagian atas akan semakin kecil, tetapi jika biomassa bagian bawah makin kecil maka biomassa dapat menjadi lebih besar



Gambar 4. Berat kering biomassa lamun yang ditemukan bulan April 2013 di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten.



Gambar 5. Berat karbon biomassa lamun yang ditemukan bulan April 2013 di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten.

pada bagian atas. Persamaan tersebut dapat dilihat dibawah ini dengan $R^2 = 0,65$.

$$\text{Above ground biomass} = 1,55 \text{ Below ground biomass}^{0,81 \pm 0,04} \dots\dots\dots 1)$$

Alokasi biomassa pada berbagai jenis lamun berdasarkan penelitian Hemminga & Duarte (2000) yang disusun dari berbagai data dan sumber penulisan ilmiah (Gambar 6).

Secara rinci Gambar 6 menunjukkan susunan arsitektur piramida dari bagian atas/Abg (daun dan rimpang/rizoma vertikal) sampai bagian bawah/Bg (rimpang horizontal dan akar) pada beberapa jenis lamun. Terlihat bahwa lamun berukuran besar memiliki alokasi biomassa terbesar di bagian bawah substrat / Bg. Ea dan Th memiliki perbedaan yang cukup signifikan dimana Bg lebih besar dari Abg. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian dimana biomassa

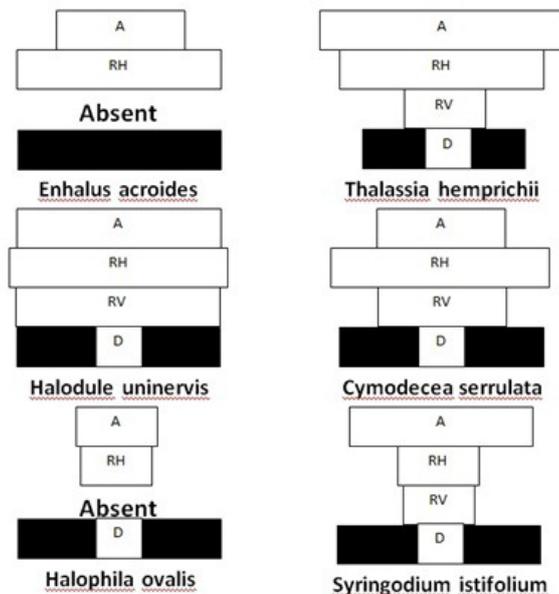
berat kering dan berat karbon Bg lebih besar dari pada Abg (Gambar 4 dan Gambar 5).

Tabel 2 memperlihatkan perbedaan rasio biomassa Bg/Abg berdasarkan pada berat basah, berat kering dan berat karbon jenis lamun yang ditemukan di lokasi penelitian. Perhitungan berat karbon Ea, Cr dan Th dari pengukuran lamun di Teluk Banten pada 2011, sedangkan jenis yang lain (Cs, Ho, Si dan Hu) mempergunakan teori Duarte & Chiscano (1999) bahwa berat karbon sebesar 33,5 % dari berat kering. Umumnya yang diperlihatkan dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa bagian besar biomassa atau potensi *blue carbon* tersimpan pada bagian Bg, kecuali jenis Ho yang sama antara Bg dan Abg.

Potensi *blue carbon* pada bagian Bg ini berpeluang tersimpan lebih lama dan terus bertambah jika ekosistem lamun terjaga dari kerusakan. Bagian Abg lebih banyak dimanfaatkan dalam rantai makanan

Tabel 2. Rasio biomassa lamun (Bg/Abg) tiap stasiun berdasarkan berat basah, berat kering dan berat karbon di Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten bulan April 2013

Stasiun	Jenis	Rasio Bg/Abg		
		Berat basah	Berat kering	Berat Karbon
LTL 2	Ea	0,53	1,22	1,40
LTL 3	Cs	1,10	1,36	1,36
LTL 4	Ho	1,40	1,00	1,00
	Cr	1,31	2,60	2,96
	Th	2,14	5,00	5,48
	Ea	1,84	3,52	4,04
	Si	0,72	1,41	1,41
LTL 5	Hu	2,31	5,42	5,42
	Cs	1,02	1,67	1,67



Gambar 6. Piramida berat biomassa lamun mulai dari daun sampai akar (adopsi dari Hemminga & Duarte 2000).

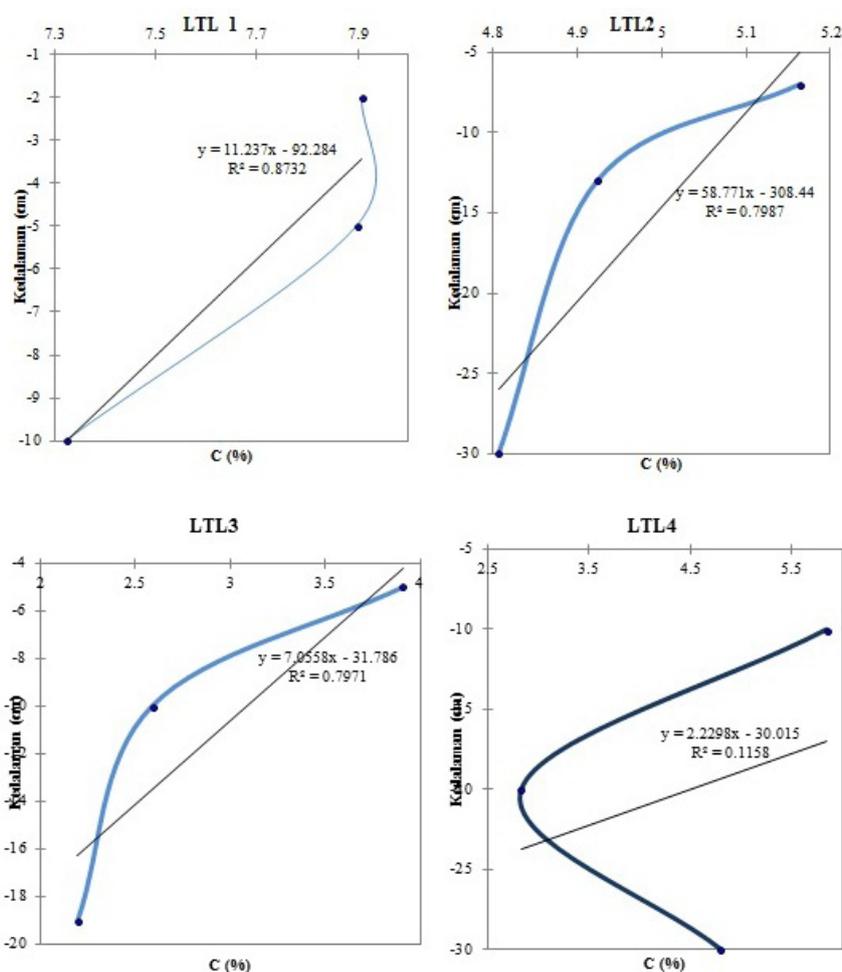
Keterangan: D= Daun; RV=Rimpang vertikal; RH=Rimpang horizontal dan A=Akar

dan terdekomposisi dan sedikit berpotensi tersimpan dalam substrat. Selain itu, kecepatan penguburan (*sink*) karbon dalam ekosistem lamun baik yang berasal dari serasah lamun ataupun biota organik lainnya yang tinggi dapat dipelihara selama ribuan tahun (Kiswara, 2009). Hal ini diperkuat oleh Gacia *et al.* (2002) yang melakukan penelitian pada hamparan lamun jenis *Posidonia oceanica* di perairan Mediterania, bahwa endapan karbon yang dihasilkan ekosistem lamun monospesies tersebut sebesar 198 gC/m² tahun⁻¹ dengan 72 % berasal dari seston dan 28 % berasal dari gugur serasah lamun *P. oceanica*. Besarnya endapan yang dilepas dengan proses remineralisasi yang terjadi dari sedimen kembali ke kolom air diperkirakan sebesar 15,6 gC m⁻² tahun⁻¹ dan masih tersisa 182 gC m⁻² tahun⁻¹ tetap tersimpan dalam sedimen yang berpotensi terkubur ribuan tahun sebagai karbon rosot (*sink*) (Gacia *et al.*, 2002).

Pengukuran nilai karbon total (C_{total}) dan nitrogen (N_{total}) dilakukan pada empat stasiun lamun yaitu stasiun LTL 1, LTL 2, LTL 3 dan LTL 4. Pengambilan dan pengukuran sedimen menurut kedalaman dengan yang di dapat berkisar antara 19 cm sampai dengan 30

cm. Profil prosentase C_{total} dan N_{total} dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Profil prosentase C_{total} pada Gambar 7 memperlihatkan pada umumnya nilai pada lapisan permukaan lebih besar kemudian menurun. Stasiun LTL 4 setelah pada kedalaman 20 cm terlihat mulai menaik. Hal ini bisa disebabkan beberapa hal, antara lain tingginya nilai C_{total} pada lapisan permukaan yang lebih disebabkan oleh biomassa lamun yang ikut masuk dalam pengambilan sampel yang menyebabkan nilai C_{total} tinggi. Selain itu profil makin meningkatnya nilai karbon kedalaman belum terlihat dengan jelas karena kedalaman yang dapat diambil belum cukup dalam dan dapat juga disebabkan ekosistem lamun yang ada kurang begitu luas sehingga serasah dan biomass detritus tidak tertahan dalam ekosistem lamun tetapi lepas di perairan. Diketahui bahwa dari kanopi yang terbentuk dan fungsi ekologis lamun dapat mengurangi kecepatan arus dan memerangkap partikel tersuspensi ke dasar perairan atau sedimen akan berkurang jika ekosistem lamun yang terbentuk tidak luas hanya berbentuk spot-spot kecil.



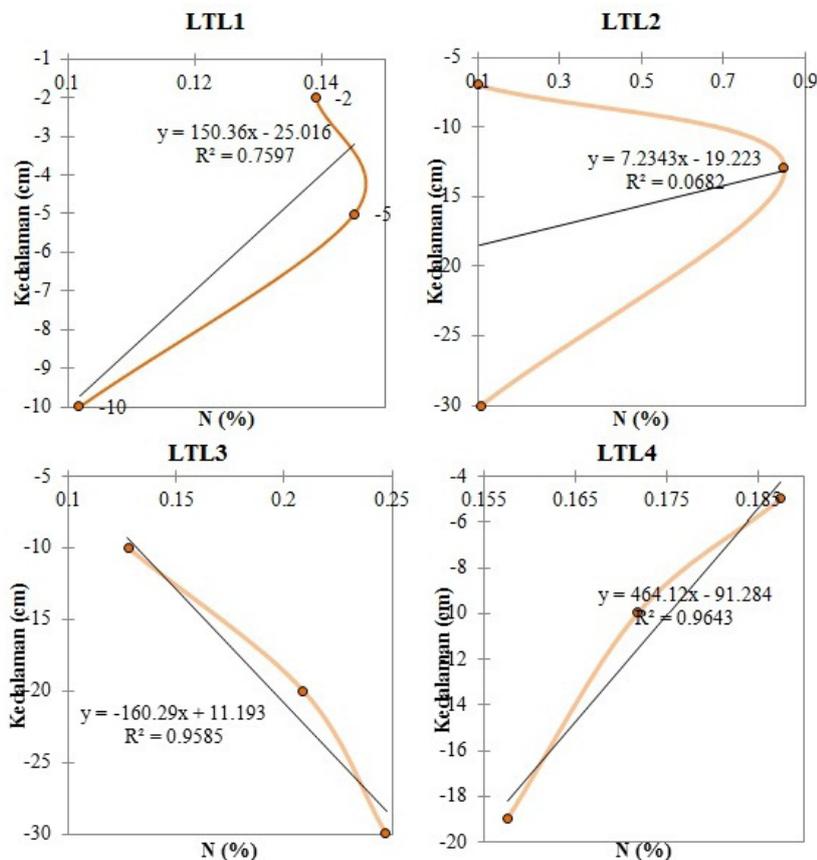
Gambar 7. Prosentase total karbon (C_{total}) yang tersimpan di sedimen.

Gambar 8 memperlihatkan prosentase N_{total} di sedimen perkedalaman pada stasiun LTL 1, LTL2, LTL 3 dan LTL 4. Terlihat pola yang cukup bervariasi dan berbeda dengan C_{total} , dimana pada LTL1 dan LTL 4 menunjukkan kecenderungan makin dalam kedalaman nilai N_{total} makin kecil sedangkan LTL 2 tidak menunjukkan pengaruh kedalaman terhadap prosentase N_{total} . Pola yang berbeda pada LTL3 dimana nilai prosentase N_{total} meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Bervariasinya pola prosentase N_{total} dengan kedalaman dapat disebabkan beberapa hal antara lain luasan lamun di lokasi penelitian yang sudah mengalami degradasi menyebabkan serasah, detritus dan biomassa lamun yang tersimpan di sedimen tidak bertahan lama, lebih banyak lepas ke perairan.

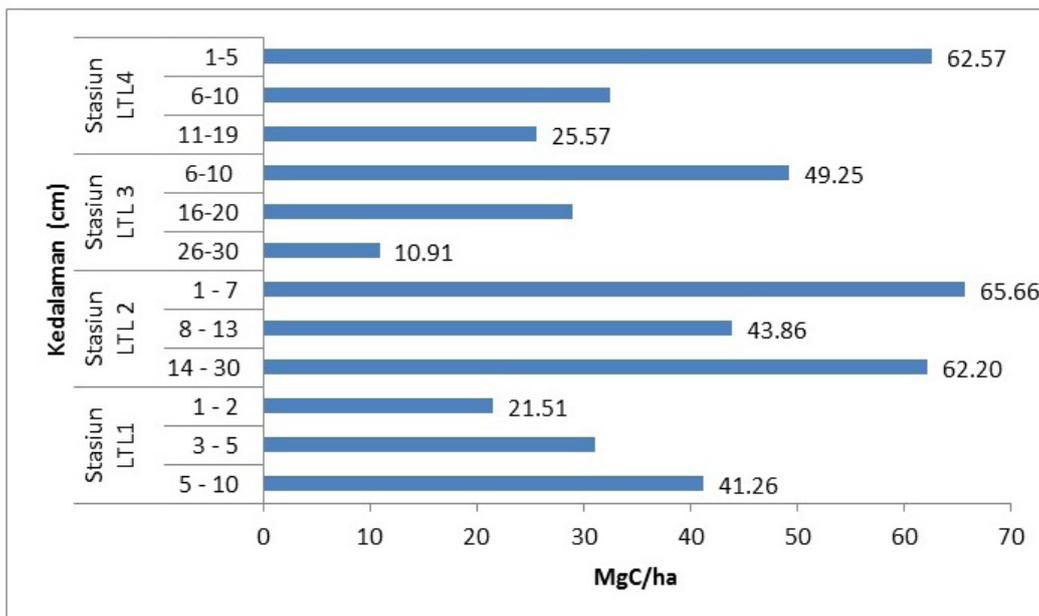
Karbon stok sedimen pada ekosistem lamun Tanjung Lesung, Banten dapat dilihat pada Gambar 9. Besaran karbon stok yang tersimpan berkisar antara 10,91 – 65,66 MgC ha⁻¹ pada seluruh stasiun pengamatan. Umumnya nilai karbon stok tinggi pada lapisan permukaan dengan kedalaman yang berkisar antara 10 sampai 30 cm. Nilai karbon stok sampai kedalaman 10 – 30 cm berkisar 89,07 – 171,72 MgC ha⁻¹. Nilai terendah adalah 89,07 MgC ha⁻¹ (LTL 3) dan tertinggi sebesar 171,72 MgC ha⁻¹ (LTL 2) berada pada stasiun yang merupakan ekosistem lamun dekat dengan daratan dan muara sungai. Lokasi ini dapat

dikatakan mengandung sedimen lebih besar dari daratan (*terrigenous*) yang memiliki nilai karbon lebih rendah dibandingkan dengan sedimen yang berasal dari laut yang umumnya tersusun dari pecahan karang, cangkang biota laut yang memiliki nilai kandungan karbon lebih tinggi atau disebut sedimen karbonat. Dengan demikian dapat dikatakan besaran karbon di stasiun LTL 2 dan LTL 3 lebih banyak disumbangkan dari vegetasi (lamun yang tumbuh di dasarnya). Diketahui bahwa stasiun LTL 2 merupakan padang lamun monospesies *Enhalus acoroides* dan LTL 3 merupakan padang lamun monospesies *Cymodocea serrulata*. Tinggi karbon stok sedimen di stasiun LTL 2 diasumsikan lebih banyak disumbangkan dari dekomposisi dan serasah lamun *Enhalus acoroides* yang berukuran lebih besar dibandingkan dengan *Cymodocea serrulata*.

Hal ini diperkuat dengan penelitian yang didapat Kiswara (2010) bahwa produksi daun *Enhalus acoroides* yang diekspor ke ekosistem lain dalam bentuk serasah melayang (segar) sebesar 9,2 % untuk serasah lapuk yang berada di dasar sebesar 42,9 % pada musim peralihan pertama (April 2009), sedangkan pada musim timur (Juli 2009) lebih besar pada serasah segar sebesar 33,1 % dan serasah lapuk sebesar 15,1 %. Penelitian Rustam (2014) mendapatkan serasah segar yang dihasilkan daun



Gambar 8. Prosentase total nitrogen (N_{total}) yang tersimpan di sedimen.



Gambar 9. Karbon stok dalam sedimen di ekosistem lamun Tanjung Lesung.

Enhalus acoroides sebesar 31,5% dan serasah lapuk sebesar 10,6 % dengan total sebesar 42,1 %. Nilai ini lebih rendah dari yang didapatkan Kiswara (2010). Supriadi (2012) mendapatkan produksi serasah daun yang diekspor ke ekosistem lain di Pulau Baranglombo sebesar 42,2 – 124,9 % dari produksi daun. Walaupun produksi bagian atas sebagian besar terekspor ke ekosistem lain namun di bagian *continental shelf* bahan organik yang berasal dari lamun akan terdeposit ke dasar perairan sehingga dapat dikatakan karbon lamun ikut berperan dalam sink (penenggelaman) karbon dan tersimpan di sedimen.

Tingginya karbon stok pada sedimen di ekosistem lamun diperkuat dengan penelitian Kennedy *et al.* (2010) yang mengatakan bahwa sedimen pada padang lamun merupakan tempat penyimpanan karbon yang besar yang diperkirakan mampu mengubur karbon antara 48 dan 112 TgC tahun⁻¹ berdasarkan data 207 padang lamun di 88 lokasi. Diperkuat Fourqurean *et al.* (2012) ekosistem lamun mampu menyimpan karbon di sedimen sebesar 4,2 - 8,4 PgC, namun dengan laju degradasi saat ini akan melepas 299 TgC pertahun karena proses mineralisasi sedimen yang sudah kehilangan lamun. Lavery *et al.* (2013) mendapatkan kisaran nilai stok karbon sedimen pada 10 jenis lamun di padang lamun Australia baik yang monospesies maupun campuran dari 17 lokasi sebesar 155 MtC. Nelleman *et al.* (2009) mengatakan potensi penyimpanan karbon dalam sedimen di ekosistem lamun yang sehat dengan sistem penyusunan biomas lamun yang memiliki kanopi dan perakaran yang rumit dan terjalin rapat akan menyimpan karbon dalam sedimen sampai ribuan tahun

Besaran karbon total lamun di ekosistem lamun Tanjung Lesung sebagai *blue carbon* dalam upaya mitigasi perubahan iklim berdasarkan karbon stok di biomas sebesar 132,18 gC m⁻² (1,32 MgC ha⁻¹) setara dengan 484,64 gCO₂e m⁻² atau 4,85 MgCO₂e ha⁻¹. Karbon stok total di sedimen sebesar 475,21 MgC ha⁻¹ setara dengan 1.742,43 MgCO₂ ha⁻¹, besarnya karbon yang tersimpan mencapai 360 kali lipat dari biomas.

Kemampuan ekosistem lamun di Tanjung Lesung, Banten sebagai *blue carbon* telah mengalami degradasi dibandingkan tahun 1994. Peranan dalam memanfaatkan CO₂ dalam fotosintesis dalam spesies HCO₃⁻ dalam kolom air otomatis berkurang sehingga penyerapan langsung CO₂ dari atmosfer pun akan berkurang, bahkan dapat menjadi pelepas CO₂ dari kolom air karena mineralisasi sedimen akibat minimnya lamun di perairan.

KESIMPULAN

Pada Ekosistem lamun di Teluk Miskam, Tanjung Lesung tercatat tujuh jenis lamun yaitu Ea, Cs, Cr, Th, Hu, Si dan Ho. Lamun tersebar dari desa Cipanon di Teluk Miskam sampai di Tanjung Lesung. Keberadaan lamun dibandingkan penelitian terdahulu telah mengalami degradasi baik jenis (8 jenis menjadi 7 jenis) dan hamparan padang lamun yang terbentuk sepanjang 2,5 km pada 1994 saat ini hanya membentuk spot sepanjang 100 m – 250 m di tiga lokasi serta spot-spot yang kurang dari 10 m di dua lokasi. Kisaran tutupan lamun berkisar antara 2% - 80%. Potensi lamun sebagai blue carbon di lokasi sebesar 2.658,83 gbb m⁻² atau 410,91 gbk m⁻² atau 132,17 gC m⁻². Jenis lamun yang berpotensi sebagai

blue carbon ada 3 jenis yaitu Ea, Cs dan Si dengan potensi Ea sebesar 35,43 gC m⁻², Cs 12,40 gC m⁻² dan Si 7,93 gC m⁻². Potensi karbon yang tersimpan dalam sedimen pada kedalaman antara 0 - 30 cm terbesar pada LTL1 sebesar 0,124 - 0,134 gC m⁻² terendah pada stasiun LTL4 sebesar 0,037 - 0,066 gC m⁻².

Keberadaan lamun di lokasi penelitian telah mengalami degradasi dikarenakan pesatnya pembangunan seperti resort. Disarankan agar hal ini mendapat perhatian supaya keberadaan lamun tetap lestari karena selain menyimpan potensi sebagai *blue carbon*, lamun juga berperan besar sebagai daerah asuhan, mencari makan dan pemijahan bagi biota yang ada di pesisir dan laut. Diperlukan regulasi dan aksi yang melindungi keberadaan lamun, seperti perlunya transplantasi, penanaman lamun dan peraturan yang melarang melakukan pengerukan di daerah ekosistem lamun serta adanya kompensasi penanaman kembali jika sudah terjadi. Selain itu pembentukan zonasi daerah perlindungan laut dengan area tertentu dapat dijadikan suatu regulasi yang baik di daerah yang memiliki tiga atau salah satu dari ekosistem utama di pesisir, yaitu ekosistem terumbu karang, *mangrove* dan lamun.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Balitbang Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, N.S. & A. Rustam. (2010). Study awal pengukuran system CO₂ di Teluk Banten, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VI ISOI 2009, ISBN: 978-979-98802-5-3, 17 halaman.

Duarte, C.M. & Chiscano, C.L. (1999) Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany* 65 (1999) 159 – 174. Elsevier

Fourqurean, J.W., Duarte C.M., Kennedy, H., Marba, N., Holmer, M., Mateo, M.A., Apostalki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., Mc, Glathery, K.J. & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystem as a globally significant carbon stock. *Nat Geosci* 1-5. doi 10:1038/NCEO1477

Gacia, E., Duarte, C.M. & Middelburg, J.J. (2002) Carbon and nutrient deposition in a Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Limnol. Oceanogr* 47(1) 23 - 32

Hemminga, M.A. & Duarte, C.M. (2000). *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press. USA

Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marba, N., Middelburg, J.J. (2010). Seagrass sediment as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Geo Biogeochem Cyc* 24:GB4026. doi: 10.1029/2010GB003848

Kenzie, Mc., Campbell, S.J. & Roder, C.A. (2003). *Seagrasswatch: Manual for mapping & monitoring seagrass resources by community (citizen) volunteers* 2nd edition. The state of Queensland, Department of Primary Industries, CRC Reef. Queensland. pp 104

Kiswara, W. (2009). Potensi padang lamun sebagai penyerap karbon: Studi kasus di Pulau Pari, Teluk Jakarta. Disampaikan dalam PIT ISOI VI 16-17 November 2009. Jakarta

Kiswara, W. (2010). Studi pendahuluan: Potensi padang lamun sebagai karbon rosot dan penyerap karbon di Pulau Pari, Teluk Jakarta. *Oceanologi dan limnologi di Indonesia* 36 (3): 361 – 376. ISSN 0125-9830

Kiswara, W. & Tomascik, T. (1994) The distribution of seagrass in a dugong (Dugong dugon Muller) Habitat in Miskam Bay, Sunda Strait, Indonesia. *Proceedings third ASEAN – Australia Symposium Living Coastal Resources*, Vol 2. Research Papers, Chulalongkorn University, Bangkok Thailand

Lavery, P.S., Mateo, M.A., Serrano, O. & Rozaimi, M. (2013). Variability in the carbon storage of seagrass habitats and its implications for global estimates of blue carbon ecosystem service. *Plos ONE* 8(9):1-12.e73748. doi: 10.1371/journal.pone.0073748

Nelleman, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdes, L., De, Young, C., Fonseca, L., & Grimsditch, G. (2009). Blue Carbon- The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon. Report A New Rapid Response Assessment. Report Release 14 October 2009 at the Diversitas Conference, Cape Town Conference Centre, South Africa. [diunduh: 2009 November 19] Tersedia pada: www.unep.org

Rustam, A., Pranowo, W.S., Kepel, T.L., Adi, N.S. & Hendrajana, B. (2013). Peran laut Jawa dan Teluk Banten sebagai pelepas dan/atau penyerap CO₂. *J Segara* vol 9 No 1 Agustus 2013: 75-84

Rustam, A. (2014). Kontribusi lamun dalam regulasi karbon dan stabilisasi ekosistem. [Disertasi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor

Skelton, P.A., South, G.R. (2006). Seagrass biodiversity of the Fiji and Samoa islands, South Pacific. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* vol 40: 345-356

Supriadi. (2012). Stok dan neraca karbon komunitas lamun di Pulau Barranglompo Makassar. [Disertasi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor

[IUCN] International Union for Conservation of Nature. (2014). The IUCN red list of threatened species. <http://www.iucnredlist.org/details/full/173327/0>. [31 Desember 2014]

STOK KARBON DAN STRUKTUR KOMUNITAS MANGROVE SEBAGAI BLUE CARBON DI TANJUNG LESUNG, BANTEN

Restu Nur Afi Ati¹⁾, Agustin Rustam¹⁾, Terry L. Kepel¹⁾, Nasir Sudirman¹⁾, Mariska Astrid¹⁾, August Daulat¹⁾, Peter Mangindaan¹⁾, Hadiwijaya L. Salim¹⁾ & Andreas A. Hutahaean¹⁾

¹⁾Peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir,
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan-KKP

Diterima tanggal: 14 Juni 2014; Diterima setelah perbaikan: 16 September 2014; Disetujui terbit tanggal 23 Oktober 2014

ABSTRAK

Mangrove merupakan salah satu parameter *Blue Carbon*, karena perannya dalam memanfaatkan CO₂ untuk fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa dan sedimen. Pembangunan ekonomi sering berdampak terhadap lingkungan seperti konversi hutan *mangrove* menjadi tambak dan kawasan pariwisata. Penetapan Teluk Miskam di Tanjung Lesung sebagai salah satu Kawasan Ekonomi Khusus untuk kawasan pertumbuhan pariwisata menjadikan daerah tersebut rentan pemanfaatan berlebih yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan. Atas dasar tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengkaji struktur komunitas *mangrove* dan keberadaan karbon stok kondisi terkini. Penelitian dilakukan pada 8 – 12 April 2013. Metode pengambilan data *mangrove* yaitu dengan menarik garis transek dan kuadrat. Penentuan biomassa *mangrove* melalui *Diameter Breast Height* (DBH) dan persamaan allometrik sedangkan kandungan karbon *mangrove* dan sedimen menggunakan CN analysis. Analisis struktur komunitas menggunakan Indeks *Shannon-Wiener*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai simpanan karbon pada *mangrove* di Teluk Miskam adalah sebesar 49,44 – 55,33 MgC ha⁻¹ untuk jenis *Avicennia marina* dan 2,50 MgC ha⁻¹ untuk jenis *Bruguiera gymnorhiza*. Secara umum, karakteristik sedimen *mangrove* di Teluk Miskam berlumpur dan berbau. Kandungan karbon dalam sedimen berkisar antara 0,78 – 9,51% atau 4,43 – 27,92 MgC ha⁻¹. Simpanan karbon yang besar dalam sedimen berada pada kedalaman 50 m (stasiun 1) dan 40 m (stasiun 2), yaitu masing-masing sebesar 23,26 dan 27,92 MgC ha⁻¹.

Kata kunci: *mangrove*, karbon stok, *blue carbon*, Teluk Miskam Tanjung Lesung Banten

ABSTRACT

*Mangrove forests is one of parameters in Blue Carbon, because of its role in CO₂ uptake through photosynthesis and subsequently store into biomass and sediment. Economic development often produces an impact on the environment such as the conversion of mangrove forests into fish pond and tourism areas. Determination of Miskam Bay in Tanjung Lesung as a Special Economic Zone for new tourism growth makes the area to become vulnerable of such excessive use, which potentially produces environmental damage. Therefore, the aims of the present research are to investigate the mangrove community structure and the presence of carbon stocks. The study was conducted during period of 8 - 12 April 2013. Methods of mangrove data collection were based on line transects and squares. Determination of mangrove biomass is implemented through Diameter Breast Height (DBH) and allometric equations whereas analysis CN was used to know the value of carbon stocks mangrove and sediment. Community structure analysis was calculated according to Shannon-Wiener Index. The present research found that the carbon storage values obtained in mangrove biomass in the Miskam Bay is 49.44 to 55.33 MgC ha⁻¹ for the *Avicennia marina* and 2.50 MgC ha⁻¹ for the *Bruguiera gymnorhiza*. Generally, characteristic of mangrove sediment in the Miskam Bay is muddy and smelly. The carbon content in sediment varies between 0.78 to 9.51% or 4.43 to 27.92 MgC ha⁻¹. The large carbon store in sediments is located in 50 m depth (Station 1) and 40 m depth (station 2), which were respectively 23.26 and 27.92 MgC ha⁻¹.*

Keywords: *mangrove*, carbon stocks, *blue carbon*, Teluk Miskam Tanjung Lesung Banten

PENDAHULUAN

Kabupaten Pandeglang merupakan wilayah dari Provinsi Banten yang memiliki peluang ekonomi yang besar karena posisi geografis dan aset pemerintahan daerahnya yang sangat mendukung (Data Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Banten, 2013). Salah satu lokasinya adalah Kawasan Tanjung Lesung Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang yang dijadikan sebagai Kawasan Ekonomi Khusus zona pariwisata berdasarkan PP No. 26 Tahun 2012 Pasal 2. Hal ini dilakukan dalam rangka mempercepat pembangunan perekonomian untuk menunjang percepatan dan perluasan pembangunan ekonomi nasional.

adalah menghasilkan pertumbuhan ekonomi yang signifikan dan pada sisi lain menghasilkan potensi pencemaran atau kerusakan lingkungan. Efek negatif tersebut dapat merusak kesetimbangan sumber daya alam sehingga pada akhirnya dapat mengakibatkan perubahan iklim dan pemanasan global.

Perubahan ekosistem pesisir seperti abrasi pantai merupakan salah satu permasalahan yang dimiliki oleh Kecamatan Panimbang, yaitu 50 % dari 40 km garis pantainya mengalami kerusakan akibat abrasi. Abrasi yang terjadi sebagian besar diakibatkan oleh faktor alam dan kegiatan manusia seperti pertambahan, penebangan hutan mangrove, penggalian pasir pantai dan reklamasi (Data Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Banten, 2013).

Dampak yang berbeda dari hasil pembangunan

Korespondensi Penulis:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: restu.noviansyah@gmail.com

Kondisi *mangrove* di Kecamatan Panimbang semakin rusak dan menghilang keberadaannya. Berdasarkan data penelitian Adamy (2009) pada 2007 ditemukan adanya 13 species *mangrove* di pesisir Panimbang. Luasan *mangrove* di Kecamatan Panimbang pada 2010 adalah sebesar 37,07 ha dengan kondisi rusak (Dinas Kehutanan dan Perkebunan Provinsi Banten, 2012 dalam Data Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Banten, 2013).

Ekosistem *mangrove* di wilayah pesisir Teluk Miskam, Tanjung Lesung sudah sangat sulit ditemui. *Mangrove* yang dijumpai berupa *mangrove* alami dan sebagian *mangrove* yang ditanam secara swadaya oleh masyarakat. Tujuan penanaman adalah untuk menahan laju abrasi pantai dan menunjang produktivitas hayati.

Fungsi ekologis *mangrove* dari aspek fisika adalah adanya mekanisme hubungan antara *mangrove* dengan ekosistem lain seperti padang lamun dan terumbu karang. *Mangrove* memiliki sistem perakaran yang kuat dan kokoh sehingga dapat meredam gelombang, menahan lumpur dan melindungi pantai dari erosi.

Aspek biologi ekosistem *mangrove* berperan menjaga kestabilan produktivitas dan ketersediaan hayati wilayah pesisir sebagai daerah asuhan dan pemijahan. Kemampuan dalam proses kimia dan pemulihan yaitu sebagai penyerap bahan pencemar khususnya bahan organik serta pemasok bahan organik bagi lingkungan perairan. *Mangrove* dapat menyerap karbon di atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa dan sedimen, sehingga *mangrove* sangat berperan dalam mitigasi perubahan iklim global.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi *mangrove* di Teluk Miskam sebagai karbon biru (*Blue Carbon*), yaitu dengan mengukur kandungan karbon dan potensi ekologisnya. Dengan adanya penelitian ini diharapkan adanya perlindungan dan pemanfaatan *mangrove* secara lestari yang dapat dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada 8 – 12 April 2013 di Teluk Miskam, Tanjung Lesung Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang. Pengambilan sampel sebanyak 2 (dua) stasiun mewakili kondisi ekosistem *mangrove*, yaitu Stasiun M1 merupakan *mangrove* alami (-6,53080 LS dan 105,72902 BT) sedangkan stasiun M2 merupakan *mangrove* yang ditanam (-6,52962 LS dan 105,72832 BT) (Gambar 1).

Data struktur komunitas *mangrove* diperoleh dengan menarik garis transek 100 m kemudian dibuat kuadrat 10x10 m (5 plot). Pada setiap plot dilakukan identifikasi, menghitung jumlah tegakan pohon, anakan dan semai (Bengen, 2003). Pengambilan sampel biomassa atas (*above ground*) dan bawah (*below ground*). Pengambilan sedimen menggunakan *Sediment Core* untuk pengukuran kandungan karbon pada *mangrove* dan sedimen (Kauffman & Donato, 2012).

Analisis struktur komunitas menggunakan Indeks *Shannon-Wiener*. Penentuan biomassa *mangrove* melalui *Diameter Breast Height* (DBH) dan persamaan allometrik sedangkan kandungan karbon *mangrove* dan sedimen diukur menggunakan alat *Truspect Analysis CHNS* merk LECO dengan satuan % C dalam berat kering dan sampel telah dihaluskan.



Gambar 1. Lokasi penelitian Tanjung Lesung, Banten April 2013.

Indeks *Shannon-Wiener* digunakan untuk analisis ekosistem pesisir, seperti ekosistem *mangrove*. Kondisi ekosistem tersebut direpresentasikan dengan kondisi kerapatan jenis (D_i), kerapatan relatif jenis (RDi), frekuensi jenis (F_i), frekuensi relatif jenis (RFi) dan nilai penting jenis ($INPi$) *mangrove* yang ada di lokasi, sebagai berikut:

1. Kerapatan jenis (D_i) adalah jumlah total tegakan jenis i (n_i) dalam suatu unit area atau Luas total area pengambilan sampel (luas total plot) (A).

$$D_i = \frac{n_i}{A} \dots\dots\dots 1)$$

2. Kerapatan relatif jenis (Jumlah total tegakan jenis i RDi) adalah perbandingan antara jumlah tegakan jenis i (n_i) dan jumlah total tegakan seluruh jenis ($\sum n$).

$$RDi = (n_i / \sum n) \times 100 \dots\dots\dots 2)$$

3. Frekuensi jenis (F_i) adalah jumlah jenis i (p_i) dalam plot yang diamati ($\sum p$).

$$F_i = (p_i / \sum p) \dots\dots\dots 3)$$

4. Frekuensi relatif jenis (RFi) adalah perbandingan antara frekuensi jenis i (F_i) dan jumlah frekuensi seluruh jenis ($\sum F$).

$$RFi = (F_i / \sum F) \times 100 \dots\dots\dots 4)$$

5. Penutupan jenis (C_i) yaitu perbandingan basal area ($\sum BA$) jenis pada luasan unit area (A).

$$C_i = \frac{\sum BA}{A} \dots\dots\dots 5)$$

6. Penutupan relatif (RCi) adalah perbandingan penutupan jenis ke- i (C_i) dengan total penutupan seluruh jenis ($\sum C$).

$$RCi = \left(\frac{C_i}{\sum C} \right) \times 100 \dots\dots\dots 6)$$

7. Indeks Nilai Penting (INP) menggambarkan kedudukan ekologis suatu jenis dalam komunitas dengan melihat dominasi suatu jenis terhadap jenis lainnya. Nilai berkisar antara 0 – 300 atau 1-3.

$$INP = RDi + RFi + RCi \dots\dots\dots 7)$$

Data biomassa *mangrove* diperoleh berdasarkan pengukuran DBH (*Diameter Breast Height*) pohon dan kemudian data tersebut dimasukkan dalam persamaan allometrik pada setiap jenis. Persamaan allometrik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Potensi penyimpanan karbon dalam biomassa bagian atas substrat (*above ground*) dan bawah substrat (*below ground*) adalah berdasarkan pada gram berat basah, gram berat kering dikonversi dalam gram karbon per satuan luas (gbb m^{-2} , gbk m^{-2} dan $gC m^{-2}$). Konsentrasi karbon dalam bahan organik biasanya sekitar 46 - 50% (Hairiah & Rahayu, 2007) dan (Dharmawan & Siregar, 2008). Estimasi jumlah karbon tersimpan per komponen dihitung dengan mengalikan total berat biomasanya dengan konsentrasi karbon. Berat kering komponen penyimpan karbon dalam luasan tertentu dikonversi ke nilai karbon dengan perhitungan.

$$\text{Karbon Stok} = \text{Biomassa persatuan luas} \times 0,46 \text{ atau } 0,5 \text{ atau } \% C \text{ hasil analisa} \dots\dots\dots 8)$$

Proses awal perhitungan kandungan karbon pada sedimen memerlukan data berat jenis (*bulk density*) yang mengacu pada Kauffman & Donato (2012) dengan rumus:

$$\text{Bulk density (berat jenis)} = \frac{\text{Berat kering sampel (g)}}{\text{Volume sampel (cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots 9)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan karbon dalam sedimen dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Karbon sedimen (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{bulk density (g cm}^{-3}\text{)} \times \text{interval kedalaman (cm)} \times \% C \dots\dots\dots 10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ekosistem *Mangrove*

Hasil pengamatan ekosistem *mangrove* pada 2 stasiun (M1 dan M2) menunjukkan bahwa secara keseluruhan pesisir Teluk Miskam memiliki 4 (empat) jenis *mangrove*, diantaranya 3 (tiga) jenis *mangrove* alami yang tersisa yaitu *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorhiza* sedangkan satu jenis yang berada di luar transek adalah jenis *Rhizophora mucronata*. Jenis *mangrove* yang ditanam adalah *Rhizophora stylosa*.

Tabel 1. Spesies lamun yang ditemukan di perairan Teluk Miskam, Tanjung Lesung, Banten

Jenis	Persamaan	Sumber
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0,1848D^{2,3624}$	Dharmawan & Siregar (2008)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	$B = 0,0754D^{2,505^p}$	Kauffman & Donato (2012)

Keterangan: B=Biomassa (kg); D= *Diameter Breast Height* l (cm); p= *wood density* (g cm^{-3})

Keanekaragaman jenis *mangrove* di wilayah pesisir Teluk Miskam telah berkurang ragam dan jumlahnya. Penelitian Adamy (2009) yang dilakukan pada 2007 di pesisir Panimbang Banten tercatat sebanyak 13 jenis spesies *mangrove* yaitu *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Avicennia alba*, *Excoecaria agallocha*, *Sonneratia alba*, *Hibiscus tiliaceus*, *Rhizophora stylosa*, *Heritiera littoralis*, *Lumnitzera racemosa* dan *Acanthus ilicifolius*.

Berkurangnya keanekaragaman *mangrove* di wilayah tersebut dapat dikarenakan adanya proses pembukaan lahan *mangrove* untuk aktivitas lain. Kondisi ini dapat dilihat bahwa adanya perubahan luasan *mangrove*. Hasil penelitian menunjukkan luasan *mangrove* di pesisir Teluk Miskam adalah sebesar 22,56 ha (Gambar 2) sedangkan pada 2010 tercatat luasan *mangrove* di Kecamatan Panimbang sebesar 37,07 Ha dengan kondisi rusak (Dinas Kehutanan dan Perkebunan Provinsi Banten 2012 dalam Data Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Banten, 2013).

Tabel 2 menunjukkan hasil penelitian pada kondisi ekologis ekosistem *mangrove* di Teluk Miskam,

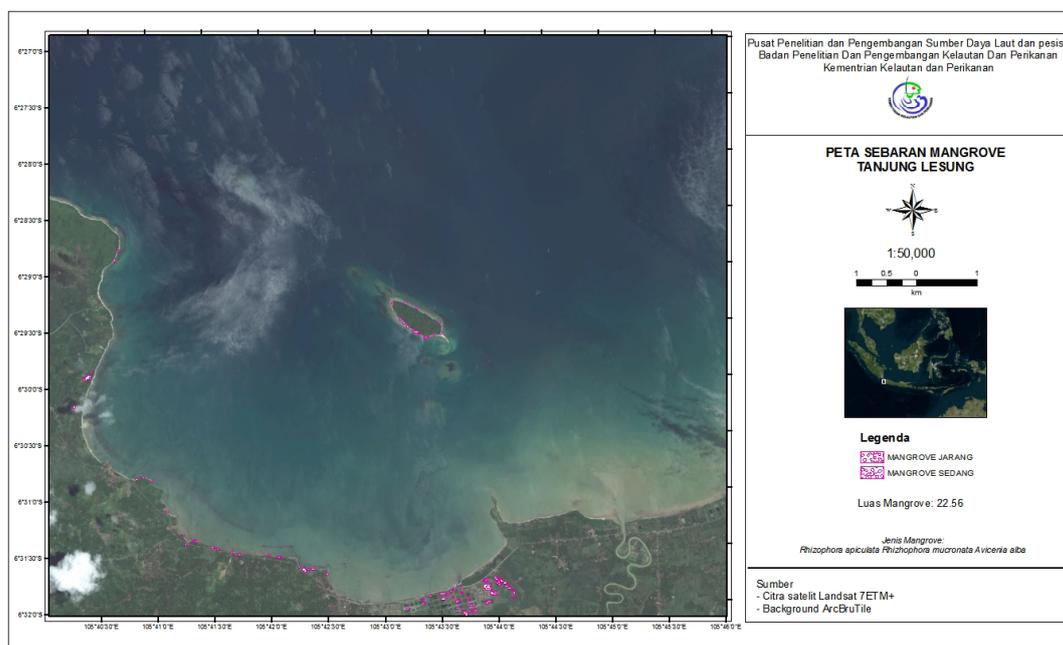
Tanjung Lesung.

Berdasarkan pada data tersebut, dapat dikatakan bahwa kerapatan *mangrove* alami di pesisir Teluk Miskam berkisar antara 140 – 560 ind. ha⁻¹. Data menunjukkan bahwa jenis *Avicennia marina* mendominasi daerah pesisir Teluk Miskam dengan nilai frekuensi relatif sebesar 28,39 – 70,55. Hasil indeks nilai penting adalah sebesar 21,94 - 152,32. Nilai tersebut menunjukkan bahwa peran *mangrove* di pesisir Teluk Miskam tergolong dalam kategori rendah (skala 0 – 300).

Pembukaan lahan *mangrove* di pesisir Teluk Miskam perlu dibatasi karena deforestasi *mangrove* secara global dan perubahan tata guna lahan dapat menyebabkan emisi karbondioksida (CO₂) sekitar 10% atau setara dengan 0,02 – 0,12 PgC per tahun (Donato *et al.*, 2011).

Biomassa Mangrove

Hasil perhitungan biomassa *mangrove* menunjukkan *Avicennia marina* memiliki kisaran total biomassa sebesar 103,98 – 116,36 Mg C ha⁻¹. Kisaran



Gambar 2. Peta sebaran *mangrove* di Teluk Miskam Tanjung Lesung Kecamatan Panimbang Banten.

Tabel 2. Indeks Nilai Penting ekosistem *mangrove* di Teluk Miskam, Tanjung Lesung

Stasiun	Jenis	Range dbh	Rdi	Rfi	Rci	INP
1	<i>A. marina</i>	3,18 - 32,80	100,00	1,77	28,39	130,16
2	<i>A. marina</i>	3,18 - 36,62	80,00	1,77	70,55	152,32
3	<i>B. gymnorrhiza</i>	6,05 - 8,59	20,00	0,88	1,057	21,94

Keterangan: Rdi = Kerapatan relatif; Fi = Frekuensi Relatif Jenis; Rci = Penutupan Relatif; INP=Indeks Nilai Penting

biomassa tersebut lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya, seperti total biomassa *Bruguiera gymnorrhiza* yang hanya sebesar 5,26 MgC ha⁻¹. Besarnya nilai biomassa diperoleh dari jumlah kerapatan suatu jenis dan besarnya lingkaran batang pohon.

Grafik hubungan *Diameter Breast Height* (DBH) dan biomassa (Gambar 3) menunjukkan hubungan linier bahwa semakin besar nilai DBH maka semakin besar nilai biomassa yang dimiliki suatu pohon. Nilai koefisien determinasi (R²) yang dimiliki adalah sebesar 0,880. Semakin besar nilai koefisien maka terlihat semakin erat kaitan lingkaran batang pohon terhadap biomassa suatu pohon.

Bila dibandingkan dengan hasil penelitian Dharmawan & Siregar (2008), maka nilai biomassa *Avicennia marina* di Teluk Miskam, Tanjung Lesung memiliki kisaran yang rendah. Hasil penelitian Dharmawan & Siregar (2008) memiliki nilai biomassa tinggi untuk jenis *Avicennia marina* di Ciasem Purwakarta yaitu sebesar 364,9 MgC ha⁻¹ dengan kisaran DBH sebesar 6,4 – 35,2 cm.

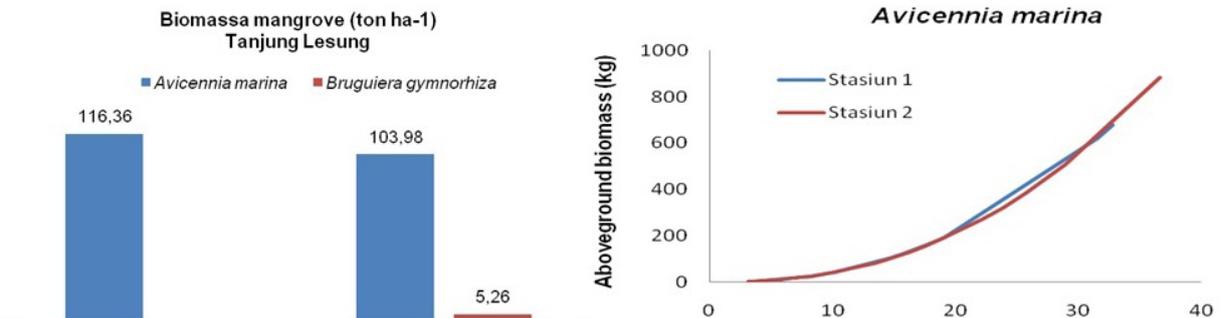
Dari kondisi tersebut, dapat dikatakan bahwa tingginya potensi biomassa juga dapat disebabkan oleh

tingkat kesuburan tanah yang tinggi disamping tingginya kerapatan pohon. Hutan *mangrove* merupakan bentuk ekosistem pesisir yang mempunyai produktivitas tinggi. Produktivitas primer hutan *mangrove* dapat mencapai 5.000 gC m⁻² tahun⁻¹ (Supriharyono, 2000).

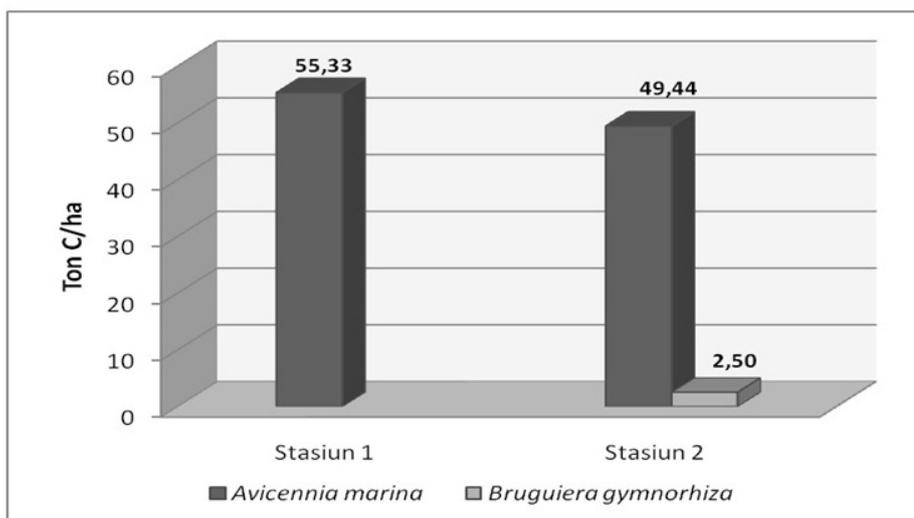
Estimasi Stok Karbon pada *Mangrove*

Pada Gambar 4 ditunjukkan nilai simpanan karbon sebesar 49,44 – 55,33 MgC ha⁻¹ untuk jenis *Avicennia marina* dan 2,50 MgC ha⁻¹ untuk jenis *Bruguiera gymnorrhiza*. Bila dibandingkan dengan hasil penelitian Dharmawan & Siregar (2008), jumlah karbon yang tersimpan pada *Avicennia marina* di Ciasem Purwakarta, Banten dua kali lipat lebih besar yaitu 182,5 MgC ha⁻¹. Besar kecilnya simpanan karbon dalam suatu vegetasi bergantung pada jumlah biomassa yang terkandung pada pohon, kesuburan tanah dan daya serap vegetasi tersebut.

Tumbuhan menyerap karbon dari udara dan mengkonversinya menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis digunakan untuk pertumbuhan secara vertikal dan horizontal. Semakin besarnya diameter pohon disebabkan oleh penyimpanan biomassa hasil konversi karbon yang



Gambar 3. Nilai biomassa jenis *mangrove* dan grafik hubungan diameter pohon - biomassa jenis *mangrove* di perairan Teluk Miskam, Tanjung Lesung.



Gambar 4. Simpanan karbon pada *mangrove* di Teluk Miskam, Tanjung Lesung.

semakin bertambah besar seiring dengan semakin banyaknya karbon yang diserap pohon tersebut. Secara umum hutan dengan *net growth* (pohon-pohon yang sedang berada dalam fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak karbon, sedangkan hutan dewasa dengan pertumbuhan yang kecil menahan dan menyimpan persediaan karbon tetapi tidak dapat menyerap karbon secara ekstra (Retnowati, 1998).

Stok Karbon pada Sedimen Mangrove

Kedalaman sedimen pada ekosistem *mangrove* Teluk Miskam berkisar antara 70 – 75 cm. Jenis sedimen yang dijumpai berupa lumpur (debu dan liat), berwarna gelap dan berbau tajam. Komposisi spesies dan pertumbuhan *mangrove* tergantung pada komposisi fisik sedimen. Proporsi dari ukuran partikel pasir, debu dan liat mempengaruhi permeabilitas, kesuburan dan salinitas tanah. Keberadaan nutrisi juga dipengaruhi oleh komposisi sedimen. Sedimen yang banyak mengandung lumpur umumnya kaya bahan organik dibandingkan sedimen berpasir (English *et al.*, 1994).

Simpanan karbon atau karbon *stok* dalam sedimen *mangrove* di Teluk Miskam, Tanjung Lesung berkisar antara 0,78 – 9,51% atau 4,43 – 27,92 MgC ha⁻¹. Nilai simpanan karbon terbesar ditemui pada kedalaman 50 m (stasiun 1 atau M1) dan 40 m (stasiun 2 atau M2) sebesar 23,26 dan 27,92 MgC ha⁻¹ (Gambar 5).

Stasiun 1 memiliki kandungan karbon terendah yang berada di permukaan hingga kedalaman 30 m. Simpanan karbon yang besar ditemui pada stasiun 2, dimana simpanan karbon dengan kedalaman 10 m memiliki besaran yang sama dengan karbon stok pada kedalaman 40 m. Tingginya kandungan bahan organik pada lapisan permukaan berasal dari produksi

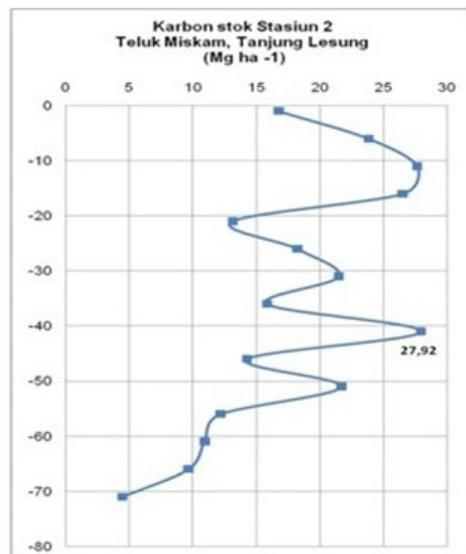
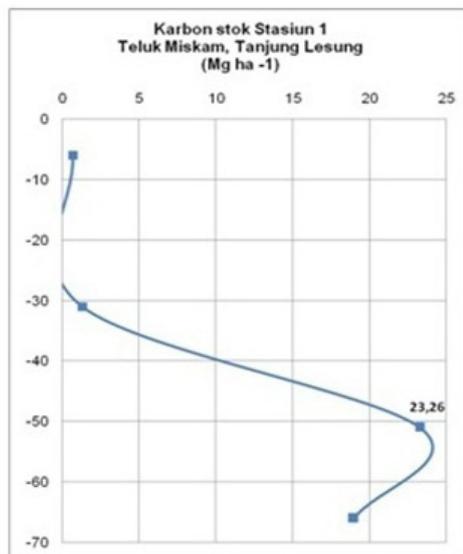
serasah *mangrove* di lokasi tersebut yang dikarenakan adanya proses dekomposisi (Paul & Ladd, 1981).

Profil sedimen pada kedalaman di stasiun 1 dan 2 terlihat berbeda meskipun memiliki tekstur tanah yang sama. Kondisi ekosistem *mangrove* di stasiun 1 tergenang air sedangkan *mangrove* di stasiun 2 terlihat surut. Hal ini diduga bahwa pasang surut juga dapat mempengaruhi jumlah simpanan karbon dalam sedimen *mangrove*. Hubungan antara komposisi jenis dengan pasang surut dan tipe tanah adalah penting. Tingkat pasang surut akan menentukan substrat yang mengendap sehingga jenis *mangrove* dapat tumbuh dan menyesuaikan dengan kondisi lingkungan (Watson, 1928).

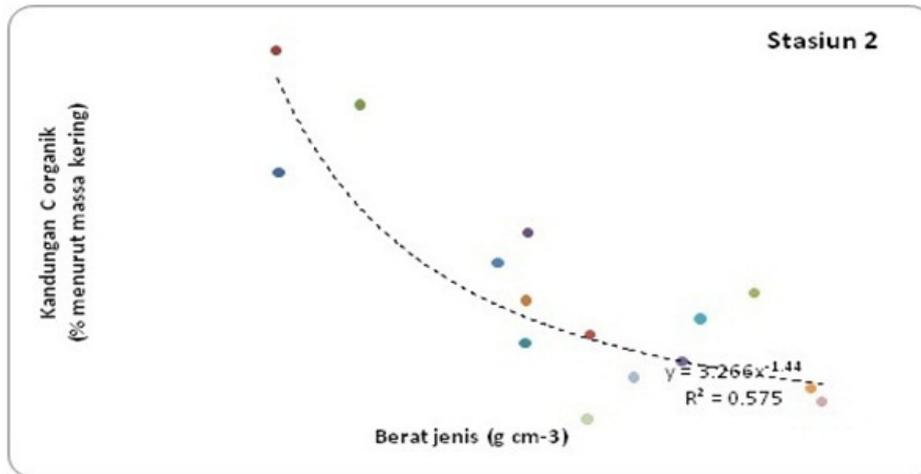
Gambar 6 menunjukkan hubungan antara kandungan karbon dalam persen dengan berat jenis tanah *mangrove* di Teluk Miskam, Tanjung Lesung yaitu berat jenis tanah sebesar 0,2 – 0,4 g cm⁻³ mampu menyimpan karbon sebanyak 2 – 6%.

Gambar 7 menunjukkan konsentrasi kandungan nitrogen menunjukkan kisaran sebesar 0,08% - 0,54%. Nilai terendah berada pada kedalaman 56 - 60 cm, sedangkan nilai tertinggi berada pada kedalaman 6-10 cm. Rasio C:N yang didapat pada setiap interval kedalaman berkisar antara 15:1 - 19:1. Koefisien determinasi (R²) antara karbon dan nitrogen adalah 0,995. Berdasarkan pada nilai korelasi tersebut, konsentrasi kandungan karbon dan nitrogen memiliki korelasi positif dan berkaitan erat dengan kedalaman. Nilai kandungan karbon organik (TOC) tertinggi terdapat pada kedalaman 6 - 10 cm, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada kedalaman 71 - 75 cm dengan kisaran antara 0,691% - 8,995%.

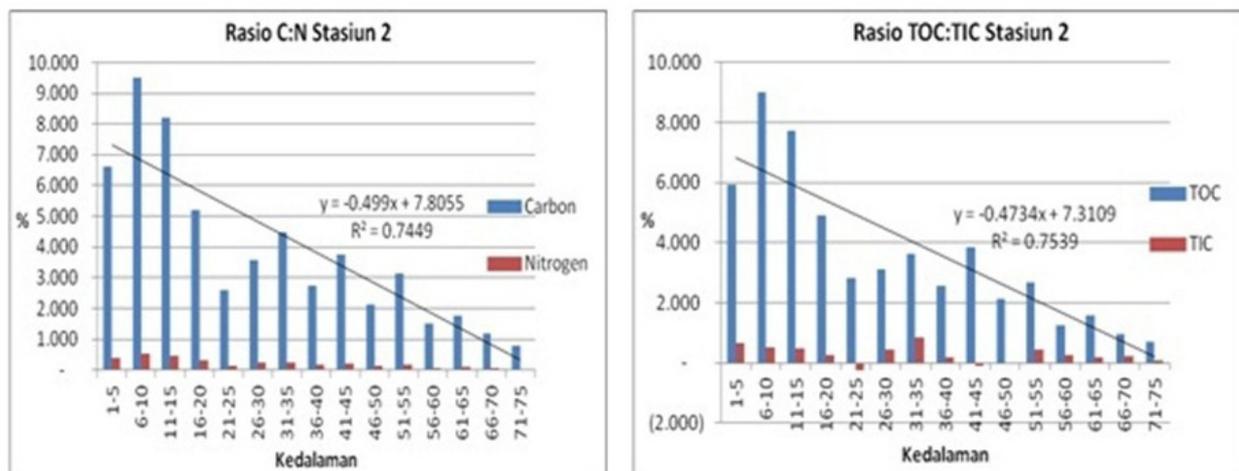
Konsentrasi kandungan karbon anorganik



Gambar 5. Profil sedimen di ekosistem *mangrove* Teluk Miskam, Tanjung Lesung.



Gambar 6. Hubungan antara kandungan karbon organik dengan berat jenis tanah mangrove di Teluk Miskam, Tanjung Lesung.



Gambar 7. Rasio C:N dan TOC:TIC pada sedimen mangrove di Teluk Miskam, Tanjung Lesung.

(TIC) berkisar antara 0,085 % - 0,848 % dengan konsentrasi tertinggi terdapat pada kedalaman 31 - 35 cm, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada kedalaman 71 - 75 cm. Perbandingan antara TOC dan TIC berdasarkan setiap interval kedalaman berkisar antara 4:1 – 17:1 dengan nilai korelasi sebesar $R^2=0,467$. Korelasi menunjukkan bahwa TOC dan TIC tidak berkaitan erat dengan kedalaman.

KESIMPULAN

Indeks nilai penting menunjukkan peran mangrove di pesisir Teluk Miskam tergolong dalam kategori rendah. Pembukaan lahan mangrove di pesisir Teluk Miskam perlu dibatasi karena deforestasi mangrove secara global dan perubahan tata guna lahan dapat menyebabkan emisi karbondioksida.

Hutan mangrove di pesisir Teluk Miskam memiliki potensi yang besar dalam penyerapan karbon

terutama pada sedimen yang banyak menyimpan organik, ditandai dengan kondisi yang berlumpur dan berbau tajam. Nilai simpanan karbon pada mangrove di Teluk Miskam adalah 49,44 – 55,33 Mg C ha⁻¹ untuk jenis *Avicennia marina* dan 2,50 Mg C ha⁻¹ untuk jenis *Bruguiera gymnorhiza*. Karakteristik sedimen mangrove di Teluk Miskam berlumpur dan berbau. Kandungan karbon berkisar 0,78 – 9,51% atau 4,43 – 27,92 Mg C ha⁻¹. Dari hasil penelitian ini disarankan agar perlindungan dan pemanfaatan secara lestari diharapkan dapat dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat guna menjaga potensi ekologis dan ekonomis ekosistem mangrove, terutama peran mangrove sebagai Blue Carbon.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Balitbang Kelautan dan Perikanan, Kementerian

Kelautan dan Perikanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamy, K. & Taufiq, M. (2007). Asosiasi Komunitas Pelecypoda dan Mangrove di Wilayah Pesisir Panimbang Kabupaten Pandeglang, Banten. Skripsi. Institut Penelitian Bogor.
- Amira, S. (2008). Pendugaan Biomassa Jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di Hutan Mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Skripsi Fakultas Kehutanan IPB Bogor.
- Bengen, D.G. (2003). Teknik Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. PKSPL. Bogor.
- Darusman, D. (2006). Pengembangan Potensi Nilai Ekonomi Hutan Dalam Restorasi Ekosistem. Jakarta.
- Data Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Banten. (2013). Pemerintah Provinsi Banten.
- Dharmawan, I Wayan S. & Siregar, C.H. (2008). Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. Vol. V No.4: 317-328.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. (2011). Mangroves Among The Most Carbon-Rich Forests in The Tropics. *Nature Geoscience*. DOI:10.1038/NCEO1123.
- Duarte, C.M. & Chiscano, C.L. (1999). Seagrass Biomass and Production: A Reassessment. *Aquatic Botany* 65 (1999) 159 – 174. Elsevier.
- English, S., Wilkinson, C. & Baker, V. (1994). Survey Manual for Tropical Marine Resources. Townsville (AU). Australian Institute of Marine Science.
- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle JL., Cadamuro, L. (1998). Structure, Above-Ground Biomass and Dynamics of Mangrove Ecosystems: New Data From French Guiana. *Oecologia* :39-53. Springer-Verlag.
- Gypens, N., Borges, A.V. & Lancelot, C. (2009). Effect of Eutrophication on Air–sSa CO2 Fluxes in The Coastal Southern North Sea: A Model Study of The Past 50 Years. *Global Change Biology*, 15: 1040–1056.
- Hairiah, K. & Rahayu, S. (2007). Pengukuran 'Karbon Tersimpan' di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre. ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia.
- Heriyanto, N.M. & Subiandono, E. (2012). Komposisi dan Struktur Tegakan, Biomasa, dan Potensi Kandungan Karbon Hutan Mangrove di TAMAN Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, Vol.9 No.1: 023-032.
- Imiliyana, Aufa; Muryono, Mukhammad & Purnobasuki, H. (2014). Estimasi Stok Karbon Pada Tegakan Pohon *Rhizophora stylosa* di Pantai Camplong, Sampang – Madura. *Jurnal Jurusan Biologi Institut Sepuluh November*.
- Kauffman, J. Boone & Donato, D.C. (2012). Protocols for The Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forest. CIFOR.
- Komiyama, A., Pongparn, S. & Kato, S. (2005). Common Allometric Equation For Estimating The Tree Weight of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 471-477. Doi. 10.1017/S0266467405002476. Cambridge University Press.
- Mac, Dicken KG. (1997). A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agriculture Development. USA.
- Paul & Ladd. (1981). *Soil Biochemistry*. ISBN-10: 0824711319 | ISBN-13: 9780824711313.
- PP no 26 Tahun 2012 Tentang Kawasan Ekonomi Khusus Tanjung Lesung.
- Retnowati, E. (1998). Kontribusi Hutan Tanaman *Eucalyptus grandis* Maiden Sebagai Rosot Karbon di Tapanuli Utara. *Buletin Penelitian Hutan* 611. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Supriharyono. (2000). Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. PT. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta.
- Talan, M. A. (2008). Persamaan Penduga Biomassa Pohon Jenis Nyirih (*Xylocarpus granatum* Koenig. 1784) Dalam Tegakan Mangrove Hutan Alam di Batu Ampar, Kalimantan Barat. Skripsi Fakultas Kehutanan IPB Bogor.
- Ulumuddin, Y. & Kiswara, W. (2010). Mangrove dan Lamun Dalam Siklus Karbon Global. Bidang

Sumberdaya Laut. P2OLIPi Jakarta.

Watson, J.G. (1928). Malyan Forest Record. Mangrove Forest of The Malay Peninsula. Published by Permission of The Federated Malay Status Government. Printed by Fraser and Neane Ltd. Singapore.

DETECTION OF UPWELLING USING MODIS IMAGE AND TRITON BUOY IN THE NORTH PAPUA WATERS

Widhya Nugroho Satrioajie¹⁾

¹⁾Technical Implementation Unit for Marine Life Conservation,
Indonesian Institute of Sciences Ambon, Moluccas-INDONESIA

Diterima tanggal: 23 Juni 2014; Diterima setelah perbaikan: 15 September 2014; Disetujui terbit tanggal 5 Oktober 2014

ABSTRAK

Fenomena upwelling memiliki keterkaitan yang erat dengan distribusi spasial biomassa ikan. Namun, hubungan ini sering diabaikan karena adanya penafsiran keliru, dimana cukup dengan menggunakan data suhu permukaan laut (SPL) untuk menganalisa biomassa ikan laut dalam. Upwelling dapat dideteksi dengan menganalisa profil suhu permukaan dan vertikal laut pada berbagai kedalaman. Salah satu cara adalah menggunakan citra MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) dan TRITON buoy (Triangle Trans-Ocean buoy Network) sebagai data in situ. Penelitian ini bertujuan untuk mengobservasi hubungan SPL Citra MODIS dan TRITON buoy serta menganalisa profil suhu vertikal laut TRITON buoy untuk mendeteksi peristiwa upwelling di Perairan Utara Papua. Metode deskriptif digunakan pada penelitian ini, dimana SPL MODIS yang dianalisa pada SeaDas Mapped 5.0 dibandingkan dengan data in situ SPL dari TRITON buoy pada rentang waktu Juli-November 2002 (musim timur 2002); Desember 2006-February 2007 (musim barat 2007) dan Juli-September 2007 (musim barat 2007). Selanjutnya, analisa upwelling dilakukan terhadap data profil suhu vertikal laut dari TRITON buoy pada koordinat stasiun yang telah ditentukan dengan menggunakan ER Mapper 6.4 dan Surfer 3.2. Dari hasil penelitian diketahui antara SPL Citra MODIS dan TRITON buoy mempunyai hubungan kuat masing-masing $r=0,5738$; $0,5989$; $0,5509$. Upwelling di Perairan Utara Papua terindikasi terjadi pada Februari 2007 (musim barat 2007), dimana kisaran penurunan suhu permukaan laut mencapai 26°C .

Kata kunci: Upwelling, Suhu Permukaan dan Vertikal Laut, Citra MODIS, TRITON buoy.

ABSTRACT

Upwelling is closely associated with the spatial distribution of fish biomass. However, this phenomenon is often ignored due to misinterpretation that is simply using sea surface temperature (SST) to analyse deep fish biomass. Upwelling can be detected by analysing distribution of sea surface (SST) and vertical temperature at the various depths. One of the methods is the use of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) image and TRITON buoy (Triangle Trans-Ocean buoy Network) as in-situ data. This research aimed to observe the correlation between SST MODIS and TRITON buoy and to analyse sea vertical temperature in order to investigate the upwelling in the North Papua Waters. Descriptive method was used on this study, where SST MODIS that was analysed by SeaDas Mapped 5.0 was compared to the TRITON buoy's SST data during July 2002 to November 2002 (in east season 2002); December 2006 to February 2007 (in west season 2007) and July 2007-September 2007 (in east season 2007). Then, the analysis of upwelling was carried out towards the TRITON buoy's vertical temperature on the particular coordinates using ER.Mapper 6.4 and Surfer 3.2. From this research, both of SST MODIS image and TRITON buoy have a strong relationship by $r=0.5738$; 0.5989 ; 0.5509 respectively. The upwelling in the North Papua Waters was indicated in February 2007 (west season 2007), when the degradation level of SST reached up to 26°C .

Keywords: Upwelling, Sea Surface-Vertical Temperature, MODIS Image, TRITON buoy.

INTRODUCTION

Indonesian waters is included to the tropics zone, has a unique characteristic due to current of water mass from the Pacific Ocean to the India Ocean that is known as the Indonesian through flow (ITF) (Susanto *et al.*, 2006). It is estimated there is a huge amount of diverse schooling fish in that flow areas (Veron, 1995, Dahuri & Dutton, 2000). One of the main factors that influences the abundance of fish is the increase of water mass from the bottom to the surface of ocean due to the differences of temperature which is called upwelling (Andrews and Gentien, 1982). There are a lot of plankton as food resources for fish on that area, so that it can be assumed to be a good fishing ground (Cury *et al.*, 2000).

Upwelling has a relationship with the spatial distribution of fish biomass (Chavez *et al.*, 2003) This event can be observed by analysing the sea surface and vertical temperature profile. Research on upwelling was done by several studies especially in the Western Pacific Ocean such as direct measurement by Gouriou & Toole (1993) who used Conductivity-Temperature-Depth (CTD) and Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) data from cruises between 1984 and 1991 (27 sections at 165°E and nine at 142°E). This study resulted 21 sections data that was used to look at the El Niño and the subsequent La Niña during 1986-1987 (Gouriou & Toole, 1993). The study on Western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study (WEPOCS) analysed various measurements of the upper layer and mixed layer thickness (Lukas & Lindstrom, 1991). However, from both studies, there is still a lack

information about the upwelling process take place, since these studies only used available over a very limited depth range from several observational programs (Johnson *et al.*, 2002).

MODIS image (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is one of the advance remote sensing technologies which measures ocean variables near real time by using radiometers wave (Carder *et al.*, 2004). One of the methods is the use of sea surface temperature (SST) to approach the upwelling estimation (Wentz *et al.*, 2000). However, this method has a drawback due to SST from satellite images only measures the temperature from radiation object in the earth. So that, it would need the in-situ data for validation (Salomonson *et al.*, 2002). Since regular in-situ data collection needs a high cost, some researchers attempted a breakthrough by using a buoy-anchored technologies. TRITON mooring buoys (Triangle Trans-Ocean buoy Network) are tools that observe oceanic parameters at the various depths in the strategic positions of the Pacific warm pool region by the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) after late 1999 (Ando *et al.*, 2005, Kashino *et al.*, 2007).

By using both technologies, this research aimed to observe the correlation between SST MODIS and TRITON buoy in order to validate the data and to investigate the upwelling by analysing sea vertical temperature profile of TRITON buoy in the North Papua Waters. Moreover, this study is necessary to introduce and emphasis the analysis of water temperature profiles at the various depths in order to better understand upwelling observation using advance technologies and to improve our skill to analyse it.

RESEARCH METHODOLOGY

The research was conducted at Remote Sensing Laboratory of Department Fisheries and Marine Science Diponegoro University, Semarang in April to

May 2008. Materials were MODIS Aqua-Terra Satellite data level 2 in Western Pacific area from July 2002 to November 2002 (in east season 2002); December 2006 to February 2007 (in west season 2007) and July 2007-September 2007 (in east season 2007). All data are available at <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse>. Specifically, those data were chosen based on the clear-display and reach minimum one coordinate point of TRITON buoy coverage areas. The other materials were sea surface (1.5m) and vertical temperature data (up to 750m) from TRITON buoy in the North Papua Waters within ASCII format. Those data were downloaded from <http://www.jamstec.go.jp> (Figure 1 and 2). This research used tools such as one unit computer, software SeaDas Mapped 5.0, ER Mapper 6.4 and Surfer 3.2.

The descriptive research method was used on this research, utilizing a visual interpretation of SST MODIS image that was analysed by SeaDas Mapped 5.0 which was compared to the in-situ data of TRITON buoy's sea surface-vertical temperature in same point coordinates stations by using ER.Mapper 6.4 and Surfer 3.2. The analysis was divided into three steps: i) analysis of SST MODIS; ii) analysis sea surface-vertical temperature of TRITON buoy and iii) detection of upwelling. Analysis of SST MODIS has three steps: image extraction, map projection, and map function (Kwiatkowska & Fargion, 2002). Analysis of TRITON buoy's sea surface-vertical temperature data was done by using Excel. On this process, the numeric data was changed to the tab delimited format (*.text) as data input for ER.Mapper 6.4. The numeric data changed to symbolic link format (*.slk) when entered Surfer 3.2 analysis.

Data Analysis

SST MODIS and the TRITON buoy were analysed by regression and correlation. The decision of relation was following (Walpole, 1988) and (Supranto, 2001), when $r < 0.3$ as weak; $0.3 < r < 0.5$ as moderate; $0.5 < 0.7$

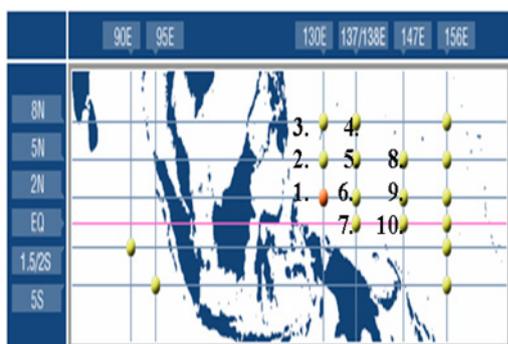


Figure 1. Map of location TRITON buoy observation east season seasons 2002.

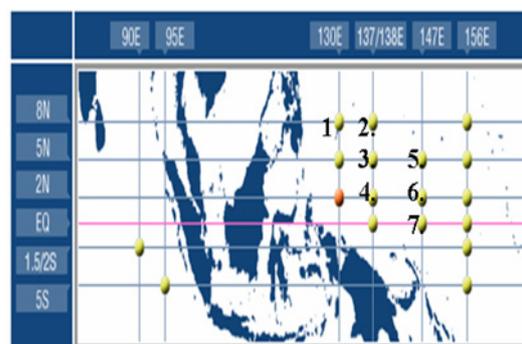


Figure 2. Map of location TRITON buoy observation west and east season 2007.

as strong and >0.7 as very strong relation.

Upwelling Analysis

The numeric data of TRITON buoy's sea surface-vertical temperature within different formats: text (tab delimited) (*.txt) and symbolic link (*.slk) were analysed by Kriging method (geo statistical method) (Oliver & Webster, 1990). This method was showing transversal-longitude plotted data of TRITON buoy based on calculation of interpolation analysis on Surfer 3.2. From this method, it can be displayed the increase of water mass from ocean base to surface. Next, the numeric data of TRITON buoy's sea surface-vertical temperature were converted to be spatial data (raster) by gridding wizard on ER. Mapper 6.4 (Jordan, 2005). Lastly, the upwelling phenomenon was conducted by analysing sea surface-vertical temperature profile at each depth (multi-layer).

RESULTS AND DISCUSSION

SST MODIS Aqua-Terra

Distribution of SST MODIS in the North Papua Waters during research was featured on daily SST (figure 3) and monthly of average SST (figure 4). WinRAR application was used for image extraction, so that the image can be displayed on SeaDas Mapped 5.0 which was operated under Linux Fedora Core 2 system. It was continued to the map projection and correction of the coordinate before finalizing the image based on function and setup (daily and monthly).

SST of TRITON Buoy

SST TRITON buoy was overlaid with the bathymetry map of the Papua waters (Figure 5) in order to get more clear visualization. Those pictures

were demonstrated by using ER. Mapper 6.4.

The range of SST from both MODIS and TRITON buoy was showed on the table below. The regression and correlation statistical analysis between SST MODIS and TRITON buoy were showed in Figure 6, 7 and 8.

Sea Vertical Temperature of TRITON Buoy

In order to get more accurate analysis, TRITON buoy's sea vertical temperature data were from selected based on precision and acquisition of MODIS Aqua-Terra satellite's orbit time in the North Papua Waters during one month. The output of image overlay and sea vertical temperature profile was showed by ER.Mapper 6.4 and Excel (Figure 9).

Sea vertical temperature of TRITON buoy was displayed on Surfer 3.2 application. The data was selected from three different stations TRITON buoy which were nearby.

Distribution of SST

The analysis of SST MODIS in east season 2002, west season and east season 2007 showed range distribution 27-33°C, while SST of TRITON buoy had a range of 28-31°C (see Figure 3, 4, 5 and Table 1). All those temperatures clearly demonstrated the characteristic of Indonesia waters where the North Papua waters is near the equator line, retrieving more sunlight that cause high (Aldrian and Dwi Susanto, 2003, Nontji, 2005) The SST in Indonesian region is influenced by the monsoon cycle. However, it is not clear how much of the change in SST is caused by mechanical mixing, or upwelling during the years 2002 and 2007 (Susanto, 2001).

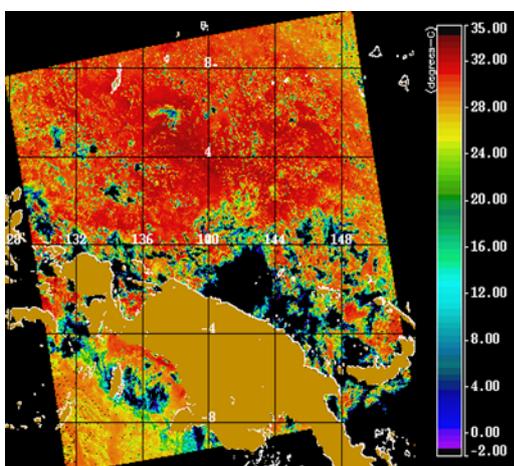


Figure 3. Daily SST of MODIS image (2 November 2002).

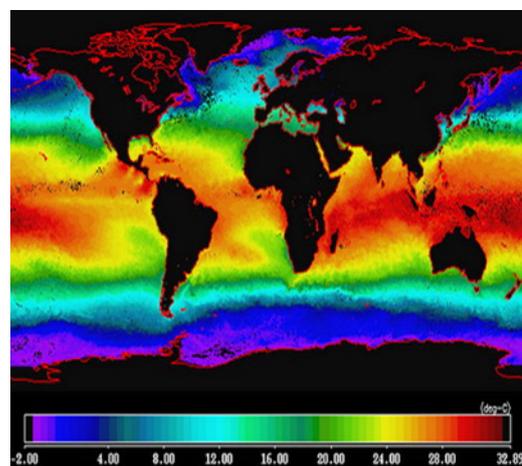


Figure 4. Monthly SST in November 2002.

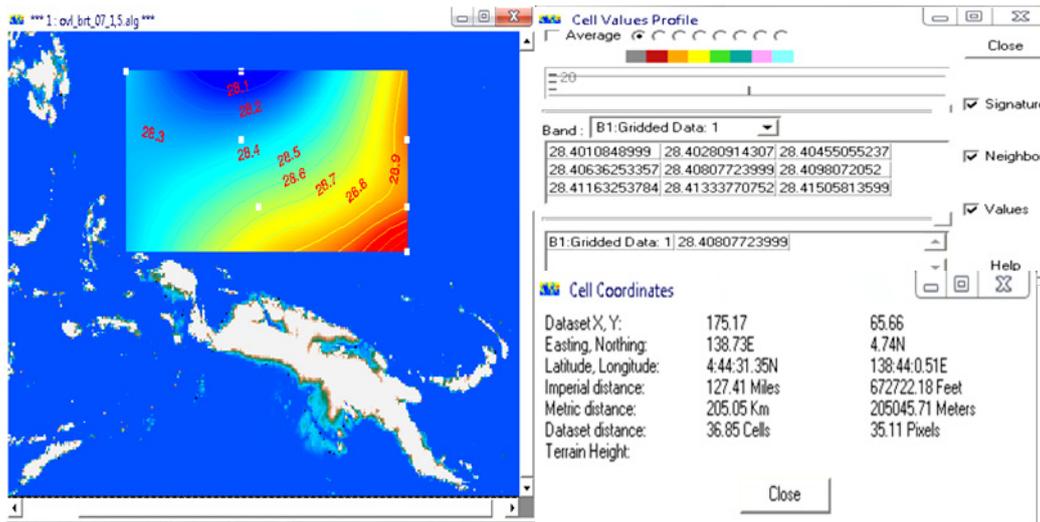


Figure 5. SST of TRITON buoy.

Tabel 1. The Range between SST MODIS image and TRITON buoy

Season	MODIS		TRITON buoy	
	Temperature (°C)	Location of Station The Highest The lowest	Temperature (°C)	Location of Station The Highest The lowest
East 2002	27.05–32.74	3 5	28.07–31.19	2 2
West 2007	27.14–32.24	4 1	28.21–31.17	6 3
East 2007	27.32–33.33	6 6	28.84–31.61	6 3

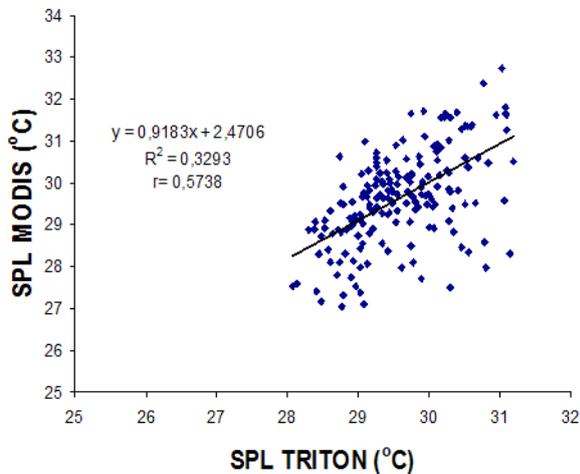


Figure 6. The relation between SST MODIS image and TRITON buoy in the east season 2002.

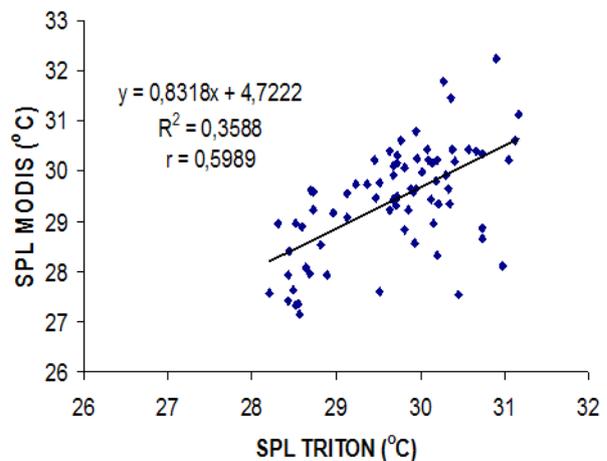


Figure 7. The relation between SST MODIS image and TRITON buoy in the west season 2007.

Basically, the differences result of SST between MODIS and TRITON buoy were caused by two main factors: method and instrument (Brown *et al.*, 1999; Matsumoto *et al.*, 2001). TRITON buoy measures the top layer of SST at a depth 1.5 m and at 11 other subsurface depths ranging from a 25 to 750 m depth. It is observed by 12 type Sea-Bird Electronics (SBE) 37IM conductivity and temperature (CT) sensors (Kashino *et al.*, 2007). This sensor was very small,

within 0.003 K of the post deployment (Ando *et al.*, 2005). While SST MODIS is observed by using a low frequency microwave radiometers at 6-10 GHz. This wave is able to penetrate the waters more than 1mm where is higher than infrared wave. This measurement is sensitive towards the fluctuate object within salt contains. This penetration rely on the skin temperature (SSTskin) (Donlon *et al.*, 2001)

The penetration of SST measurement relies on the value of skin temperature (SST_{skin}). Actually, the real definition of SST is intra SST (SST_{int}) which is a temperature that exists at thin layer of the ocean waters. Indeed, this temperature cannot be measured by advanced technology, so that the next layer below (SST_{skin}) could be represented the SST value. Skin SST has a specific value within a very little difference (0.001oK) that is measured using 500µm infrared radiometer (Haines *et al.*, 2007). The next layer below subskin SST (SST_{subskin}) is able to be observed by low frequency microwave radiometers at 6-10GHz. Therefore, SST_{skin} could be ignored and replaced by SST_{subskin}. The SST TRITON buoy at 1.5m depth is called bulk SST (SST_{bulk}) (Schluessel *et al.*, 1990). This temperature represents the temperature of the surface mixed layer. The value of this temperature is often influenced by wind and water turbulence

(convective overturning). Indeed, sometimes SST MODIS is lower than SST TRITON buoy because the turbulent water that is mixing several layers below (Donlon *et al.*, 2001).

Validation of SST MODIS using SST TRITON Buoy

Considering the direct in situ SST_{skin} measurement are only in a relatively small numbers, the data that is available from widely and globally distributed ship and buoy measurements should be a primary satellite SST_{skin} validation data source (Johnson *et al.*, 2002, Donlon *et al.*, 2002). In this research, the relation between SST MODIS and TRITON buoy as in situ data showed that both methods have a strong relation within value of $r = 0.5783$ (on east season of 2002), 0.5989 (on west season of 2007) and 0,5509 (on east season of 2007) respectively (Susanto, 2001). By this

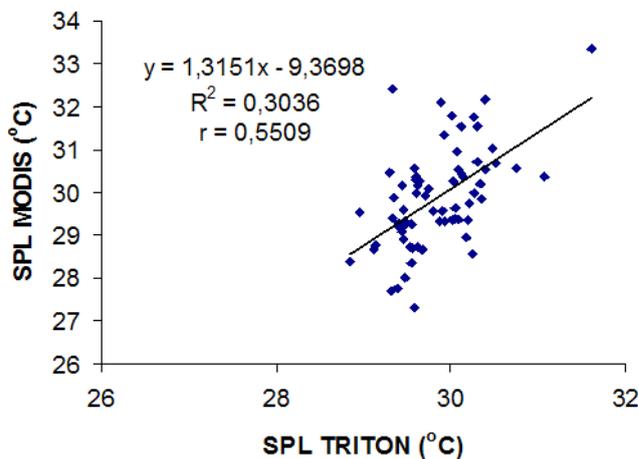


Figure 8. The relation between SST MODIS image and TRITON buoy in the east season 2007.

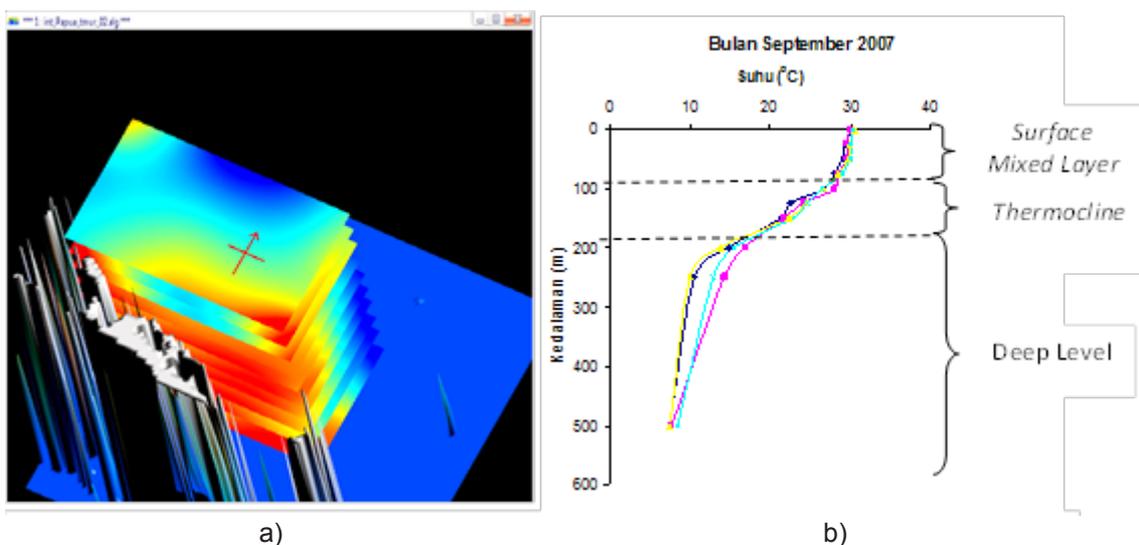


Figure 9. The output of the sea vertical temperature profile of TRITON buoy (a) by ER.Mapper 6.4 and (b) by Excel.

research, SSTskin from MODIS satellite is capable to reflect the in-situ data SST from the oceans (Donlon *et al.*, 2002). In the near future, the challenge to obtain regular long-term, quality-controlled contemporaneous in situ and satellite observations will be crucial (Kearns *et al.*, 2000). The quality improvement of indirect measurements should be affordable address the uncertainties associated with in situ sensors, their installation and operation (Taylor, 1998, Emery *et al.*, 2001).

Sea Vertical Temperature of TRITON buoy

The sea vertical temperature profile at 1.5-500 m depths on east season 2002, west and east season 2007 showed temperature's range 7-31°C. There is a slightly gradient of difference at 1-100m depths (Figure 9b), that is called mixed layer temperature (MLT) (Dietrich, 1980). The MLT is defined as the vertically averaged temperature from the sea surface to the mixed layer depth (MLD) from 1 until 100 m where bulk SST has a small difference (Hasegawa *et al.*, 2009). The depth of surface mixed layer is often defined as the depth where the temperature decreases from the layer bulk SST with small value ranges.

The Detection of Upwelling

From the several seasons observation, the indication of upwelling had been proved by sea surface-vertical temperature profile in February 2007 (west season 2007). From three stations 3, 4, 6 (Figure 9a), there was a decrease of temperature at station 3 (2°N, 147°E) where the cold-water mass from thermocline layer (100m) at the station 6 (5°N, 137°E), moved to the surface layer through station 4 (2°N, 137°E). This upwelling occurred near the equator line, is known as equatorial upwelling (Seager & Murtugudde, 1997, Hasegawa *et al.*, 2009).

Upwelling in The North Papua waters is influenced

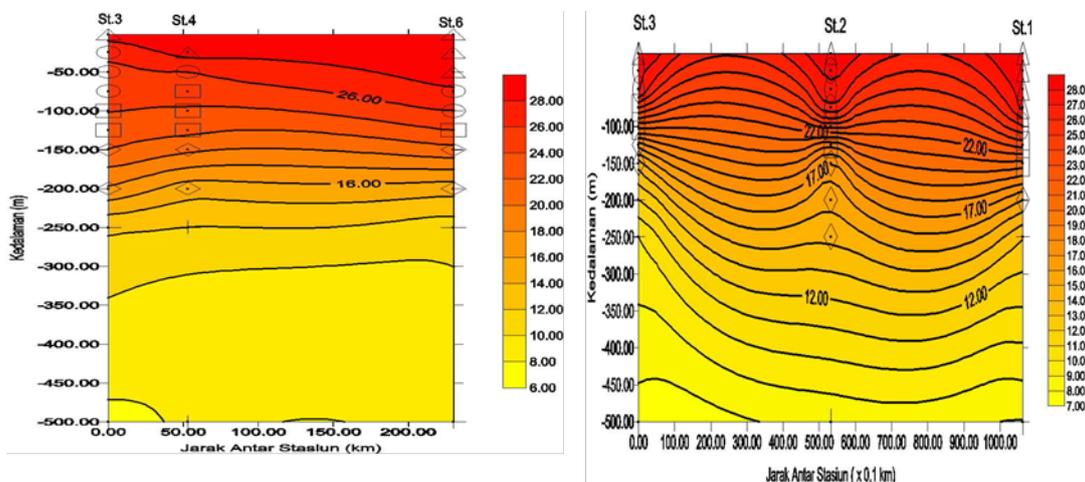


Figure 10. Output of sea vertical temperature profile TRITON buoy by Surfer.

by the current flow from warm water mass Westward Pacific that moves to the Halmahera Island (Hartoko, 2007). This water mass spreads to all directions such as equator and Indonesia waters through the cleft between Halmahera and Papua Island as part of the Indonesian through flow (ITF) (Susanto *et al.*, 2006).

Generally, the North Papua Waters are intensively influenced by the seasonally reversing monsoons, the near surface New Guinea Coastal Current (NGCC) that flows westward at >0.5 m s⁻¹ during the SE monsoon and eastward at <0.5 m s⁻¹ during the NW monsoon. The other factor is the westward is known as New Guinea Coastal Undercurrent (NGCUC) that is found at and below 200 m in all seasons, but is strongest in the SE monsoon (Colin, 1974).

It is worth noticing that analysis is heavily dependent on the data that have been provided by TRITON buoy, therefore it is recommended to the further research. Hasegawa *et al.*, (2009), stated that the error could be occurred on the vertical measurement of TRITON buoy because vulnerable components and also the interval vertical resolution of the temperature is too coarse. Therefore, the residual component includes these terms as well as diffusion and errors.

In conclusion, this research complements the other studies that focus on coastal upwelling which are related to the El Niño Southern Oscillation (ENSO) (Cresswell, 2000; Hasegawa *et al.*, 2009, Hasegawa *et al.*, 2010).

CONCLUSION

Analysis of sea surface temperature SST can be obtained from two different sources, satellite image and moored buoy in situ data. From this research it can be concluded although both MODIS and TRITON buoy technologies have a very different SST methods measurement, those data have a strong relationship

in terms of North Papua Waters. Moreover, TRITON buoy's sea vertical temperature profile are confirmed to observe the upwelling. The upwelling was indicated in February 2007 (west season 2007), when the degradation level of SST reached up to 26°C.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is dedicated to Agus Hartoko and Roy Kurniawan whose sincere support has made our work possible.

REFERENCES

- ALDRIAN, E. & DWISUSANTO, R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23, 1435-1452.
- ANDO, K., MATSUMOTO, T., NAGAHAMA, T., UEKI, I., TAKATSUKI, Y. & KURODA, Y. (2005). Drift characteristics of a moored conductivity-temperature-depth sensor and correction of salinity data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22, 282-291.
- ANDREWS, J. C. & GENTIEN, P. (1982). Upwelling as a Source of Nutrients for the Great Barrier Reef Ecosystems: A Solution to Darwin's Question? *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 8, 257-269.
- BROWN, O. B., MINNETT, P. J., EVANS, R., KEARNS, E., KILPATRICK, K., KUMAR, A., SIKORSKI, R. & ZÁVODY, A. (1999). MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm Algorithm Theoretical Basis Document Version 2.0. University of Miami, 33149-1098.
- CARDER, K., CHEN, F., CANNIZZARO, J., CAMPBELL, J. & MITCHELL, B. (2004). Performance of the MODIS semi-analytical ocean color algorithm for chlorophyll-a. *Advances in Space Research*, 33, 1152-1159.
- CHAVEZ, F. P., RYAN, J., LLUCH-COTA, S. E. & ÑIQUEN, M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299, 217-221.
- COLIN, C., DONGUY, J. R., HENIN, C., OUDOT, C., AND WAUTHY, B. Upper waters north of New Guinea in 1971. *Proceedings of the 3rd CSK Symposium, Bangkok, Thailand 1973'*. pp. 132-49., 1974.
- CRESSWELL, G. R. (2000). Coastal currents of northern Papua New Guinea, and the Sepik River outflow. *Marine and Freshwater Research*, 51, 553-564.
- CURY, P., BAKUN, A., CRAWFORD, R. J., JARRE, A., QUIÑONES, R. A., SHANNON, L. J. & VERHEYE, H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 57, 603-618.
- DAHURI, R. & DUTTON, I. M. (2000). Integrated coastal and marine management enters a new era in Indonesia. *Integrated Coastal Zone Management*, 1, 11-16.
- DIETRICH, G. (1980). *General oceanography; an introduction*.
- DONLON, C. J., MINNETT, P. J., BARTON, I. J., NIGHTINGALE, T. & GENTEMANN, C. (2001). The character of skin and subsurface sea surface temperature. *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION-PUBLICATIONS-WMO TD*, 298-302.
- DONLON, C. J., MINNETT, P. J., GENTEMANN, C., NIGHTINGALE, T. J., BARTON, I. J., WARD, B. & MURRAY, M. J. (2002). Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research. *Journal of Climate*, 15, 353-369.
- EMERY, W., BALDWIN, D., SCHLÜSSEL, P. & REYNOLDS, R. (2001). Accuracy of in situ sea surface temperatures used to calibrate infrared satellite measurements. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 106, 2387-2405.
- GOURIOU, Y. & TOOLE, J. (1993). Mean circulation of the upper layers of the western equatorial Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 98, 22495-22520.
- HAINES, S. L., JEDLOVEC, G. J. & LAZARUS, S. M. (2007). A MODIS sea surface temperature composite for regional applications. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 45, 2919-2927.
- HARTOKO, A. (2007). Vertical Temperature, the Fate of Up Welling and Spatial Distribution of Fish Biomass Of North Papua Waters. *Journal of Coastal Development*, 10, 181-187.
- HASEGAWA, T., ANDO, K., MIZUNO, K. & LUKAS, R. (2009). Coastal upwelling along the north coast of Papua New Guinea and SST cooling over the

- pacific warm pool: A case study for the 2002/03 El Niño event. *Journal of Oceanography*, 65, 817-833.
- HASEGAWA, T., ANDO, K., MIZUNO, K., LUKAS, R., TAGUCHI, B. & SASAKI, H. (2010). Coastal upwelling along the north coast of Papua New Guinea and El Niño events during 1981–2005. *Ocean Dynamics*, 60, 1255-1269.
- JOHNSON, G. C., SLOYAN, B. M., KESSLER, W. S. & MCTAGGART, K. E. (2002). Direct measurements of upper ocean currents and water properties across the tropical Pacific during the 1990s. *Progress in Oceanography*, 52, 31-61.
- JORDAN, C. J. (2005). Introduction to ERMapper 6.4 for satellite image processing.
- KASHINO, Y., UEKI, I., KURODA, Y. & PURWANDANI, A. (2007). Ocean variability north of New Guinea derived from TRITON buoy data. *Journal of Oceanography*, 63, 545-559.
- KEARNS, E. J., HANAFIN, J. A., EVANS, R. H., MINNETT, P. J. & BROWN, O. B. (2000). An independent assessment of Pathfinder AVHRR sea surface temperature accuracy using the Marine Atmosphere Emitted Radiance Interferometer (MAERI). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 1525-1536.
- KWIATKOWSKA, E. J. & FARGION, G. S. Merger of ocean color information from multiple satellite missions under the NASA SIMBIOS Project Office. *Information Fusion*, (2002). Proceedings of the Fifth International Conference on, 2002. IEEE, 291-298.
- LUKAS, R. & LINDSTROM, E. (1991). The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 96, 3343-3357.
- MATSUMOTO, T., NAGAHAMA, T., ANDO, K., UEKI, I., KURODA, Y. & TAKATSUKI, Y. (2001). The time drift of temperature and conductivity sensors of TRITON buoy and the correction of conductivity data. *JAMSTECR (Report of Japan Marine Science and Technology Center)*, 44, 139-151.
- NONTJI, A. (2005). *Laut Nusantara*, edisi revisi cetakan ke-4. Jakarta: Djambatan.
- OLIVER, M. A. & WEBSTER, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4, 313-332.
- SALOMONSON, V. V., BARNES, W., XIONG, J., KEMPLER, S. & MASUOKA, E. An overview of the Earth Observing System MODIS instrument and associated data systems performance. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (2002). IGARSS'02. 2002 IEEE International, 2002. IEEE, 1174-1176.
- SCHLUESSEL, P., EMERY, W. J., GRASSL, H. & MAMMEN, T. (1990). On the bulk-skin temperature difference and its impact on satellite remote sensing of sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 95, 13341-13356.
- SEAGER, R. & MURTUGUDDE, R. (1997). Ocean dynamics, thermocline adjustment, and regulation of tropical SST. *Journal of Climate*, 10, 521-534.
- SUPRANTO, J. (2001). *Statistik: Teori dan Aplikasi*.
- SUSANTO, R. D., GORDON, A.L. & ZHENG, Q. (2001). Upwelling within the Indonesian Seas and its relation to Monsoon and ENSO. In: SUSANTO, R. D. (ed.) *The Fifth IOC/WESTPAC International Scientific Symposium*, Intergovt, Seoul 27-31 August
- SUSANTO, R. D., MOORE, T. S. & MARRA, J. (2006). Ocean color variability in the Indonesian Seas during the SeaWiFS era. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7.
- TAYLOR, P. K., KENT, E.C. & JOSEY, S.A. (1998). The accuracy of sea surface temperature data from Voluntary Observing Ships. Report of the OOPC/AOPC Workshop on Global Sea Surface Temperature Data Sets, Palisades, NY, 2–4 November 1998, WMO, Geneva, Annex III, 51–54.
- VERON, J. E. N. (1995). *Corals in space and time: the biogeography and evolution of the Scleractinia*, Cornell University Press.
- WALPOLE, R. E. (1988). *Pengantar Statistika Edisi 3 Terjemahan: Bambang Sumantri*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- WENTZ, F. J., GENTEMANN, C., SMITH, D. & CHELTON, D. (2000). Satellite measurements of sea surface temperature through clouds. *Science*, 288, 847-850.

STRUKTUR KOMUNITAS PADANG LAMUN DAN STRATEGI PENGELOLAAN DI TELUK YOUTEFA JAYAPURA PAPUA

Selvi Tebaiy,^{1),2)} Fredinan Yulianda²⁾, Achmad Fahrudin²⁾ & Ismudi Muchsin²⁾

¹⁾Jurusan Perikanan Universitas Negeri Papua Manokwari

²⁾Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB

Diterima tanggal: 13 Juni 2014; Diterima setelah perbaikan: 30 September 2014; Disetujui terbit tanggal 1 Oktober 2014

ABSTRAK

Struktur komunitas lamun merupakan data dasar dari ekosistem lamun yang perlu diketahui untuk dapat mengelolanya secara berkelanjutan. Penelitian lamun dilakukan pada Agustus 2012 di Teluk Youtefa Jayapura Papua, dengan tujuan untuk mengkaji distribusi dan struktur komunitas lamun. Koleksi data dilakukan dengan metode acak terstruktur dengan menggunakan transek kuadrat pada 3 lokasi pengamatan (Tobati, Enggros I dan Enggros II). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat jenis lamun yang ditemukan yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis* dan *Halophila minor*. Komposisi jenis dan distribusi lamun bervariasi pada setiap lokasi dan didominasi oleh *Thalassia hemprichii* dengan tutupan berkisar antara 34,05-49,27%. Frekuensi tertinggi tercatat di lokasi Enggros I yaitu jenis *Thalassia hemprichii* (67,46%), *Enhalus acoroides* di lokasi Enggros II (37,10%). Sumberdaya lamun di Teluk Youtefa cukup baik dan potensial untuk kehidupan biota yang berasosiasi. Pengelolaan terpadu antara pihak yang terkait menjadi strategi pengelolaan ekosistem lamun dalam aspek ekologi, sosial ekonomi dan budaya (pengetahuan lokal masyarakat).

Kata kunci: struktur komunitas, lamun, *Thalassia hemprichii*, pengelolaan terpadu, Teluk Youtefa, Jayapura, Papua

ABSTRACT

Community structure of seagrass is the basic data of seagrass ecosystem that has to be developed in order to manage this ecosystem. Study on seagrass was carried out in Agustus 2012 at Youtefa Bay of Jayapura Papua, with the aim to study the distribution and community structure of seagrass. The data were collected using structural randomized method with quadratic transect at three sites (Tobati, Enggros I and Enggros II). The results show that there were four species of seagrass recorded in this area that are *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis*, and *Halophila minor*. The composition and distribution of seagrass were various in each site and generally dominated by *Thalassia hemprichii* covering from 34.05 to 49.27%. The highest frequency of seagrass in Enggros I was *Thalassia hemprichii* (67.46%), while *Enhalus acoroides* was in Enggros II, which had about 37.10%. Integrated management among stakeholders will be a strategy in managing seagrass ecosystem in terms of ecological, socio-economic, and cultural (indigenous knowledge) aspects.

Keywords: Community structure, Seagrass, *Thalassia hemprichii*, Integrated management, Youtefa bay, Jayapura, Papua

PENDAHULUAN

Secara ekologis ekosistem padang lamun memiliki fungsi sebagai pendukung keberlanjutan sumber daya ikan yaitu sebagai daerah asuhan dan perlindungan (*nursery ground*), sebagai tempat memijah (*spawning ground*) dan sebagai padang penggembalaan atau tempat mencari makan (*feeding ground*) (Kikuchi, 1974 in DKP 2008). Dari potensi lamun yang cukup luas di perairan Indonesia dan melihat peranannya yang sangat penting di daerah pesisir, menjadikan ekosistem lamun sebagai salah satu obyek dari sasaran konservasi perairan (DKP, 2008).

Padang lamun juga diketahui sebagai salah satu ekosistem paling produktif di perairan pesisir atau laut dangkal (Thayer *et al.*, 1975). Penelitian di Eropa, Amerika Utara, Australia dan Jepang menunjukkan bahwa padang lamun merupakan tempat berlindung, mencari makan atau sumber makanan untuk sejumlah

besar hewan atau biota yang berasosiasi dengannya (Thorhaug & Austin 1986; Fonseca, 1987). Di perairan Indonesia, umumnya lamun tumbuh di daerah pasang-surut, pantai pesisir dan sekitar pulau-pulau karang (Nienhuis *et al.*, 1989). Dari 58 jenis lamun di dunia, 12 jenis di antaranya ditemukan di perairan Indonesia (Kuo & Comb 1989; den Hartog, 1970; Azkab, 2009).

Keberadaan lamun yang penting bagi keberlangsungan hidup ikan dan lingkungannya, mendapatkan ancaman yang cukup serius akibat meningkatnya aktivitas penduduk di wilayah pesisir seperti pembangunan pelabuhan, konversi lahan menjadi kawasan industri dan pemanfaatan areal ekosistem pesisir termasuk lamun yang bersifat destruktif (Dahuri, 2003).

Fortes (1990) mengemukakan bahwa lamun umumnya membentuk padang yang luas di dasar laut yang masih dapat dijangkau oleh cahaya matahari yang memadai bagi pertumbuhannya. Tumbuhan

lamun hidup di perairan yang dangkal dan jernih pada kedalaman berkisar antara 2-12 meter dengan sirkulasi air yang baik. Lamun tumbuh subur terutama pada daerah terbuka pasang surut dan perairan pantai atau goba yang dasarnya berupa lumpur, pasir, kerikil dan patahan karang mati pada kedalaman empat meter.

Penutupan lamun menggambarkan tingkat penutupan ruang oleh setiap jenis lamun dan komunitas lamun. Informasi mengenai tutupan lamun sangat penting artinya untuk mengetahui kondisi lamun di suatu ekosistem secara keseluruhan serta sejauh mana komunitas lamun mampu memanfaatkan luasan yang ada (Erina, 2006). Persentase tutupan lamun berdasarkan hasil penelitian di ketiga lokasi ini menunjukkan total tutupan jenis lamun yang ditemukan dalam masa penelitian.

Hasil analisis citra Lansat TM bahwa luasan lamun Teluk Youtefa pada 1973 sebesar 243,53 ha mengalami penurunan hingga 103,67 ha pada 2012. Penurunan luasan lamun selama 39 Tahun mencapai 57,43%, dengan tingkat penurunannya sebesar 2% per tahunnya. Penurunan luasan lamun di Teluk Youtefa

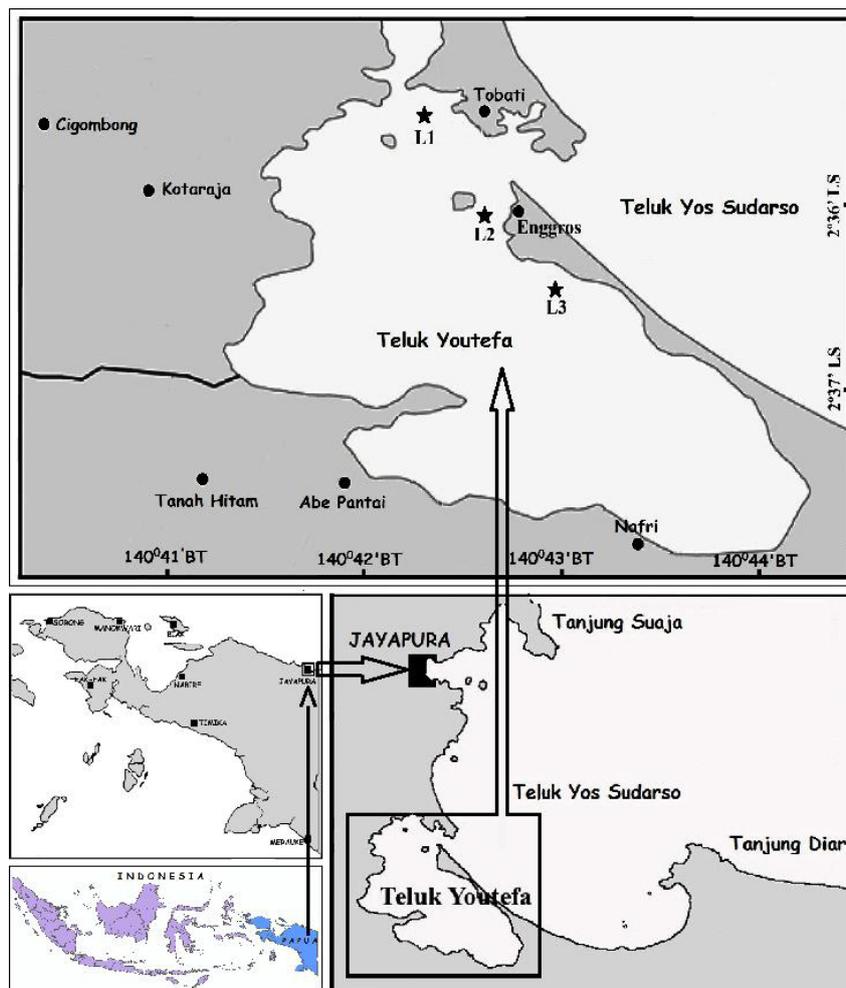
turut menyebabkan kehilangan jenis lamun. Penelitian terdahulu (UNIPA, 2006) jumlah jenis yang ditemukan sebanyak 7, dalam penelitian selanjutnya di Tahun 2012 ditemukan 4 jenis yang terdistribusi didalam Teluk.

Permasalahan menurunnya luasan dan jenis lamun yang berdampak kepada biota yang berasosiasi didalamnya menjadi perlu untuk dilakukan kajian tentang potensi ekosistem lamun dalam beberapa aspek kajian secara ekologi diantaranya: 1) mengetahui komposisi jenis dan distribusi lamun yang ada di perairan Teluk Youtefa; 2) Mengetahui kepadatan jenis, frekuensi jenis, persen penutupan dan Indeks Nilai Penting (INP) spesies lamun; dan 3). Strategi pengelolaan.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Agustus 2012 bertempat di Teluk Youtefa Jayapura Papua (Gambar 1), yang meliputi 3 lokasi pengamatan yaitu Lokasi



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Tobati (02° 35' 18.66"S dan 140° 42' 11.80" E), Enggros I (02° 35' 52.47"S dan 140° 42' 14.10" E) dan Enggros II (02° 36' 15.22"S dan 140° 42' 39.60" E).

Pengumpulan Data

Sampling lamun

Pengambilan sampel lamun dilakukan dengan metode acak terstruktur yang menggunakan transek kuadrat karena berhubungan dengan analisa pemisahan lamun dari segi kepadatan dan biomasa di suatu perairan (Duarte *et al.*, 2001; Pringle, 1984 *in* Setyobudiandi *et al.*, 2009). Pengambilan sampel dilakukan pada saat air surut terendah dengan bantuan peralatan "snorkeling". Sebelum pengambilan data terlebih dahulu dilakukan pengamatan awal di lapangan terhadap kondisi penyebaran spesies lamun untuk menentukan lokasi penempatan garis transek. Jumlah kuadrat ditempatkan 10 kuadrat berukuran 50 x 50 cm. Ukuran kuadrat ini sangat efisien dalam jumlah yang besar dan sangat memadai untuk cakupan ukuran dan distribusi dari organisme makrofita (de Wreede, 1985 *in* Setyobudiandi *et al.*, 2009).

Kuadrat pertama setiap transek diletakkan di dekat daerah yang ditumbuhi lamun sampai dengan kuadrat ke-sepuluh. Sedangkan titik transek selanjutnya diukur dari transek pertama secara horisontal dengan jarak yang diinginkan agar satu daerah titik pengambilan sampel terwakili. Penentuan jenis lamun dilakukan secara langsung dengan mengacu pada *Seagrass Watch Northern Fisheries Centre Australia*, (Lanyon,1986); Kuo & den Hartog, 2003; *Community Environment Network*, 2005; Mc Kenzie *et al.*, 2003; Kepmen Negara dan Lingkungan Hidup No. 200 tahun 2004). Selain itu juga dilakukan survei jelajah untuk inventarisasi.

Analisis Data

Analisis Kepadatan dan Kepadatan Relatif Spesies Lamun

Kepadatan spesies memberikan gambaran jumlah jenis yang menempati suatu ruang tertentu pada suatu ekosistem (Fonseca *et al.*, 1990). Formula kepadatan, frekuensi dan persen penutupan mengacu pada (Setyobudiandi *et al.*, 2009). Kepadatan Relatif adalah perbandingan kepadatan mutlak spesies ke-i dan jumlah kepadatan seluruh spesies.

$$\text{Kepadatan Relatif (\%)} = \frac{\text{Jumlah individu jenis ke - i}}{\text{jumlah total individu semua jenis}} \times 100$$

..... 1)

Analisis Frekuensi dan Frekuensi Relatif Spesies Lamun

Frekuensi spesies lamun adalah peluang ditemukannya spesies ke-i dalam petak contoh dan dibandingkan dengan jumlah petak contoh yang diamati:

$$\text{Frekuensi spesies ke - i} = \frac{\text{jumlah petak contoh ditemukannya spesies ke-i}}{\text{jumlah petak contoh yang diamati}} \dots\dots\dots 2)$$

Frekuensi Relatif adalah perbandingan antara frekuensi jenis lamun ke-i dan frekuensi seluruh jenis lamun.

$$\text{Frekuensi Relatif (\%)} = \frac{\text{frekuensi kehadiran jenis ke-i}}{\text{frekuensi total kehadiran semua jenis}} \times 100$$

..... 3)

Analisis Penutupan dan Penutupan Relatif Spesies Lamun

Penutupan lamun (C) menyatakan luasan area yang tertutupi oleh lamun. Perhitungan penutupan spesies lamun berdasarkan rumus;

$$C = (\sum Ci) / N \dots\dots\dots 4)$$

dimana :

- C = penutupan jenis lamun ke-i (%),
- Ci = persen penutupan lamun pada tiap plot,
- N = jumlah plot transek di setiap sub stasiun

Penutupan Relatif (RCi) jenis lamun merupakan perbandingan luas tutupan jenis ke-i dengan total tutupan semua jenis.

$$\text{Penutupan relatif} = Ci / \sum Ci \dots\dots\dots 5)$$

Hasil presentase penutupan lamun, kemudian dibandingkan dengan kriteria baku kerusakan dan pedoman penentuan status padang lamun oleh Kepmen Negara dan Lingkungan Hidup No. 200 Tahun 2004.

Indeks Nilai Penting Jenis Lamun

Indeks Nilai Penting (INP) merupakan besaran yang digunakan untuk melihat seberapa penting peranan suatu jenis lamun dalam komunitasnya. Indeks nilai penting sangat dipengaruhi oleh nilai frekuensi relatif, kepadatan relatif dan penutupan relatif suatu jenis lamun (Setyobudiandi *et al.* 2009).

Indeks Nilai Penting digunakan untuk menghitung dan menduga peranan jenis ke-i didalam suatu komunitas. Semakin tinggi Indeks Nilai Penting jenis ke-i, maka semakin tinggi peranan jenis ke-i didalam komunitas demikian pula sebaliknya semakin rendah Indeks Nilai Penting jenis ke-i, maka semakin rendah peranan jenis ke-i didalam komunitas (Setyobudiandi *et al.* 2009).

$$\text{INP} = \text{RDI} + \text{RCI} + \text{RFI} \dots\dots\dots 6)$$

dimana:

RDI = Kepadatan Relatif,
 RCI = Penutupan Relatif,
 RFI =Frekuensi Relatif

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Jenis dan Distribusi Lamun

Pada tiga stasiun pengamatan diperairan Teluk Youtefa ditemukan empat jenis lamun (Tabel 1), yang berasal dari tiga genus dan termasuk dalam famili Hydrocharitaceae. Lamun yang ditemukan tergolong ke dalam tipe vegetasi campuran karena pada setiap kuadran ditemukan lebih atau sama dengan dua jenis lamun yang terdistribusi. Penyebaran jenis lamun bervariasi dari lokasi satu kelokasi lainnya : empat jenis lamun (lokasi Tobati): tiga jenis lamun (lokasi Enggros I) dan hanya dua jenis lamun (lokasi Enggros II).

Penelitian lamun pada 2012 di Teluk Youtefa, tidak menemukan jenis-jenis *Thalassodendrom ciliatum*, *Cymodocea rotundata* dan *Halodule pinifolia* (Tabel 1).

Hamparan lamun pada Lokasi Tobati dan Enggros tersusun oleh jenis pionir (*H ovalis*, *H minor*) dan klimaks (*E acoroides* dan *T hemprichii*) sedangkan dilokasi Enggros II hanya terdapat jenis klimaks. Perbedaan jenis yang ditemukan di alokasi studi ini disebabkan oleh perbedaan tipe substrat dan faktor lingkungan seperti pasang surut yang membentuk zonasi lamun. Menurut Peterson (1991), zonasi merupakan suatu fenomena ekologi yang menarik di perairan pantai, yang merupakan daerah yang terkena pengaruh pasang surut air laut. Pengaruh dari pasang-surut air laut yang berbeda untuk tiap zona memungkinkan berkembangnya komunitas yang khas untuk masing-masing zona di daerah ini.

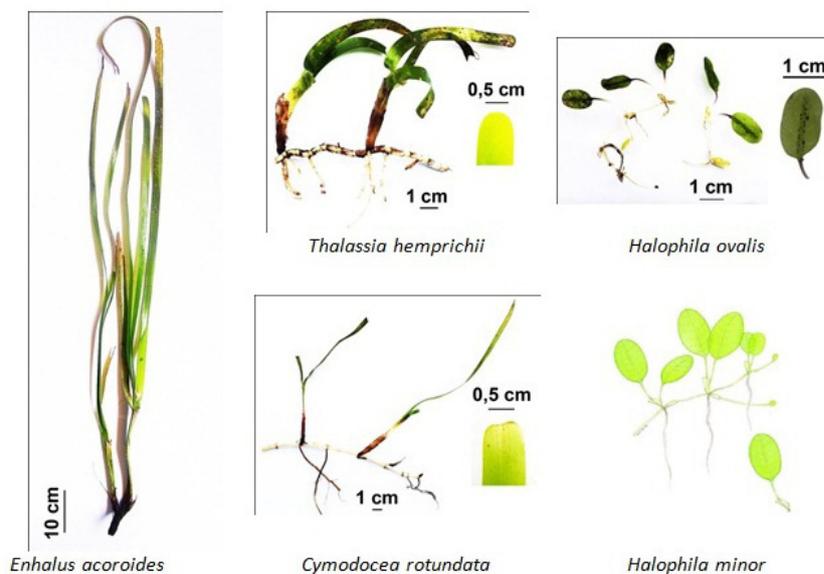
Pada bagian atas daerah intertidal, terutama sering ditemukan jenis berukuran kecil seperti *H ovalis* dan *Halophila minor*. Walau demikian, Pada lokasi Tobati dan Enggros I yang merupakan lokasi rataaan terumbu karang dan berpasir juga ditemukan jenis lamun berukuran besar seperti jenis *T hemprichii* dan *E acoroides* (Gambar 2).

Jenis *E acoroides* merupakan jenis lamun

Tabel 1. Komposisi Jenis Lamun pada 2006 dan 2012

	Jenis Lamun	Tahun (2012)			Jenis Lamun	Tahun (2006)		
		Tobati	Enggros I	Enggros II		Tobati	Enggros I	Enggros II
1	<i>T.hemprichii</i>	+	+	+	<i>T.hemprichii</i>	+		
2	<i>E. acoroides</i>	+	+	+	<i>E.acoroides</i>		+	+
3	<i>H. ovalis</i> +	+			<i>H. ovalis</i>	+		
4	<i>H. minor</i>	+			<i>H. minor</i>	+		
5					<i>H.pinifolia</i>		+	
6					<i>T. ciliatum</i>	+		
7					<i>C.rontundata</i>	+	+	+

Keterangan : + = Ditemukan pada lokasi penelitian, - = Tidak ditemukan dilokasi penelitian



Gambar 2. Jenis lamun yang ditemukan di Teluk Youtefa pada Agustus 2012.

yang sering mendominasi komunitas padang lamun (Bengen, 2001) selanjutnya oleh Sangaji (1994) dikatakan bahwa jenis ini dominan hidup pada substrat dasar berpasir dan kadang-kadang terdapat dasar yang terdiri dari campuran pecahan karang yang telah mati. Selain itu, Nienhuis *et al.* (1989) melaporkan bahwa *E. acoroides* umumnya tumbuh pada sedimen yang berpasir atau berlumpur dan di daerah dengan bioturbasi tinggi serta dapat tumbuh menjadi padang yang monospesifik; juga tumbuh pada substrat berukuran sedang dan kasar; mendominasi padang lamun campuran; dan seringkali tumbuh bersama-sama dengan *T hemprichii*.

Pada Lokasi Enggros II umumnya ditemukan jenis lamun berukuran besar seperti jenis *T hemprichii* dan *E acoroides*. Sebagian besar jenis lamun kemampuan toleransi hidup pada kondisi kekeringan sangat rendah sehingga tidak dapat tumbuh pada zona intertidal. Walaupun hanya jenis lamun berukuran kecil dan mampu menahan air diantara daun-daunnya yang dapat menempati daerah. Beberapa jenis lamun yang tidak tahan pada kekeringan bisa hidup di daerah ini.

Keberadaan jenis lamun berukuran besar di daerah intertidal berhubungan dengan kemampuannya mentoleransi kondisi kekeringan. Bjork *et al.*, (1999) mengemukakan bahwa kemampuan mentoleransi kondisi kekeringan sangat terkait dengan karakter morfologis yang bisa meminimumkan tekanan kekeringan.

Jumlah Tegakan, Kepadatan Relatif dan Frekuensi Relatif.

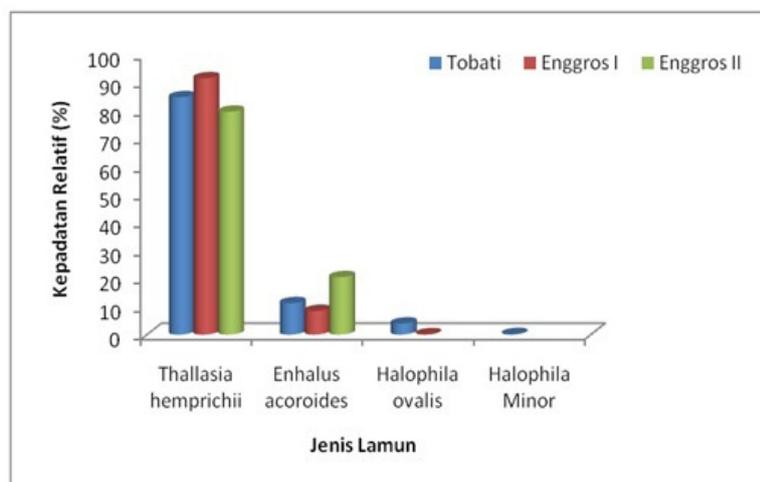
Penyebaran jenis lamun pada ketiga lokasi penelitian beragam, dimana *Thalassia hemprichii* memiliki jumlah tegakan tertinggi di lokasi Enggros I sebanyak (2.519 ind/m²), disusul di Lokasi Tobati dan Enggros II masing-masing sebesar (2.462 ind/m²) dan (1.288 ind/m²). Jumlah tegakan tertinggi untuk jenis *E acoroides* ditemukan di Lokasi Tobati dengan nilai sebesar (314 ind/m²), di dua lokasi lainnya masing-masing 296 ind/m² dan 232 ind/m² di Enggros II dan Enggros I. Jenis *H ovalis* hanya ditemukan di dua lokasi yaitu Tobati (109 ind/m²) dan Enggros I (3 ind/m²). Jenis *H minor* hanya ditemukan pada lokasi Tobati dengan jumlah tegakan hanya (5 ind/m²) (Tabel 2).

Dari empat jenis lamun yang tercatat, jenis *T hemprichii* dan *E acoroides* ditemukan di tiga lokasi. Hal ini memberikan gambaran bahwa ke dua jenis lamun ini mampu hidup dan beradaptasi pada substrat yang berbeda. Pada Lokasi Tobati dan Enggros I dijumpai substrat pasir berlumpur, sedangkan pada Lokasi Enggros II substratnya adalah lumpur berpasir.

Hasil rata-rata nilai kepadatan relatif jenis lamun pada ketiga stasiun menunjukkan bahwa jenis lamun *T hemprichii* memiliki nilai kepadatan relatif tertinggi yang berkisar antara 79-91,46% (Gambar 3). Hal ini mengindikasikan bahwa jenis ini memiliki kemampuan yang tinggi dari jenis lainnya dalam satu lokasi

Tabel 2. Jumlah tegakan individu lamun/ 30 m²

Jenis lamun	Tobati (m ²)	Enggros I (m ²)	Enggros II (m ²)
<i>Thalassia hemprichii</i>	2.462	2.519	1.288
<i>Enhalus acoroides</i>	314	232	296
<i>Halophila ovalis</i>	109	3	0
<i>Halophila minor</i>	5	0	0



Gambar 3. Kepadatan relatif jenis lamun pada setiap lokasi.

terhadap adaptasi dan kompetisi dalam lingkungan yang terganggu.

Nasution (2003) mengatakan bahwa kepadatan lamun per satuan luas tergantung pada jenisnya. Jenis-jenis lamun yang memiliki tegakan yang tinggi biasanya memiliki frekuensi dan penutupan relatif yang juga tinggi. Menurut Terrados *et al.*, (1998), umumnya kontribusi jenis lamun (misalnya kepadatan dan biomassa) cenderung didominasi oleh satu atau beberapa jenis lamun saja dalam suatu komunitas. Hal ini diduga sangat terkait dengan kemampuan adaptasi suatu jenis lamun terhadap kondisi lingkungan setempat.

Persen Penutupan dan Indeks Nilai Penting (INP) spesies Lamun

Nilai Frekuensi jenis lamun pada ketiga stasiun seperti disajikan dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa jenis lamun *T hemprichii* pada lokasi Enggros I memiliki nilai tertinggi (67,46%) dan frekuensi terendah adalah jenis *H ovalis* (0,21%). Hal ini disebabkan karena kemampuan adaptasi dari jenis *T hemprichii* dengan berbagai jenis substrat dan dalam kondisi perairan yang berbeda lebih stabil dari jenis lainnya. Hutomo *et al.* (1988) melaporkan *T. hemprichii* adalah jenis lamun yang paling dominan dan luas sebarannya. Jenis ini ditemukan hampir di seluruh perairan Indonesia, seringkali mendominasi vegetasi campuran dengan sebaran vertikal dapat mencapai 25 m serta dapat tumbuh pada berbagai jenis substrat mulai dari pasir lumpur, pasir berukuran sedang dan kasar sampai pecahan pecahan karang. Jenis ini umumnya membentuk padang atau vegetasi monospesifik (Nienhuis *et al.*, 1989).

Lokasi Tobati menunjukkan persen tutupan

sebesar 78,25% yaitu jenis *T hemprichii* sebesar 49,27% menjadi spesies dominan dan *H minor* memiliki presentase tutupan terendah yaitu 0,04% (Tabel 4). Lokasi Enggros I menunjukkan presentase tutupan sebesar 47% didominasi oleh *T hemprichii* dengan tutupan sebesar 44,43% dan tutupan terendah pada jenis *Halophila ovalis* sebesar 0,04%. Sedangkan pada Lokasi Enggros II presentase tutupannya sebesar 38% yang terbagi dalam jenis *T hemprichii* sebesar 34,05% dan jenis *E acoroides* sebesar 4,64%.

Jenis *Themprichii* dan *E acoroides* yang ditemukan hampir merata pada semua lokasi penelitian, karena di ketiga lokasi tersebut merupakan daerah subtidal yang dangkal disamping memiliki toleransi tinggi untuk berkembang. Hasil persentase tutupan lamun di Teluk Youtefa jika dibandingkan dengan kriteria baku kerusakan dan pedoman penentuan status padang lamun oleh Kepmen Negara dan Lingkungan Hidup No. 200 Tahun 2004 maka lamun pada Lokasi Tobati masih dalam kondisi sehat/kaya. Sementara di Lokasi Enggros I dan Enggros II status lamunnya dalam kondisi kurang kaya/kurang sehat.

Komposisi, frekuensi, kepadatan dan penutupan jenis lamun di setiap stasiun berbeda-beda dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Karena itu jenis lamun yang sama bisa saja memiliki indeks INP berbeda (Gambar 4).

Jenis lamun *T hemprichii* memiliki INP tertinggi disemua lokasi penelitian, sedangkan nilai INP terendah untuk Lokasi Tobati yaitu jenis lamun *H Minor*, Lokasi Enggros I jenis *H ovalis* dan di Enggros II jenis lamun *E acoroides*. Nilai INP yang tinggi sangat di pengaruhi oleh kondisi perairan dan tipe substrat (Dahuri, 1996).

Niai INP ini menunjukkan bahwa jenis lamun

Tabel 3. Nilai frekuensi relatif jenis lamun

No	Jenis	Frekuensi Relatif		
		Tobati	Enggros I	Enggros II
1	<i>Thalassia hemprichii</i>	63,22	67,46	62,89
2	<i>Enhalus acoroides</i>	31,21	32,32	37,10
3	<i>Halophila ovalis</i>	4,77	0,21	
4	<i>Halophila Minor</i>	0,75		

Tabel 4. Penutupan relatif lamun di Teluk Youtefa

No	Jenis	Penutupan Relatif Lamun (%)		
		Tobati	Enggros I	Enggros II
1	<i>Thalassia hemprichii</i>	49,27	44,43	34,05
2	<i>Enhalus acoroides</i>	4,83	3,02	4,64
3	<i>Halophila ovalis</i>	24,11	0,04	-
4	<i>Halophila Minor</i>	0,04	-	-

klimaks seperti jenis *T hemprichii* sangat mendominasi di ketiga stasiun pengamatan yang memiliki tipe sedimen karbonat dan relatif jernih. Secara umum, Indeks Nilai Penting terkecil terjadi pada jenis lamun *H. ovalis* dan *H. minor* dikarenakan spesies ini tumbuh secara tidak merata dengan kepadatan relatif dan frekuensi relatif yang rendah pula, sehingga peranan dari spesies tersebut relatif kecil terhadap komunitas lamun secara keseluruhan di kedua lokasi yang ditemukan. Lamun memiliki kemampuan adaptasi yang baik terutama di lingkungan yang ekstrim dan kompleks dengan kemampuan organisme dalam merespon variasi perubahan lingkungan baik abiotik maupun biotik (Setyobudihandi et al., 2009).

Strategi Pengelolaan Lamun

Degradasi sumber daya lamun di Teluk Youtefa dan beberapa daerah lain di Indonesia membutuhkan pengelolaan terpadu dikarenakan lamun adalah komponen penting untuk mendukung produksi perikanan nasional (Unsworth & Cullen, 2010) yang didukung oleh peraturan perundang undangan yang ada. Kedua Undang-Undang Perikanan No 31 Tahun 2004 yang telah direvisi menjadi undang-undang No 45 Tahun 2009 dan UU Pengelolaan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil No 27 Tahun 2007 yang juga mengalami perubahan menjadi Undang-Undang No 1 Tahun 2014, menyatakan bahwa padang lamun adalah ekosistem yang menjadi bagian dari pengelolaan perikanan.

Inventarisasi isu-isu pengelolaan lamun menjadi penting untuk dikemukakan dalam diagram analisis masalah degradasi kondisi lamun di Teluk Youtefa (Gambar 5). Dengan mengetahui akar permasalahan serta ancaman secara langsung terhadap ekosistem lamun, dapat menghasilkan strategi pengelolaan lamun tersebut.

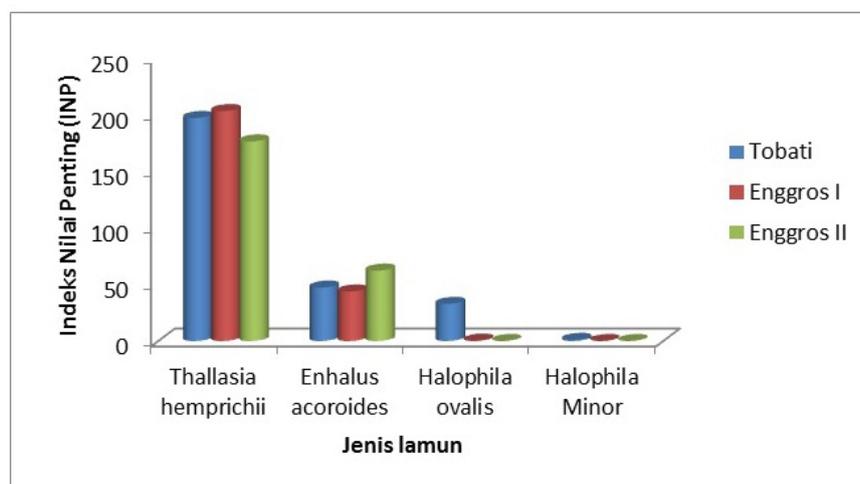
Arahan Strategi Kebijakan

Permasalahan terhadap kelestarian ekosistem pesisir dan lautan dalam kasus Teluk Youtefa antara lain perusakan ekosistem yang diakibatkan oleh sedimentasi, peningkatan bahan pencemar, peningkatan sampah yang masuk ke teluk akibat buruknya manajemen lahan atas. Oleh karena itu jika perubahan kualitas lingkungan di teluk terjadi, maka komponen biologis didalamnya akan mengalami perubahan seperti ikan dan kerang-kerangan mengalami kepunahan.

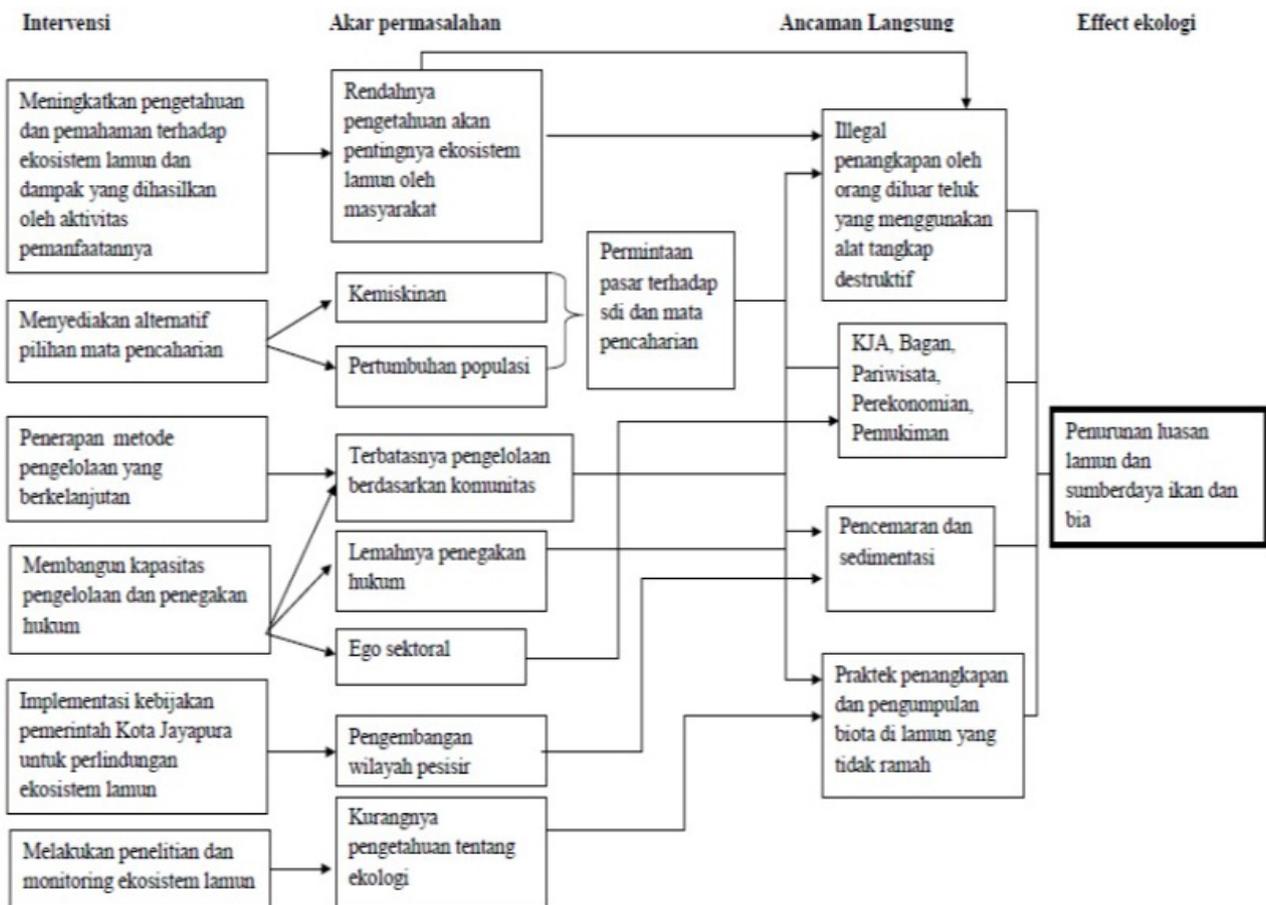
Pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu adalah suatu pendekatan pengelolaan wilayah yang melibatkan dua atau lebih ekosistem, sumber daya, dan kegiatan pemanfaatan (pembangunan) secara terpadu (*integrated*) guna mencapai pembangunan wilayah pesisir secara berkelanjutan. Keterpaduan mengandung tiga dimensi yaitu sektoral bidang ilmu dan keterkaitan ekologis. Perencanaan terpadu biasanya dimaksudkan sebagai suatu upaya secara terprogram untuk mencapai tujuan yang dapat mengharmoniskan dan mengoptimalkan antara kepentingan untuk memelihara lingkungan, keterlibatan masyarakat dan pembangunan ekonomi (Dahuri et al, 2008). Strategi kebijakan pengelolaan ekosistem lamun ditekankan pada aspek keberlanjutan yakni aspek ekologi, sosial dan ekonomi.

Aspek ekologi

1. Pengelolaan daerah hulu (darat) dengan membatasi konversi hutan menjadi pemukiman, lahan pertanian khususnya pada daerah serapan air
2. Melakukan sosialisasi kepada pihak terkait (masyarakat teluk, pemerintah terknis dan LSM serta pihak lain yang terkait tentang pentingnya ekosistem lamun di wilayah pesisir



Gambar 4. Nilai INP jenis lamun yang ditemukan di Teluk Youtefa pada (2012).



Gambar 5. Diagram analisis masalah degradasi lamun di Teluk Youtefa, Jayapura.

3. Melakukan monitoring dan evaluasi terhadap kualitas perairan Teluk oleh instansi terkait secara rutin sebagai bahan pembuatan kebijakan.
4. Melakukan sosialisasi dan pembuatan Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) bersifat komunal yang melibatkan Pemerintah Kota Jayapura yang dimaksud adalah instansi yang terkait dengan pemanfaatan perairan pesisir Teluk Youtefa. Diadakan pada kawasan padat penduduk di pinggiran pantai yang belum menggunakan septik tank.

Aspek sosial ekonomi

1. Mengembangkan kegiatan minapolitan di Kota Jayapura yang pada prinsipnya adalah pemberdayaan masyarakat agar mampu mengembangkan usaha komoditas unggulan (kegiatan perikanan) berdasarkan pada kesesuaian lahan atau perairan dan kondisi sosial ekonomi budaya daerah.
2. Membatasi lokasi penangkapan dengan merujuk kepada sistem batasan yang ditetapkan dalam Hukum Adat Manjo menurut kampung, sehingga tekanan terhadap eksploitasi biota yang berasosiasi di lamun berkurang.
3. Menjadikan kawasan Teluk Youtefa sebagai

- area pemanfaatan zona tradisional yang mengatur larangan adanya bagan di dalam Teluk, penggunaan alat tangkap yang selektif dan ramah lingkungan, batasan jumlah tangkapan dan ukuran sumberdaya ikan dan biota asosiasi yang dapat dimanfaatkan.
4. Meningkatkan kesadaran masyarakat melalui sosialisasi dan aturan akan pentingnya menjaga sumberdaya pesisir serta penegakan hukum bagi yang melanggar aturan yang dibentuk. Bentuk hukum yang diberikan dapat mengacu kepada sistem hukumjo dan disesuaikan relevansinya pada masa sekarang.
5. Mengembangkan kapasitas masyarakat dengan program pendidikan non formal serta pendampingan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat pesisir dan pengetahuan masyarakat akan pentingnya kelestarian ekosistem lamun dan ekosistem pesisir lainnya bagi keberlangsungan hidup biota asosiasi.

KESIMPULAN

Jenis lamun yang ditemukan di Teluk Youtefa adalah *T hemprichii*, *E acoroides*, *H ovalis* dan *H minor*, dengan komposisi jenis termasuk dalam jenis pionir dan klimaks. Dari hasil perhitungan kepadatan

relatif, frekuensi relatif, penutupan relatif dan NIP bahwa *T hemprichii* yang paling banyak ditemukan di lokasi penelitian ini, karena jenis lamun ini mampu beradaptasi dengan baik pada perairan Teluk Youtefa dengan berbagai tipe jenis substrat. Distribusi jenis lamun didominasi oleh jenis lamun berukuran kecil, *H ovalis* dan *H minor*, khususnya untuk daerah rata-rata terumbu dan berpasir. Sedangkan daerah intertidal yang masih terendam air saat surut terendah didominasi jenis lamun berukuran besar seperti jenis *T hemprichii* dan *E acoroides*.

Pengelolaan secara terpadu dari semua pihak terkait menjadi strategi utama dalam pengelolaan ekosistem lamun. Keterlibatan masyarakat adat dengan hukum adat yang dimiliki yang dibangun dari pengetahuan lokal masyarakat Youtefa dapat meminimalkan masalah degradasi yang terjadi.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Masyarakat Teluk Youtefa Jayapura yang memberikan kesempatan dan dukungannya dalam penelitian ini, kepada pemerintah Kota Jayapura yang membantu menyediakan akses data serta Tim Perikanan Universitas Papua Manokwari yang memberikan dukungan moril dan materiil. Khusus kepada kedua mahasiswa alumni Perikanan UNIPA (Steven Umbora dan Yohanis Sikoway) yang membantu selama penelitian berlangsung. Kiranya Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikan nBpk/lbu sekalian.

DAFTAR PUSTAKA

Azkab, M.H. (2009). Lamun (seagrass): Pedoman inventarisasi lamun. Pusat Penelitian Oseanografi, Jakarta :21 hal.

Bjork, M., Uku, J., Weil, A. & Beer, S. (1999). Photosynthetic tolerance to dessiccation of tropical intertidal seagrass. *Marine Ecology Progress Series*, 191: 121-126.

Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S.P. & M. J. Sitepu, M.J. (2001). Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu. Pradnya Paramita. Jakarta : 328 pp.

Den Hartog, C. (1970). The seagrass of the world. North-Holand Publ. Co., Amsterdam : 275 pp.

Duarte, C.M & Kirkman, H. (2001). Methods for the measurement of seagrass abundance and depth distribution. In: global seagrass research methods. Elsevier. Pp 7:141-153

Dinas Kelautan dan Perikanan. (2008). Konservasi

Sumberdaya Ikan di Indonesia. Direktorat Jenderal Kelautan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, Direktorat Konservasi dan Taman Nasional Laut Kerjasama dengan Japan International Cooperation Agency : 1-40

Erina, Y. (2006). Keterkaitan antara komposisi perifiton pada lamun *Enhalus acoroides* (Linn.F) Royle Dengan tipe substrat Lumpur dan Pasir di Teluk Banten (Tesis) Program Pascasarjana IPB. Bogor.

Fortes. M.D. (1990). Seagrasses: A Resource Unknown in the ASEAN Region. ICLARM Manila. Philippines. pp 46.

Fonseca, M.S., Kenworthy, W.J., Colby, D.R., Rittmaster, K.A., & Thayer, G.W. (1990). Comparisons of fauna among natural and transplanted eelgrass *Zostera marina* meadows: criteria for mitigation. *Marine Ecology Progress Series* 65:251-264.

Fonseca, M.S. (1987). The Management Of Seagrass System. *Trop. Coast Area Manag. Iclarm. Newsletter* 2 (2): 5-7.

Hutomo, M., Kiswara, W. & Azkab, M.H. (1988). The status of seagrass ecosystems in Indonesia : resources, problems, research and management. Paper presented at SEAGRAM I, Manila 17-22 January 1988 : 24 pp.

Kuo, J. & Mc Comb, A.J. (1989). Seagrass taxonomy, structure and development. In: A.W.D. Larkum, A.J. Comb & S.A. Shepherd, (eds). *Biology of seagrasses : a treatise on the biology of seagrasses with special reference to Australian region*. Elssier, Amsterdam: 6-73

Nasution IM. (2003). Padang Lamun Di Perairan Pulau Bintan, Kabupaten Riau. In: Burhanuddin, S., Sulistiyo, B., Supangat, A. (eds). *Kondisi Ekosistem Pesisir Pulau Bintan*. Pusat Riset Wilayah Laut Dan Sumber Non Hayati. Badan Riset Kelautan Dan Perikanan. Departemen Kelautan Dan Perikanan.

Nienhuis, P.H.J. Coosen & Kiswara, W. (1989). Community structure and biomass distribution of seagrass and macrofauna in the Flores Sea, Indonesia. *Net.J.Sci.Res.* 23 (2): 192-214.

Peterson, C.H. (1991). Intertidal zonation of marine invertebrates in sand and mud. *American Scientist.* 79: 236 – 249

Setyobudiandi, I., Sulistiono, Yulianda, F., Kusmana, C., Hariyadi, S., Damar, A. & Bahtiar, S.A. (2009). *Sampling dan Analisis Data Perikanan dan*

Kelautan :Terapan Metode Pengambilan Contoh di Wilayah Pesisir danLaut. MAKAIRA-FPIK IPB. Bogor.

Terrados, J., Duarte, C.M., Fortes, M.D., Borum, J., Agawin, N.S.R., Bach, S., Thampanya, U., Kamp-Nielsen, L., Kenworthy, W.J., Geertz-Hansen, O. & Vermaat, J. (1998). Changes in community structure and biomass of seagrass communities along gradients of siltation in SE Asia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 46 (5), 757–768.

Thayer, G.W., Adams, S.M., & La Croix, M.W. (1975). Structural and fluctuation aspects of a recently established *Zostera marina* community *Estuarine Res.* 1 : 518-540

Thorhaug, A & Austin, C.B. (1986). Restoration of seagrass with economic analysis. *Environ. Conserv.* 3(4): 259-267.

Unipa (2006). Survei Potensi sumberdaya Teluk Youtefa Berkelanjutan Berbasis Masyarakat di Kota Jayapura. Unipa Press. Kerjasama Pemerintah Provinsi Papua dan Universitas Negeri Papua

Unsworth, R.K.F. & Cullen, L.C. (2010). Recognising the necessity for Indo-Pacific seagrass conservation. *Conserv.Lett.*00:1-11.

PENDUGAAN AKUIFER AIRTANAH DI PESISIR PULAU SOLOR, NUSA TENGGARA TIMUR

Pryambodo, D. G.¹⁾, Kusumah, G.²⁾ & Sudirman, N.¹⁾

¹⁾Peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir,

²⁾Loka Penelitian Sumberdaya dan Kerentanan Pesisir,

Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan-KKP

Diterima tanggal: 3 Juli 2014; Diterima setelah perbaikan: 9 September 2014; Disetujui terbit tanggal 13 Oktober 2014

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian geofisika dengan metode Geolistrik 2D konfigurasi werner untuk pendugaan keberadaan akuifer di desa Tanalein Pulau Solor NTT. Data Geolistrik 2D ditampilkan dalam bentuk 4 lintasan penampang geolistrik dan digunakan untuk melihat pendugaan akuifer di daerah penelitian. Keberadaan akuifer diduga terdapat pada lintasan GL-01 dan GL-03 terdapat pada kedalaman 50 – 70 meter dari permukaan tanah dan berada pada 300 - 320 meter dari ujung lintasan (baratlaut), akuifer airtanah ini diindikasikan oleh adanya struktur dan litologi dari akuifernya berupa lapukan breksi.

Kata kunci: Akuifer, Metode Geolistrik 2D, Pulau Solor

ABSTRACT

Geophysical study using geoelectrical 2D werner configuration method was conducted to estimate the presence of aquifers on the Tanalein village of Solor island NTT. Geoelectric 2D data is displayed in the form of 4 lines geoelectric cross-section and used to estimate aquifer in the study area. The presence of aquifers is suspected in the lines of GL-01 and GL-03 are at a depth of 50-70 meters from the Surface of land and is located at 300-320 meters from the edge line (northwest), the aquifer is controlled by the structure and lithology of aquifer of weathering breccias.

Keywords: Aquifer, Geoelectric 2D Methods, Solor Island

PENDAHULUAN

Kawasan pulau-pulau kecil dan wilayah pesisir memiliki potensi sumber daya alam dan jasa lingkungan yang tinggi dan dapat dijadikan sebagai modal dasar pelaksanaan pembangunan Indonesia pada masa yang akan datang. Namun terdapat kendala dalam pengembangan pulau-pulau kecil dan wilayah pesisir, terutama ketersediaan sumber daya air tawar sebagai air baku untuk kehidupan sehari-hari. Upaya penyediaan air baku untuk masyarakat perlu dikaji sehingga dapat memberikan informasi keberadaan air tawar mengingat karakterisasi hidrologi sumber daya air tawar di pulau-pulau kecil dan wilayah pesisir memiliki perbedaan tersendiri jika dibandingkan dengan karakterisasi hidrologi di wilayah daratan.

Sumber daya air di pulau-pulau kecil bisa berupa air permukaan, airt anah, maupun air atmosferik (hujan). Pada jenis pulau vulkanik seperti Pulau Solor Nusa Tenggara Timur, potensi airtanah dapat ditemukan pada batuan breksi yang memiliki matriks kasar, sedang pada batuan yang masif seperti batuan andesit, air tanah dapat berada pada daerah rekahan dengan potensi yang beragam tergantung pada kekompleks-an sistem kekar. Air hujan merupakan sumber utama input air di wilayah pulau, sehingga keberadaannya akan sangat tergantung dari musim yang sedang berlangsung. Geologi, morfologi, hujan beserta faktor iklim lainnya merupakan faktor yang dominan mempengaruhi potensi air dan membentuk suatu sistem hidrologi pulau.

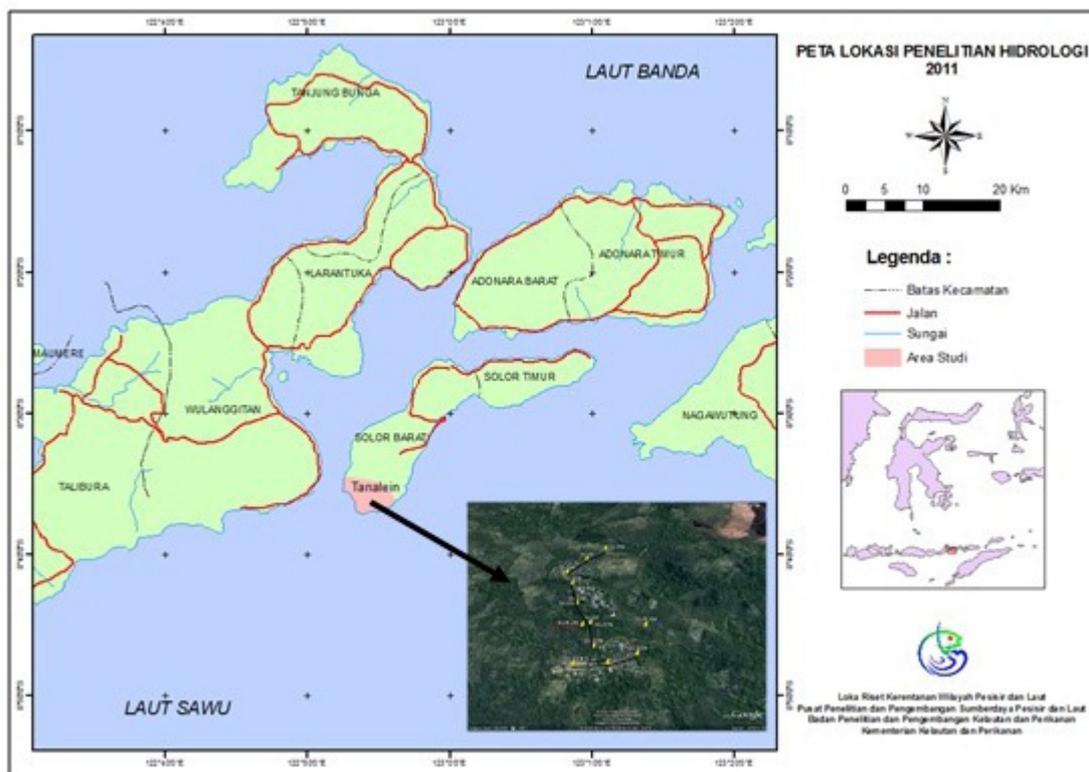
Pulau Solor adalah sebuah pulau yang terletak di kepulauan Nusa Tenggara Timur yakni disebelah Timur pulau Flores. Pulau ini dibatasi oleh Selat Lowotobi di sebelah Barat, Selat Solor di sebelah Utara, Selat Lamakera di sebelah Timur, serta Laut Sawu disebelah Selatan Secara Administratif Pulau Solor termasuk wilayah Kabupaten Flores Timur Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Pulau ini merupakan satu diantara dua pulau utama pada Kepulauan di Kabupaten Flores Timur. Pulau Solor sendiri terdiri dari dua kecamatan Solor Barat dengan ibu kota Ritaebang dan Solor Timur Ibu kota Menanga. Lokasi kegiatan berada di Desa Tanalein, Kec. Solor Barat, P. Solor NTT (Gambar 1). Pulau Solor akan dijadikan sebagai proyek percontohan pembangunan pulau-pulau kecil oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Studi dengan metode ini bertujuan untuk menduga keberadaan akuifer di wilayah Desa Tanalein Kec.Solor Barat, Pulau Solor, NTT sehingga potensi air tanah dapat diperkirakan.

METODE PENELITIAN

Terminologi air tanah berasal dari kata "groundwater", yaitu air di bawah permukaan tanah yang termasuk dalam zona jenuh air (*saturated zone*). Zona jenuh di batasi oleh muka airtanah di bagian atasnya (gambar 2). Sedangkan air bawah tanah secara umum adalah seluruh air yang terdapat di bawah permukaan tanah, termasuk di dalamnya adalah air pori yang terdapat pada zona tidak jenuh

Korespondensi Penulis:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: dino@knp.go.id



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian, di desa Tanalein, Kec. Solor Barat, NTT. Inset Desa Tanalein diperbesar menjadi Gambar 8.

(Unsaturated zone) (Todd, 1984).

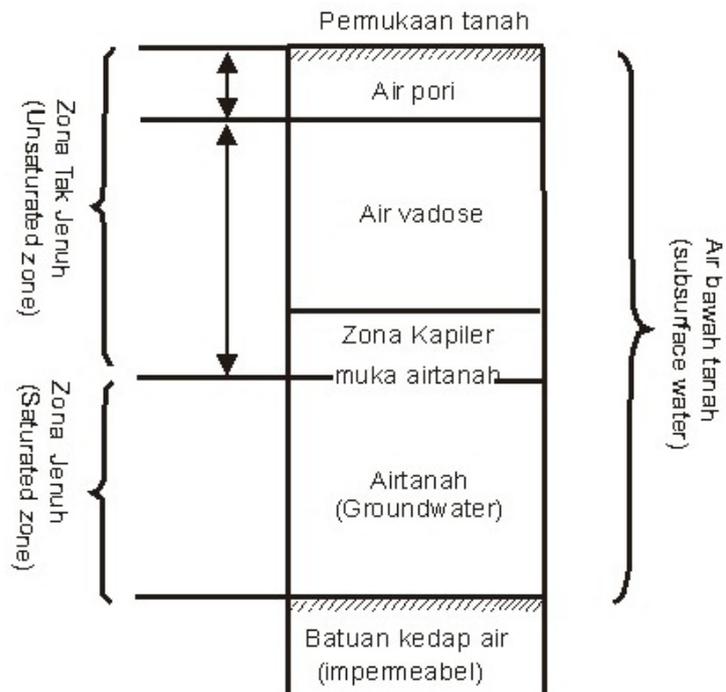
Akuifer adalah suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang tidak kedap air (*permeable*) baik yang terkonsolidasi (misalnya lempung) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir) dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (K) sehingga dapat membawa air (atau air dapat diambil) dalam jumlah (kuantitas) yang ekonomis (Kodoatie, 1996)

Metoda geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk tujuan eksplorasi air tanah khususnya untuk menentukan lapisan pembawa air (akuifer). Metode geolistrik dimaksudkan untuk mengetahui susunan, kedalaman, dan penyebaran lapisan bawah permukaan dari titik pendugaan berdasarkan harga tahanan jenis yang diperoleh. Prinsip metode ini didasarkan sifat-sifat batuan terhadap kelistrikan, dimana sifat kelistrikan ini tergantung terutama pada kandungan air, kekompakan, kekerasan, dan besar butir batuan. Salah satu tujuan dari metode geolistrik untuk sumber daya air adalah memperkirakan susunan lapisan akuifer berdasarkan pada distribusi tahanan jenisnya yang relatif sensitif terhadap material maupun kandungannya. Secara sederhana, metode ini dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik searah (DC) ke dalam bumi melalui sepasang elektrode arus

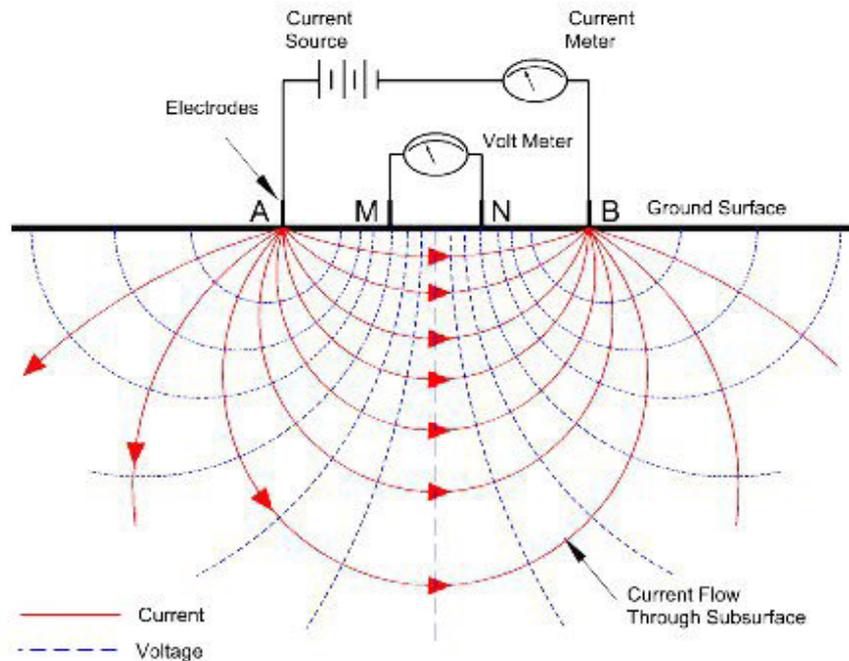
(AB), yang kemudian diterima oleh sepasang elektrode potensial (MN). Elektrode potensial ini akan menerima harga perbedaan potensial yang ditimbulkan oleh sifat-sifat batuan yang dilalui arus listrik (Telford, 1990) (Gambar 3).

Aliran listrik pada suatu formasi batuan terjadi karena adanya fluida elektrolit pada pori-pori atau rekahan batuan. Oleh karena itu resistivitas suatu formasi batuan bergantung pada porositas batuan serta jenis fluida pengisi pori-pori batuan tersebut. Batuan *porous* yang berisi air atau air asin tentu lebih konduktif karena resistivitasnya rendah jika dibandingkan dengan batuan yang sama yang pori-porinya hanya berisi udara (kosong) (Santoso, 2002).

Metoda geolistrik 2D atau *electrical imaging* digunakan untuk melihat pola perubahan tahanan jenis batuan baik secara vertikal maupun secara horizontal. Konfigurasi elektroda yang digunakan untuk pengukuran ini sama dengan pengambilan data geolistrik cara *sounding* atau 1D, tetapi teknik pengambilan data yang sedikit berbeda. Survey dilakukan pada lintasan yang lurus. Jumlah elektroda adalah 32 dengan jarak antar elektroda adalah 10 meter, maka panjang lintasan pengukuran adalah 310 meter. Kabel multielektroda terbagi dua bagian; elektroda no 1-16 di bagian kiri lintasan dan 17-32 di bagian kanan lintasan. Peralatan Saris-Scintrex



Gambar 2. Skema distribusi air bawah permukaan (Todd, 1984).



Gambar 3. Aliran arus listrik di dalam bumi (Telford, 1990).

(gambar 4) dan *geoscanner/switchbox* ditempatkan di tengah lintasan, ujung tengah dari bagian kiri dan kanan kabel multielektroda dihubungkan dengan *switchbox* yang berfungsi untuk mengatur nomor elektroda yang berperan sebagai pengalir arus (A, B) dan pengukur beda potensial (M, N).

Metode akuisisi data lapangan yang dipergunakan dalam penelitian adalah Konfigurasi Wenner seperti Gambar 5, cara ini dipakai untuk mengetahui variasi harga tahanan jenis secara lateral dan vertikal, dan digunakan untuk mengetahui kecenderungan harga tahanan jenis di suatu areal tertentu. Setiap lintasan pada konfigurasi memiliki beberapa titik pengukuran.

Nilai tahanan jenis semu tersebut kemudian dihitung menggunakan formula seperti berikut:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

$$K = 2\pi a$$

Dimana :

- pa = Tahanan jenis semu (ohm-m)
- K = Faktor Geometri
- ΔV = Beda potensial (mV)
- I = Kuat arus yang dialirkan (milliAmpere)
- a = Jarak antara kedua elektrode arus (C1 – C2) dan elektrode potensial (P1 – P2)

Pengukuran dilakukan setahap demi setahap dimulai dari bagian kiri (nomor elektrode kecil) dan tiap *layer* kedalaman (n). Setelah semua data diambil, jika diplot maka akan diperoleh kumpulan data yang menyerupai bentuk perahu terbalik (Gambar 5). Gambar 5 adalah ilustrasi dari peralatan, kabel, dan sebaran titik pengukuran terhadap lapisan kedalaman. Setelah semua data didapatkan, maka dilakukan pengolahan data sehingga diperoleh penampang tahanan jenis dari lintasan yang diambil baik secara vertikal maupun horizontal atau kedalaman. Contoh kasus adalah pada konfigurasi elektrode Wenner dengan jarak elektrode “a” maka langkah pertama yang dilakukan adalah mengukur *array* elektrode 1a tempat elektrode nomor 1, 2, 3, dan 4 digunakan untuk pengukuran. Konfigurasi ini bergerak sejauh 1a. Setelah pengambilan data untuk spasi 1a, langkah berikutnya adalah dengan spasi elektrode 2a dan menggunakan elektrode nomor

1, 3, 4 dan 7; pengukuran data terus dilakukan sampai elektrode terakhir. Lihat pada Gambar 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut peta geologi regional (Gambar 6) bahwa daerah penelitian di dominasi oleh batuan vulkanik yang dikenal dengan Formasi Hasil Gunung api Tua yang berumur pra tersier hingga tersier (Suwarna, *et al.*, 1990).

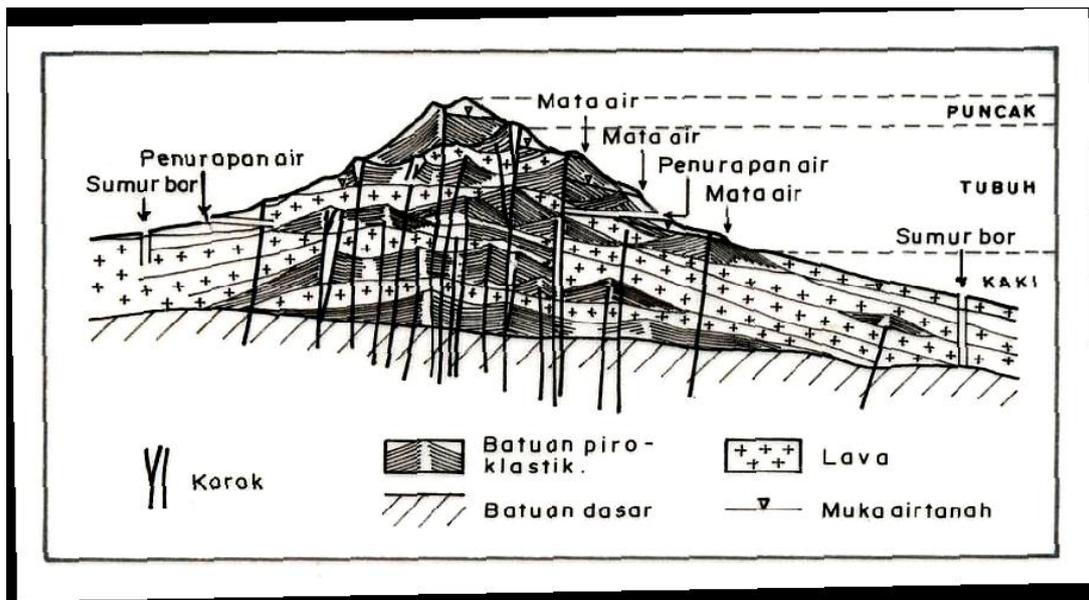
Dengan batuan yang relatif tua dimana terjadi proses pelapukan disertai waktu geologi yang sangat lama diharapkan akan didapatkan hasil pelapukan batuan vulkanik yang sangat tebal. Hal ini dikarenakan dapat menjadi lapisan yang baik dalam menyimpan dan mengalirkan airtanah. Namun dengan dominasi batuan vulkanik berupa batuan beku, maka hal ini akan menjadi masalah ketersediaan air, terutama yang bersarang di dalam pori.

Kondisi hidrogeologi di daerah vulkanik yang tersusun dari batuan beku akan sulit ditemukan secara luas, struktur rekahan menjadi media airtanah dan rempah vulkanik hasil pelapukan dan tuf menjadi media air tanah pori.

Keberadaan air tanah di daerah ini umumnya pada batuan sangat berpori dan tidak kompak, berselang-seling dengan lapisan-lapisan aliran lava yang umumnya kedap air. Hal ini menyebabkan terakumulasinya airtanah yang cukup besar dan muncul



Gambar 4. Peralatan geolistrik merk Saris-Scintrex.



Gambar 7. Tipologi sistem akuifer endapan Gunungapi (Mandel & Shiftan, 1981).

untuk menduka keberadaan akuifer di daerah tersebut antara lain GL01, GL02, GL03 dan GL04, dimana lintasan GL01 dan GL03 saling bersambung (Gambar 8)

Dari hasil pengolahan data geolistrik, maka diperoleh penampang resistivitas semu dari setiap lintasan pengukuran. Penampang tersebut akan memperlihatkan profil perlapisan batuan bawah permukaan, kedalaman atau ketebalannya, serta nilai tahanan jenisnya. Hasil pengolahan data ini menunjukkan bahwa kedalaman lapisan yang dapat diinterpretasikan adalah 70 meter dengan kisaran nilai resistivitas bervariasi dari 7 ohm-meter sampai dengan 307 ohm-meter. Setelah data geolistrik diolah dan diperoleh nilai tahanan jenis, kedalaman atau ketebalannya, maka langkah selanjutnya adalah penentuan nilai kisaran dari nilai tahanan jenis sesuai dengan litologi di daerah penelitian. Untuk itu telah dilakukan pengamatan geologi di lokasi penelitian didasarkan pada kondisi geologi regional yang dapat diperoleh dari peta geologi maupun data literatur. Selain itu data kisaran nilai tahanan jenis untuk beberapa jenis batuan yang diperoleh dari referensi sangat membantu untuk memudahkan dalam pendugaan jenis litologi dari kisaran tahanan jenis yang diperoleh dari survey geolistrik. Beberapa jenis batuan dan kisaran nilai tahanan jenisnya dapat dilihat pada tabel 1 dibawah (Telford, 1990), dimana batuan dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok berikut nilai tahanan jenisnya.

Menurut klasifikasi batuan dan mineral dari nilai tahanan jenisnya dan kondisi geologi di lokasi penelitian, dapat diinterpretasikan jenis litologi dan karakter hidrogeologi (Tabel 2) di daerah Tanalein

P.Solor.

Secara lebih detail kemudian dibahas profil geolistrik 2D vertikal pada keempat lintasan (lihat Gambar 8).

Lintasan GL01 dan GL03 (digabung/disambung)

Lintasan GL01 dan GL03 berarah Baratlaut-Tenggara (Gambar 9) dengan bentangan kabel sekitar 620 meter dan lintasan memiliki ketinggian antara 245 - 259 meter diatas permukaan laut, lintasan ini berada di lembah.

Hasil penampang 2D pada lintasan GL01 dan GL03 (Gambar 9) terdapat harga resistivitas yang cukup bervariasi ditandai dengan adanya beberapa warna. Berdasarkan variasi harga resistivitas tersebut dapat diperkirakan batas dan jenis penyusun lapisan tanah.

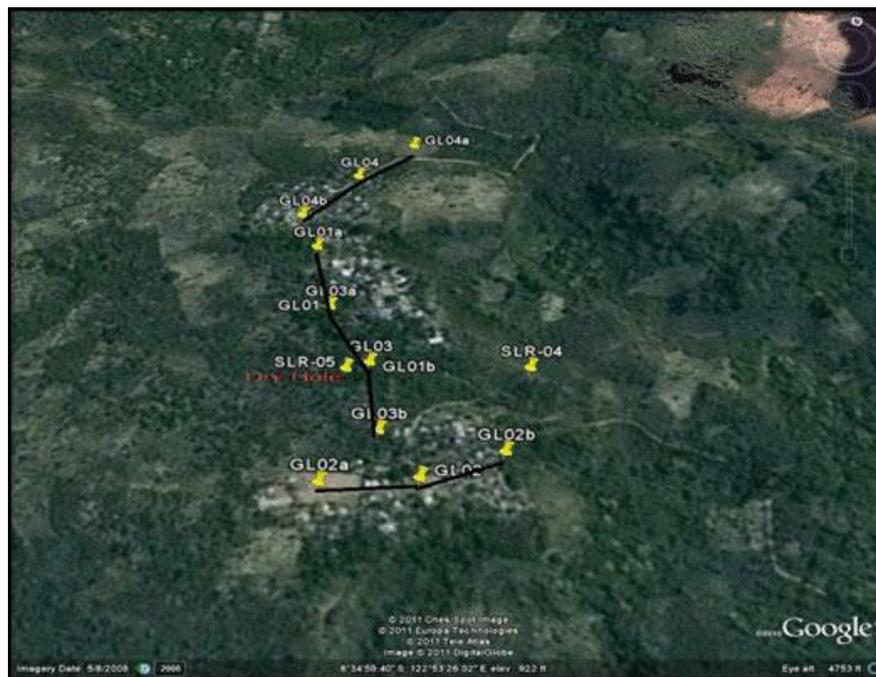
Pada lintasan GL01 dan GL03 mempunyai harga resistivitas berkisar antara 7 - 307 ohm meter, dari hasil geolistrik 2D memperlihatkan adanya lapisan pembawa air (akuifer) dengan nilai resistivitas antara 7 - 20.6 ohm meter (warna biru) dengan perkiraan litologinya berupa lapukan breksi sehingga air tanah masuk dan tersimpan pada rekahan batuan dan sebagian mengisi pori-pori batumannya. Indikasi akuifer terdapat pada kedalaman 50 - 70 meter dari permukaan tanah dengan jarak sekitar 300 - 320 meter dari ujung lintasan Baratlaut. Diindikasikan keberadaan akuifer di kontrol dengan adanya patahan sehingga keberadaan air tanah terakumulasi di dalam batuan lapukan breksi dengan patahan sebagai batas horisointal akuifer.

Tabel 1. Nilai tahanan jenis sebagian material-material bumi (Telford, 1990)

Material/Batuan	Resistivity (Ohmmeter)
Air (Udara)	0
Sandstones (Batu Pasir)	200 – 8,000
Sand (Pasir)	1 – 1,000
Clay (Lempung)	1 – 100
Ground Water (Air Tanah)	0,5 – 300
Sea Water (Air Asin)	0,2
Dry Gravel (Kerikil Kering)	600 – 10,000
Alluvium (Aluvium)	10 – 800
Gravel (Kerikil)	100 - 600
Granite	3 x 10 ² – 10 ⁶
Diorite	10 ² - 10 ⁵
Diabase	20 – 5 x 10 ⁷
Basalt	10 – 1,3 x 10 ⁷ (dry)

Tabel 2. Nilai tahanan jenis dan pendugaan litologi dan hidrologi di desa Tanalein yang merupakan hasil pada penelitian ini

Nilai Tahanan Jenis (ohm m)	Perkiraan Litologi	Perkiraan Hidrogeologi
7 - 20.6	Breksi Lapukan	Akuifer, akuifer utama jenuh air dan lolos air
35.4 - 60.7	Breksi	Bukan akuifer utama dan tidak jenuh air.
104 - 307	Lava	Batuan keras, tidak mudah retak, bukan akuifer



Gambar 8. Lintasan Geolistrik 2D Tanalein (tanpa skala).

Berdasarkan pada pola morfologi, kemungkinan area ini memiliki daerah tangkapan yang sempit. Namun bila dikaitkan dengan morfologi ke arah timur yang lebih tinggi, maka kemungkinan ketersediaan airtanah untuk lokasi terindikasi oleh geolistrik 2D masih memungkinkan untuk dapat cukup berkontribusi aliran airtanah dari daerah atas di timurnya.

Lintasan GL02

Lintasan GL02 yang berarah Baratdaya-Timurlaut (Gambar 10) berada pada ketinggian 267 meter diatas permukaan laut. Lintasan ini berada pada ujung lintasan GL02 dan berada di punggung karena letaknya lebih tinggi dari lintasan GL01 dan GL03.

Dari hasil analisis data geolistrik Lintasan GL02 (Gambar 10) dapat dilihat adanya prospek akumulasi dari air tanah, akan tetapi dari hasil pengamatan dilapangan keberadaan akuifer ini mungkin kurang bernilai ekonomis dikarenakan lintasan ini berada pada punggung bukit yang mengakibatkan mungkin airtanah yang terjebak akan lolos ke lembah dibawahnya.

Lintasan GL04

Lintasan GL04 (Gambar 11) yang berarah Utara-Selatan berada pada ketinggian 273 meter diatas permukaan laut. Lintasan ini berada pada ujung lintasan GL01 dan berada di puncak bukit dilihat dari morfologinya.

Pada hasil analisis data geolistrik GL04 ini diindikasikan bahwa lapisan di bawah permukaan tanahnya di dominasi oleh lava, hal ini dikarenakan oleh letak lintasan tersebut berada di puncak bukit sehingga batuan yang mendominasi adalah lava, karena batuan nya keras dan kompak maka keberadaan akuifer di lintasan ini tidak ada.

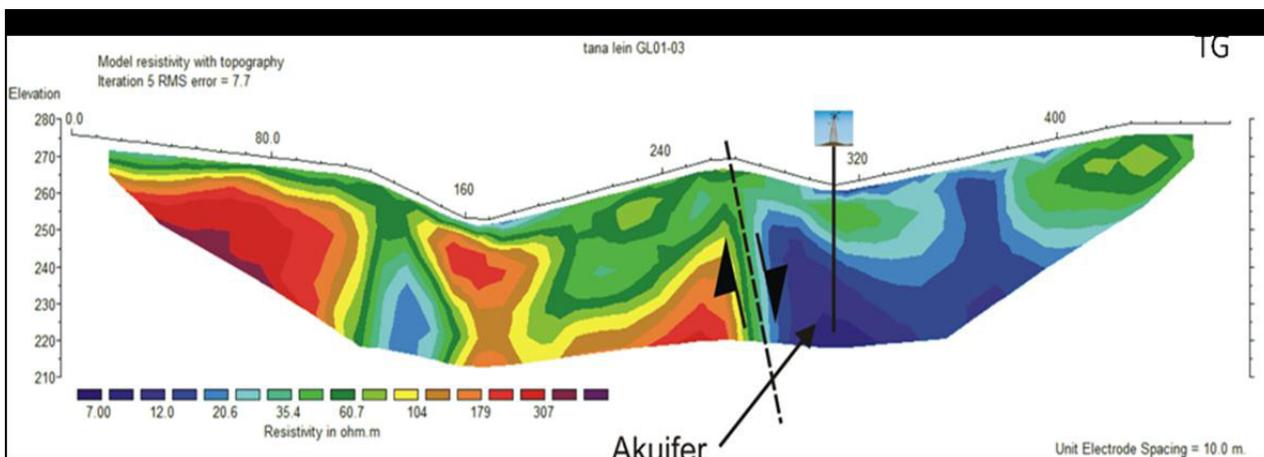
Setelah membandingkan hasil ketiga lintasan survei geolistrik terlihat bahwa lintasan GL01 dan GL03

memiliki prospek akuifer yang memungkinkan adanya keterdapatan air tanah yang tersimpan di dalam suatu akuifer. Adapun rencana ke depan dari penelitian ini adalah eksplorasi air tanah dengan cara membuat sumur bor untuk memproduksi air bersih.

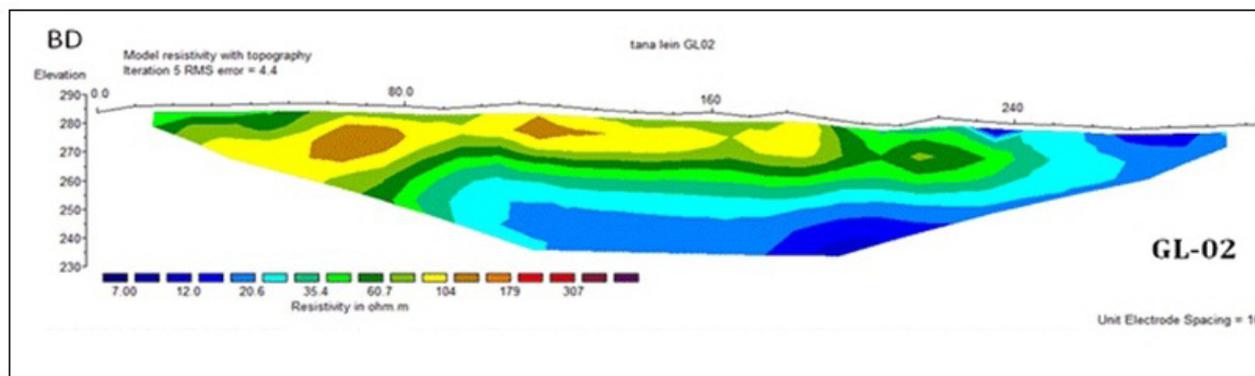
Sebagai bahan rekomendasi, bahwa dengan iklim yang cenderung kering (semi arid), musim penghujan sangat pendek (Nopember – Maret), musim kemarau panjang dan kering (April – Oktober), dan curah hujan rata-ratanya sekitar 100 – 200 mm/bulan (Ratri & Hariadi, 2009), maka penggunaan air tanah perlu adanya suatu manajemen yang optimal sehingga masyarakat sekitar tidak mengalami masalah difisit air tanah.

KESIMPULAN

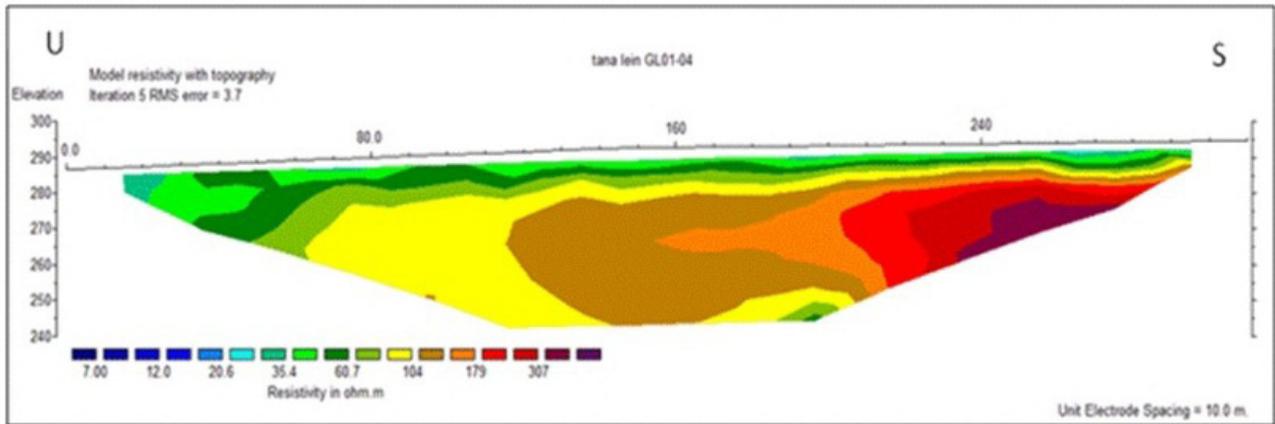
Dari hasil survei geolistrik 2D di desa Tanalein P.Solor, NTT dengan konfigurasi wenner dan panjang lintasan 310 meter dapat dinyatakan pada lintasan GL01 dan GL03 menunjukkan adanya prospek airtanah yang cukup sempit yang kemungkinan dikontrol oleh adanya struktur. Keberadaan akuifer terdapat pada kedalaman 50 - 70 meter dari permukaan tanah dan 300 - 320 meter dari ujung lintasan (baratlaut) dan litologi yang diharapkan dapat berperan sebagai akuifer adalah



Gambar 9. Hasil Geolistrik 2D Lintasan GL01 dan GL03.



Gambar 10. Hasil Geolistrik 2D Lintasan GL02.



Gambar 11. Hasil Geolistrik 2D Lintasan GL04.

lapisan yang tersusun berupa lapukan breksi.

<http://www.florestimur.go.id> di akses tanggal 16 November 2011

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ka. Balitbang KP, Ka. P3SDL dan Ka. LPSDKP. Juga kepada Bapak Djoko Nugroho (TISDA BPPT) yang telah membimbing kami sehingga penelitian ini telah terlaksana dengan hasil yang optimal. Penelitian ini telah dibiayai dari dana DIPA TA.2011 LPSDKP-KKP.

DAFTAR PUSTAKA

- Kodoatie, R. J. (1996). Pengantar Hidrogeologi. Yogyakarta: ANDI offset.
- Mandel, S. & Shiftan, Z. L. (1981). Groundwater. Resources : investigation And Development. Academic Press. London.
- Ratri, D.N. & Hariadi, M.H. (2009). Kajian Curah Hujan Untuk Merekomendasikan Awal Tanam Tanaman Pangan di Nusa Tenggara Timur, Buletin Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Vol 5 No.1
- Santoso, D. (2002). Pengantar Teknik Geofisika. Bandung: Departemen Teknik Geofisika ITB
- Suwarna, N., Santosa, S. & Koesoemadinata, S. (1990). Peta Geologi Regional Bersistem Lembar Ende, Nusa Tenggara Timur. Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Telford, M.W., et al, (1990), Applied Geophysics , Cambridge University Press.
- Todd, et al. (1984), Groundwater Hydrology, 2nd ed, John Willey & Sons, New York USA

PENENTUAN KAWASAN WISATA BAHARI DI P.WANGI-WANGI DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Yulius¹⁾, Hadiwijaya L. Salim¹⁾, M. Ramdhan¹⁾, T. Arifin¹⁾ & D. Purbani¹⁾

¹⁾Peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir,
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan-KKP

Diterima tanggal: 17 Juni 2014; Diterima setelah perbaikan: 10 September 2014; Disetujui terbit tanggal 9 Oktober 2014

ABSTRAK

Wakatobi memiliki sumber daya alam yang sangat potensial dengan 25 gugusan terumbu karang yang indah dan masih alami dengan spesies beraneka ragam bentuk. Kawasan ini dinilai terbaik di dunia dengan sering dijadikan sebagai ajang diving dan snorkling bagi para penyelam nasional maupun internasional. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kesesuaian kawasan untuk wisata bahari menggunakan SIG. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis spasial (keruangan) dan analisa tabular terhadap kesesuaian kawasan dalam SIG. Hasil analisis spasial dan tabular terhadap kesesuaian kawasan untuk wisata bahari, menunjukkan bahwa lokasi yang sesuai adalah di utara Pulau Wangi-wangi, Kecamatan Wangi-wangi dan di utara Pulau Kapota, Kecamatan Wangi-wangi Selatan dengan luas sekitar 2.786,9 hektar atau 20,3% dari luas total wilayah kawasan.

Kata kunci: Sistem Informasi Geografis (SIG), wisata bahari, pulau wangi-wangi, Kabupaten Wakatobi

ABSTRACT

Wakatobi has a huge potential of natural resources with 25 beautiful and pristine coral reefs species in diverse forms. Wakatobi is a considered as the best biosphere area in the world and frequently used as a place for diving and snorkeling among national and international divers. This study aims to determine the suitability of the area for marine tourism using GIS. The methods used in this research are spatial analysis methods and tabular analysis of the suitability of the area with the GIS tools. From the results of the spatial analysis of the suitability area for marine tourism, it is obtained that the corresponding location is on the northern island of Wangi-Wangi, district of Wangi-wangi and on the northern of Kapota island, South District of Wangi-wangi with an area of 2786,9 hectares or 20,3 % of the total area in the region.

Keywords: Geographic Information System (GIS), marine tourism, coastal region

PENDAHULUAN

Wisata bahari adalah jenis wisata minat khusus yang memiliki aktivitas yang berkaitan dengan kelautan, baik di atas permukaan laut (*marine*), maupun kegiatan yang dilakukan dipermukaan laut (*submarine*). Menurut Direktorat Jendral Pariwisata, wisata bahari disebut juga wisata minat khusus yaitu suatu bentuk perjalanan wisata yang mengunjungi suatu tempat karena memiliki minat atau tujuan khusus terhadap suatu objek atau kegiatan yang dapat ditemui atau dilakukan di lokasi atau daerah tujuan wisata (Depbudpar, 2004). Wisata bahari merupakan wisata lingkungan (*eco-tourism*) yang berlandaskan daya tarik bahari di lokasi atau kawasan yang didominasi perairan atau kelautan (PRWLSDNH, 2002).

Kabupaten Wakatobi adalah salah satu Daerah Tingkat II di provinsi Sulawesi Tenggara. Ibu kota kabupaten ini terletak di Wangi-Wangi. Wilayah Kabupaten Wakatobi di sebelah utara berbatasan dengan Laut Banda, di sebelah Selatan berbatasan dengan Laut Flores, sebelah timur berbatasan dengan Laut Flores, dan sebelah Barat berbatasan dengan Laut Banda. Kabupaten Wakatobi memiliki luas wilayah daratan seluas 823 km² dan wilayah perairan

laut diperkirakan seluas 18.377,31 km² (BPS, 2009).

Wakatobi juga merupakan nama Kawasan Taman Nasional Laut Wakatobi dengan luas 1.390.000 ha, ditetapkan sebagai taman nasional melalui Keputusan Menteri Kehutanan RI No. 393/Kpts-VI/1996, menyangkut keanekaragaman hayati laut, skala dan kondisi karang; yang menempati salah satu posisi prioritas tertinggi dari konservasi laut di Indonesia (Ayiful, 2004).

Wakatobi memang mempunyai data tarik tersendiri. Kepulauan yang juga dikenal dengan sebutan Kepulauan Tukang Besi ini mempunyai 25 gugusan terumbu karang yang masih asli dengan spesies beraneka ragam bentuk. Terumbu karang menjadi habitat berbagai jenis ikan dan makhluk hidup laut lainnya seperti moluska, cacing laut, tumbuhan laut. Ikan hiu, lumba-lumba, dan paus juga menjadi penghuni kawasan ini. Kesemuanya menciptakan taman laut yang indah dan masih alami. Taman laut yang dinilai terbaik di dunia ini sering dijadikan ajang diving dan snorkling bagi para penyelam nasional maupun internasional (Rangka, & Paena, 2012).

Kawasan ini memiliki sumber daya alam yang

Korespondensi Penulis:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: yulius.lpsdkp@gmail.com

sangat potensial dengan gugusan terumbu karang yang indah dan masih alami dengan spesies beraneka ragam bentuk. Selama ini potensi wisata di kawasan wakatobi belum dikelola dan dikembangkan secara optimal, sehingga potensi dan objek wisata kurang berkembang dengan baik. Meskipun sering dikunjungi oleh turis mancanegara, tetapi kawasan ini belum menjadi daerah tujuan wisata utama bagi wisatawan domestik pada umumnya. Bertolak dari hal tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kesesuaian lahan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kesesuaian kawasan untuk wisata bahari melalui aplikasi SIG.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pulau Wangi-wangi, wilayah pesisir utara Kecamatan Wangi-wangi dan Kecamatan Wangi-wangi selatan, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar 1). Penelitian dilaksanakan pada Mei 2013.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat penelitian yang digunakan yaitu; peta laut Dishidros TNI-AL Pulau-pulau Wakatobi nomor peta 317 untuk orientasi di lapangan, alat selam *scuba* untuk membantu penyelaman, *rollmeter* untuk melakukan transek karang dan ikan karang, multi parameter untuk mengukur kedalaman, *secchi disk* untuk mengukur kecerahan, *Flouting droudge* untuk

mengukur kecepatan arus, kode pencatatan karang untuk mengidentifikasi struktur terumbu karang, buku identifikasi ikan karang untuk mengidentifikasi spesies ikan karang, GPS untuk mendapatkan posisi geografis, kamera digital bawah air untuk pemotretan kondisi eksisting di bawah air dan alat tulis.

Pengumpulan Data

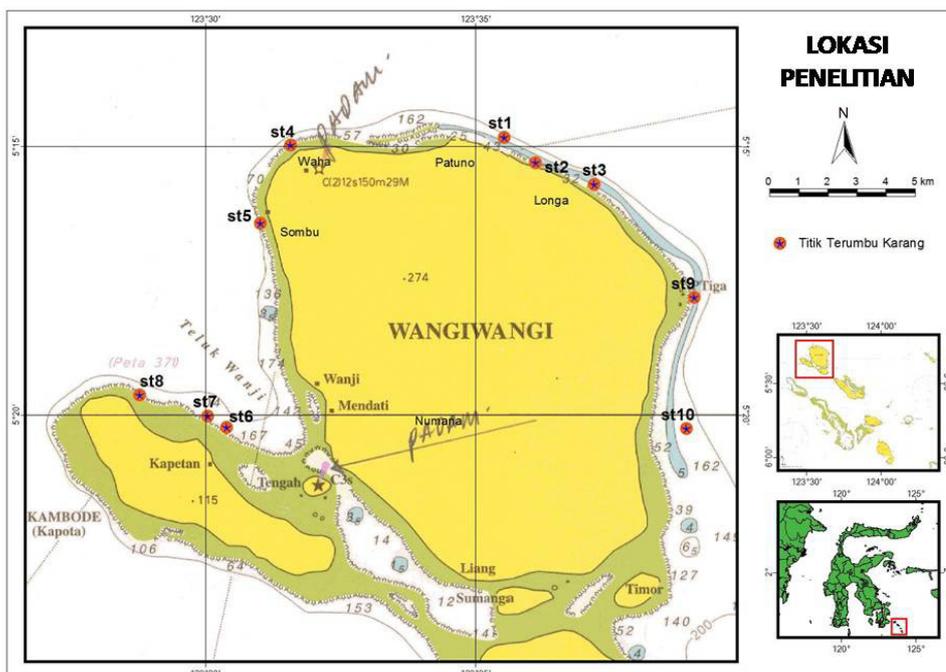
Data yang digunakan meliputi data sekunder dan data primer. Data primer diperoleh dengan cara melakukan survei dan observasi langsung di lapangan (Tabel 1). Data sekunder diperoleh dari Bappeda Kabupaten Wakatobi, Dinas Budaya dan Pariwisata Kabupaten Wakatobi, Dinas Tata Ruang Kabupaten Wakatobi, Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Kabupaten Wakatobi, Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Wakatobi, dan Balai Taman Nasional Wakatobi (Tabel 2). Dari data sekunder banyak diperoleh gambaran kondisi sosial, ekonomi, budaya, dan fisik yang terdapat di Pulau Wangi-wangi secara menyeluruh.

Analisis Data

Analisis data dilakukan dalam dua tahap yaitu:

Analisis Kesesuaian Kawasan (Spasial)

Analisis kesesuaian kawasan dilakukan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG), yaitu sistem informasi spasial berbasis komputer dengan melibatkan perangkat lunak *Arc GIS 9.3*. Pada analisis ini prinsipnya berupa basis data dari data



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

primer maupun data sekunder dengan data aktual tahun 2013 seperti data biologi, data fisik dan data oseanografi dapat dirumuskan berdasarkan parameter sumberdaya yaitu :

- a. Sumber daya Hayati
 - tutupan terumbu karang hidup
 - jenis terumbu karang
 - jenis ikan karang
- b. Sumber daya Non Hayati
 - kedalaman perairan atau batimetri
 - kecerahan perairan
 - kecepatan arus

Masing-masing komponen keruangan dijadikan peta tematik dengan skala 1 : 150.000, kemudian dioverlay-kan untuk mendapatkan peta komposit (peta hasil analisis dengan cara *overlay* antara seluruh tema

peta dalam penentuan kawasan wisata bahari Pulau Wangi-wangi yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan seperti terlihat pada Gambar 2.

Analisis Tabular

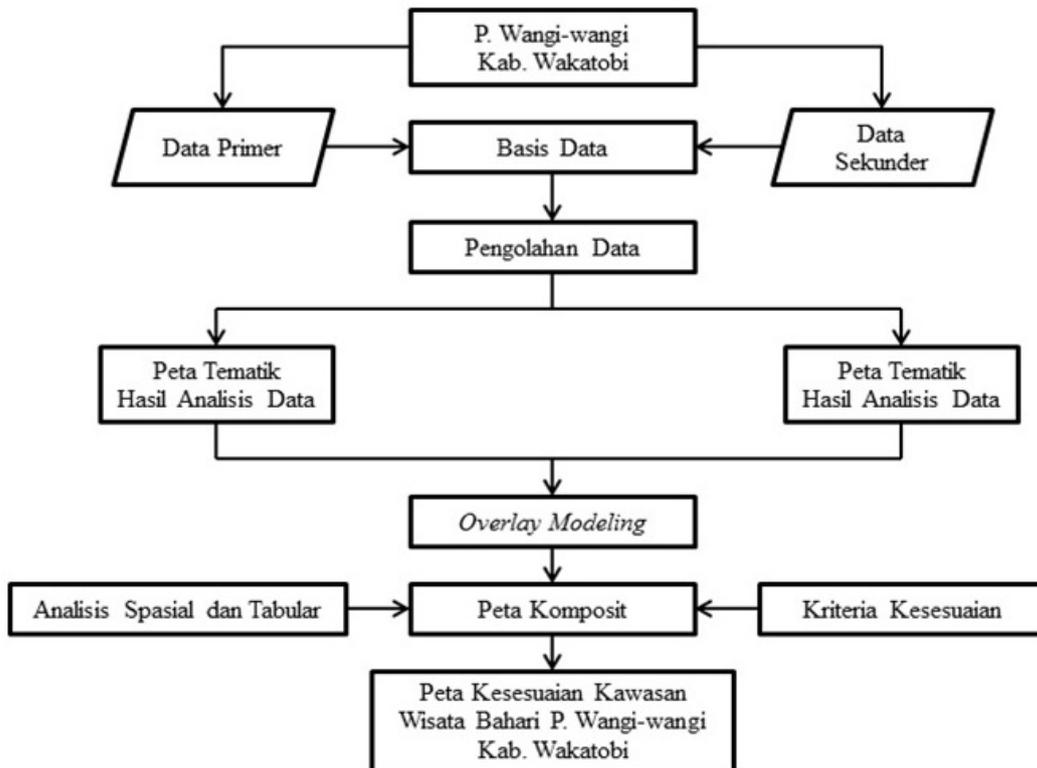
Kesesuaian adalah faktor-faktor pembatas ekologis bagi suatu peruntukan secara berkesinambungan, menurut Yulianda (2007) kelas kesesuaian wisata bahari terbagi kedalam 4 (empat) kelas, yaitu:

1. Sangat Sesuai (S1)
2. Sesuai (S2)
3. Sesuai Marginal (S3)
4. Tidak Sesuai (N)

Penentuan kesesuaian lahan untuk wisata bahari dilakukan dengan metode pembobotan. Parameter-

Tabel 1. Pengumpulan Data Primer

No.	Jenis Data	Teknik Pengumpulan	Alat yang digunakan
1.	Kecerahan perairan	Pengukuran	secchi disk untuk mengukur kecerahan perairan
2.	Tutupan terumbu karang hidup	Pengukuran	rollmeter untuk melakukan transek karang
3.	Jenis terumbu karang	Identifikasi	Kode pencatatan karang untuk mengidentifikasi struktur terumbu karang
4.	Jenis ikan karang	Identifikasi	Buku identifikasi ikan karang untuk mengidentifikasi spesies ikan karang
5.	Kecepatan arus	Pengukuran	Flouting droudge untuk mengukur kecepatan arus
6.	Kedalaman dasar laut	Pengukuran	Multi parameter untuk mengukur kedalaman



Gambar 2. Diagram Analisis Integrasi SIG Pada Kesesuaian Kawasan Untuk Wisata Bahari.

Tabel 2. Pengumpulan Data Sekunder

No.	Jenis Data Data Biofisik dan Oseanografi	Teknik Pengumpulan	Sumber Data
1.	RPJMD Kabupaten Wakatobi Tahun 2012 – 2016	Inventarisasi profil dasar daerah penelitian	BAPPEDA Wakatobi
2.	Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) 2012-2032 dan Dokumen Zonasi Taman Nasional format pdf		Dinas Tata Ruang
3.	Penyusunan Rencana Induk Pengembangan Pariwisata Kab. Wakatobi		Dinas Budaya dan Pariwisata Kabuapten Wakatobi
4.	Laporan Akhir Pemantauan Kondisi Sosial Ekonomi, Laporan Akhir Monitoring Kondisi Terumbu Karang di DPL Program COREMAP II Wakatobi, Buku Peta Kondisi Terumbu Karang di DPL Pengelolaan Sumberdaya Terumbu Karang Capaian Kegiatan dan Strategi Keberlanjutan Program Pasca Coremap II di Kab. Wakatobi Tahun 2006 – 2011		Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP)
5.	Wakatobi Dalam Angka Tahun 2006 – 2012		Badan Pusat Statistik (BPS)
6.	leaflet Zonasi Taman Nasional Wakatobi		Balai TN Wakatobi

parameter utama kesesuaian yang diperlukan untuk wisata bahari disajikan Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Tematik dalam penentuan kawasan wisata bahari Pulau Wangi-wangi

Peta tematik hasil analisis dalam penentuan kesesuaian kawasan wisata bahari dilakukan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG) yang masing-masing komponen keruangan dijadikan peta tematik dengan skala 1 : 150.000. Peta tematik berdasarkan parameter sumber daya seperti terlihat pada Gambar 3.

Matrik hasil analisis tabular penentuan kawasan wisata bahari

Hasil penentuan kesesuaian lahan untuk wisata bahari dilakukan dengan metode pembobotan seperti terlihat dalam Tabel 4. Kesesuaian kawasan yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan kesesuaian aktual (*actual suitability*), yang tingkat kesesuaiannya hanya didasarkan pada data yang tersedia dan belum mempertimbangkan asumsi atau usaha perbaikan serta tingkat pengelolaan yang dapat dilakukan untuk mengatasi berbagai kendala fisik atau faktor-faktor penghambat yang ada sehingga dapat mempengaruhi kelas kesesuaian wisata bahari.

Analisis Spasial Kesesuaian Kawasan Bahari

Dari hasil analisis kesesuaian kawasan secara

spasial, diperoleh bahwa untuk kawasan wisata bahari pada daerah penelitian, dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelas, yaitu: (1) kelas kesesuaian lahan dengan kategori S2 (Sesuai) dengan areal seluas 2.786,9 hektar (20,3%), dan (2) kelas kesesuaian lahan dengan kategori S3 (Sesuai Marginal) dengan areal seluas 2.229,9 hektar (16,3%) serta kawasan kesesuaian lahan wisata bahari yang belum mempunyai data dengan areal seluas 8.697,5 hektar (63,4%), seperti ditunjukkan dalam Tabel 5. Peta sebaran secara spasial kelas kesesuaian untuk kawasan wisata bahari dapat dilihat pada Gambar 4.

Kawasan Sesuai

Kawasan wisata bahari dengan kriteria sesuai (S2), yaitu hampir sebagian besar parameter biologi, fisik dan oseanografi yang dikaji pada kawasan tersebut sesuai untuk wisata bahari. Dari Tabel 5, serta penyajian secara spasial pada Gambar 4 diketahui bahwa kawasan yang sesuai merupakan daerah yang berada pada sepanjang pantai utara Pulau Wangi-wangi dan di utara Pulau Kapota dengan luas pengembangan 2.786,9 hektar atau 20,3%.

Di kawasan tersebut terumbu karang memiliki keanekaragaman karang tinggi, sebagian besar didominasi oleh *Coral Massive*, *Coral Encrusting*, *Coral Submassive*, *Acropora Branching*, dan *Soft Coral*, seperti terlihat pada Gambar 5. Di kawasan ini kelimpahan ikan juga tinggi. Jenis ikan karang yang mendominasi adalah dari *Famili Acanthuridae* dan *Pomacentridae*, dengan keseragaman yang tinggi, seperti terlihat pada Gambar 5.

Persentase tutupan terumbu karang yang sesuai untuk wisata bahari adalah berkisar antara 50-75%. Pengukuran persentase tutupan terumbu karang dengan menggunakan alat *rollmeter* untuk melakukan transek karang mendapatkan hasil pengukuran persentase tutupan terumbu karang di wilayah penelitian berkisar antara 54-60%. Persentase tutupan terumbu karang tertinggi terletak pada perairan depan desa Waha dan di utara Pulau Kapota dengan persentase yang sama besar yakni 60% termasuk dalam katagori baik. Disusul dengan di dekat perairan desa Sombu dengan persentase 54% dengan katagori baik.

Parameter lain yang menjadi pertimbangan untuk penentuan kawasan wisata bahari dengan kriteria sesuai (S2) adalah sebaran nilai turbiditas yang terukur secara *in situ* dan nilai kedalaman. Terlihat bahwa pada umumnya nilai turbiditas 0 NTU yang

menunjukkan *visibility* perairan sangat jernih. Adanya nilai turbiditas lebih banyak disebabkan karena terangkatnya substrat dasar (pasir) karena proses fisika dangkalnya perairan. Umumnya pada kedalaman 10 m nilai turbiditas rendah bahkan nilainya nihil atau nol. Pengukuran kecerahan di wilayah penelitian berkisar antara 80 -100 %, seluruh stasiun pengamatan jernih sehingga tampak dasar perairan baik berpasir putih ataupun paparan terumbu karang.

Kecepatan arus yang sesuai untuk wisata bahari adalah kecepatan arus berkisar antara 0,17 - 0,34 m/s. Pengukuran kecepatan arus dengan menggunakan alat pengukur arus (*current meter*) mendapatkan hasil pengukuran kecepatan arus di wilayah penelitian berkisar antara 0.08 – 0.14 m/s.

Tabel 3. Matriks Kesesuaian Kawasan Untuk Wisata Bahari

No	Parameter	Bobot	S1	Skor	S2	Skor	S3	Skor	N	Skor
1.	Kecerahan perairan(%)	10	>75	20	>50-75	18	>25-50	16	≤ 25	2
2.	Tutupan terumbu karang hidup(%)	8	>75	16	>50-75	14	>25-50	12	≤ 25	4
3.	Jenis terumbu karang(Sp)	8	>100	16	>75-100	14	>20-75	12	≤ 20	4
4.	Jenis ikan karang(Sp)	8	>70	16	>50-70	14	>20-50	12	≤ 20	4
5.	Kecepatan arus(m/det)	6	0-0,17	14	>0,17-0,34	12	>0,34-0,51	10	>0,51	2
6.	Kedalaman dasar laut(m)	6	>10-25	14	>5-10	12	>2-5	2	≤ 2	1
Total				86		84		64		17

Sumber Daya Hayati



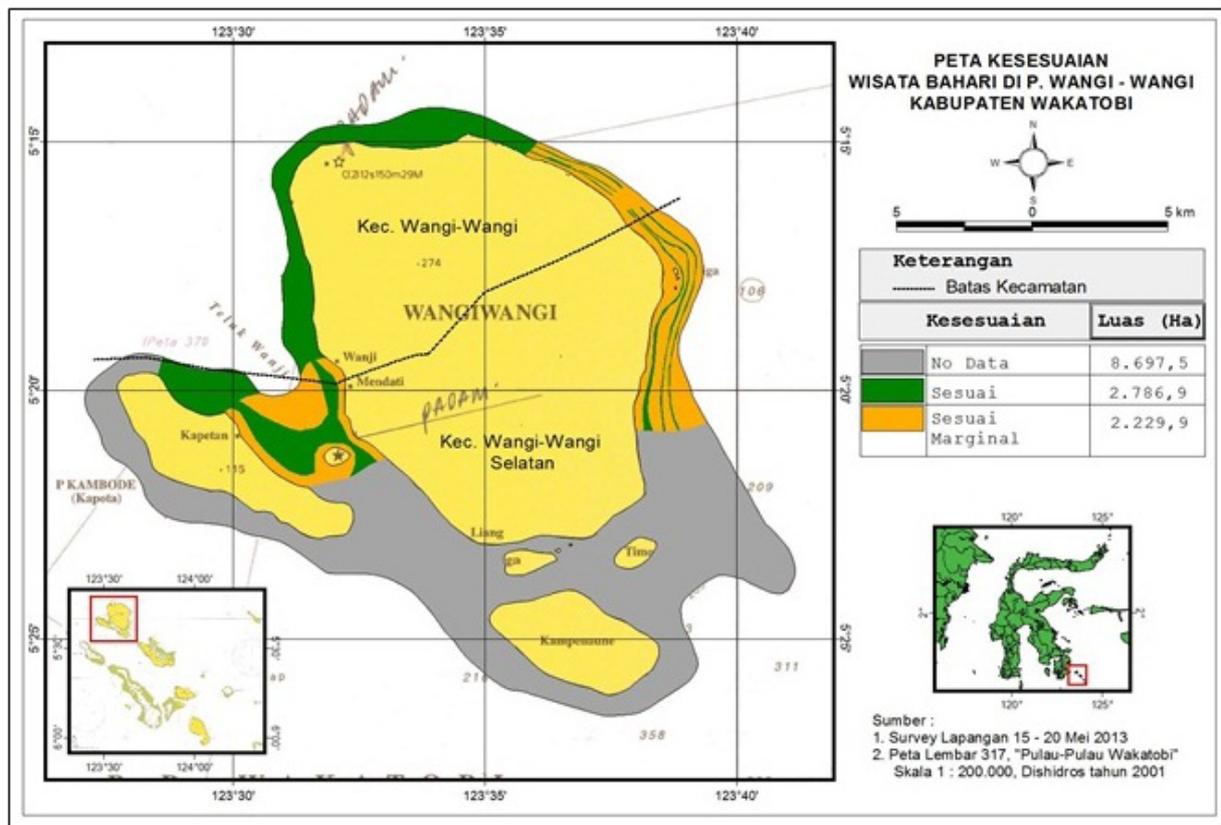
Sumber Daya Non Hayati



Gambar 3. Peta Tematik dalam penentuan kawasan wisata bahari.

Tabel 4. Matriks Hasil Kesesuaian Kawasan Untuk Wisata Bahari

Nomor Stasiun	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Parameter Kecerahan (%)	>75%	>75%	>75%	>75%	>75%	>75%	>75%	>75%	>75%
Kelas Kecerahan	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Skor Kecerahan	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2 Parameter Tutupan terumbu karang hidup (%)	33	23	78	74	55	62	33	23	30
Kelas Tutupan terumbu karang hidup	S3	N	S1	S2	S2	S2	S3	N	S3
Skor Tutupan terumbu karang hidup	12	4	16	14	14	14	12	4	12
3 Parameter Jenis terumbu karang (Sp)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Kelas Jenis terumbu karang	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Skor Jenis terumbu karang	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4 Parameter Jenis Ikan (Sp)	18	26	26	39	17	29	16	27	15
Kelas Jenis Ikan	N	S3	S3	S3	N	S3	N	S3	N
Skor Jenis Ikan	4	12	12	12	4	12	4	12	4
5 Parameter Kecepatan arus (m/det)	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17
Kelas Kecepatan arus	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Skor Kecepatan arus	14	14	14	14	14	14	14	14	14
6 Parameter Kedalaman (m)	9	9	10	10	10	10	10	9	9
Kelas Kedalaman	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
Skor Kedalaman	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Total Nilai Skor	52	52	64	62	54	62	52	52	52
Kelas Kesesuaian Wisata Bahari	S3 (Sesuai Marginal)	S3 (Sesuai Marginal)	S2 (Sesuai)	S2 (Sesuai)	S3 (Sesuai Marginal)	S2 (Sesuai)	S3 (Sesuai Marginal)	S3 (Sesuai Marginal)	S3 (Sesuai Marginal)



Gambar 4. Peta Kesesuaian Kawasan Untuk Wisata Bahari.

Kawasan Sesuai Marginal

Kawasan sesuai marginal (S3) merupakan lahan yang mempunyai faktor pembatas serius untuk wisata bahari, sehingga dalam pengelolaannya diperlukan tambahan input teknologi seperti tranplantasi terumbu karang. Hal ini berpengaruh terhadap produktivitas dan keuntungan yang diperoleh. Kawasan yang sesuai marginal (S3) tersebar di daerah yang sebagian besar berada di bagian timur Pulau Wangi-wangi (Gambar 4), dengan luas total mencapai 2.229,9 hektar atau 16,3%. Faktor pembatas utamanya adalah sebagian besar kawasan tersebut merupakan terumbu karang

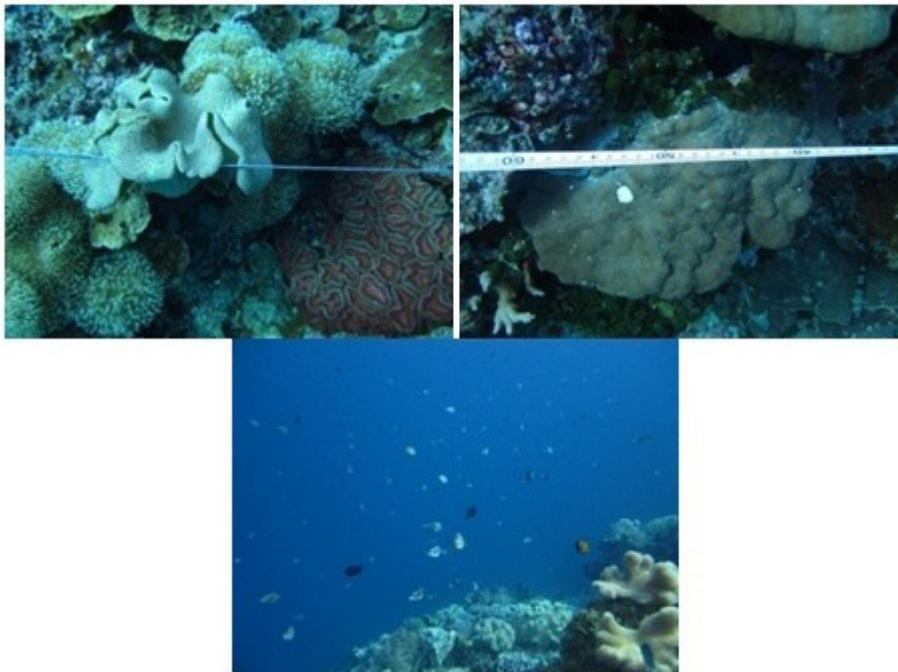
bertipekan terumbu tubir dengan arus dalam yang kuat dan lokasi bekas tempat pemboman ikan.

Terumbu karang bertipekan terumbu tubir dengan arus dalam yang kuat serta tutupan karang didominasi oleh R (*Rubble*) atau pecahan karang, karena pada kawasan ini pernah dilakukan pemboman ikan seperti terlihat pada Gambar 6. Terumbu karang jenis ini terdapat di wilayah Timur Pulau Wangi-wangi, di sekitar Pulau Tiga.

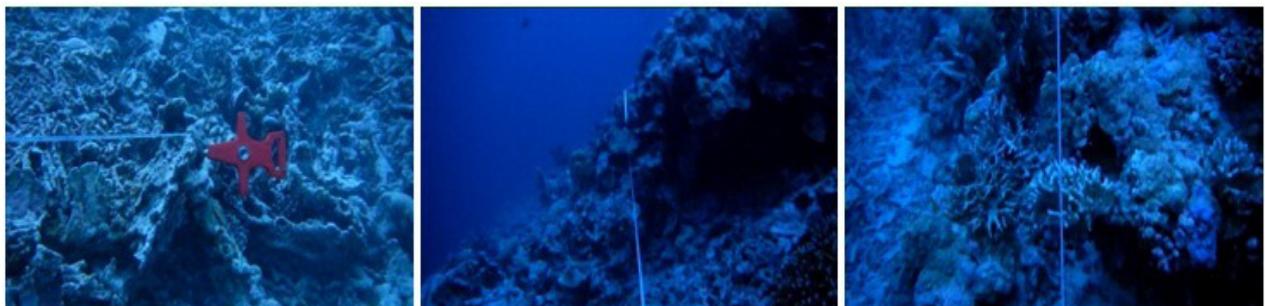
Oleh karena itu, dalam perencanaan pengembangan kawasan tersebut sebagai kawasan

Tabel 5. Luas Kawasan Kesesuaian Lahan Untuk Kawasan Wisata Bahari

No	Kelas Wisata Bahari	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Sesuai	2.786,9	20,3
2	Sesuai Marjinal	2.229,9	16,3
3	Tidak Ada Data	8.697,5	63,4
	Luas Keseluruhan	13.714,3	100,00



Gambar 5. Terumbu karang dan Ikan karang.



Gambar 6. Terumbu karang dan Ikan karang.

wisata bahari, diperlukan upaya pengamanan tambahan agar terumbu karang dan ikan karang yang hidup di kawasan tersebut terlindungi secara berkesinambungan. Hasil kajian kesesuaian spasial dengan teknologi Sistem Informasi Geografis di atas, selanjutnya harus mempertimbangkan dampak negatif yang akan ditimbulkan dari kegiatan wisata bahari tersebut.

Dampak negatif yang sering muncul adalah berupa sampah buangan wisatawan atau pengunjung terhadap perairan laut dan degradasi budaya yang dibawa oleh wisatawan yang datang ke kawasan tersebut.

KESIMPULAN

Di Pulau Wangi-wangi Kabupaten Wakatobi berhasil ditentukan kawasan yang sesuai untuk wisata bahari. Lokasi yang sesuai adalah di utara Pulau Wangi-wangi, Kecamatan Wangi-wangi dan di utara Pulau Kapota, Kecamatan Wangi-wangi Selatan dengan luas sekitar 2.786,9 hektar atau 20,3% dari luas total wilayah kawasan. Hasil analisis tabular kelas kesesuaian wisata bahari sesuai (S2) dengan nilai skor tertinggi yaitu sebesar 64 berada di stasiun 3. Penelitian ini hanya dikonsentrasikan pada bagian utara Pulau Wangi-wangi oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan di bagian selatan Pulau Wangi-wangi pada kawasan yang belum mempunyai data untuk menghasilkan data pengembangan pulau-pulau kecil untuk pengelolaan Wisata Bahari di seluruh wilayah Pulau Wangi-wangi.

PERSANTUNAN

Kami ucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, KKP atas bantuan dana untuk menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada kepala Loka Perekayasaan Teknologi Kelautan Wakatobi, P3TKP atas bantuan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2009). Kabupaten Wakatobi Dalam Angka Tahun 2009. Wanci: BPS Kabupaten Wakatobi.
- [Depbudpar] Departemen Kebudayaan dan Pariwisata. (2004). Peraturan Menteri Kebudayaan Dan Pariwisata
- Nomer: Km.67 / Um.001 /Mkp/ 2004 Tentang Pedoman Umum Pengembangan Pariwisata Di Pulau-Pulau Kecil.

[PRWLSDNH] Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Nonhayati. (2002). Kajian Pengembangan Ekowisata Bahari. Jakarta: Badan Riset Kelautan dan Perikanan, DKP.

Ayiful, R.A. (2004). Strategi Pengembangan Kegiatan Pariwisata Di Taman Nasional Kepulauan Wakatobi Sulawesi Tenggara. Tugas Akhir, Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota. FT-UNDIP. Semarang.

Balai Taman Nasional Wakatobi. (2011). Informasi Taman Nasional Wakatobi. <http://www.dephut.go.id/files/Wakatobi.pdf> (Di akses 11 maret 2011).

Rangka, N.A. & Paena, M. (2012). Potensi Dan Kesesuaian Lahan Budidaya Rumput Laut (*Kappaphycus Alvarezii*) di Sekitar Perairan Kab. Wakatobi Prov. Sulawesi Tenggara. J. Ilmiah Perikanan dan Kelautan, 4 (2): 151-159

Yulianda, F. (2007). Makalah Ekowisata Bahari Sebagai Alternatif Pemanfaatan Sumberdaya Pesisir Berbasis Konservasi. Bogor: Seminar Sains Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan FPIK-IPB. 21 Februari.

<http://www.wakatobi.info/> (diakses tanggal 31 Oktober 2012).

http://id.wikipedia.org/wiki/Kabupaten_Wakatobi/ (diakses tanggal 31 Oktober 2012)

RESPON SPEKTRUM DESAIN PADA LOKASI TEMPAT EVAKUASI SEMENTARA TSUNAMI DI KOTA PARIAMAN

Lestari Cendikia Dewi¹⁾, Joko Prihantono¹⁾, Dini Purbani¹⁾ & Mulyo Harris Pradono²⁾

¹⁾Peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Balitbang KP-KKP

²⁾Pusat Teknologi Sumberdaya Lahan, Wilayah dan Mitigasi Bencana-BPPT

Diterima tanggal: 5 Januari 2014; Diterima setelah perbaikan: 27 Agustus 2014; Disetujui terbit tanggal 26 September 2014

ABSTRAK

Kota Pariaman di Sumatra Barat termasuk ke dalam zona bahaya gempa dan tsunami. Kota ini hanya memiliki 12 Tempat Evakuasi Sementara (TES) tsunami yang belum mampu mengakomodasi semua permukiman di zona rawan tsunami. Penelitian tentang penentuan lokasi TES tambahan telah dilakukan dan menghasilkan 21 buah lokasi usulan menurut metode *network analysis*. TES tersebut berada di sepanjang pesisir Kota Pariaman yang rawan tsunami. Sehingga TES mutlak bersifat tahan gempa dan tsunami. Pembangunan TES yang tahan gempa membutuhkan informasi percepatan puncak di permukaan tanah. Penelitian ini ditujukan untuk menentukan respon spektrum desain yaitu percepatan puncak di permukaan tanah untuk berbagai periode alami pada lokasi TES yang diusulkan. Penelitian dilakukan pada 2013 dengan wilayah studi 0°33'00" - 0°40'43" LS dan 100°10'33" - 100°10'55" BT. Data yang digunakan adalah lokasi TES usulan hasil penelitian dari literatur. Data kecepatan gelombang geser rata-rata setebal 30 m dari permukaan tanah digunakan untuk menentukan jenis tanah. Data percepatan puncak di batuan dasar diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia Tahun 2010. Perhitungan respon spektrum desain dilakukan dengan menggunakan aplikasi dari laman. Hasil menunjukkan bahwa semua TES yang diusulkan berada di atas jenis tanah sedang. Percepatan puncak di permukaan tanah mencapai maksimum dengan nilai antara 0,841 – 0,866 g. Respon spektrum desain di semua TES usulan menunjukkan kemiripan karena berada di atas jenis tanah yang sama yaitu tanah sedang dan memiliki nilai percepatan puncak di batuan dasar yang tidak jauh berbeda.

Kata kunci: gempa, tsunami, Tempat Evakuasi Sementara, percepatan puncak di permukaan tanah

ABSTRACT

Pariaman City in West Sumatera Province is classified as earthquake and tsunami hazard zone. This city only has 12 tsunami Temporary Evacuation Site (TES), which is not able to accommodate all settlements in tsunami hazard zone. Research on determining the location of an additional TES was performed and it produced 21 TES based on the network analysis method. Since the proposed TES is located along Pariaman City which hazardous to tsunami, then TES should resist to earthquake and tsunami. The construction of earthquake resisted TES needs a peak ground acceleration (PGA) information of the site. This research is aimed to determine design spectral response that peak acceleration on land surface for several natural periode in the proposed TES location. This research was done in 2013 with the study area 0° 33'00" S - 0°40'43" S and 100°10'33" - 100°10'55" E. The data that was used in this research is the proposed TES location from literatur. The average of the shear wave velocity 30 meters depth from the land surface was used for classifying the soil. PGA at the base rock was obtained from the Indonesia earthquake hazard map 2010. Design spectral response calculation was done by using application from web page. The result shows that all the proposed TES located on stiff soil type. PGA reach maximum in range value between 0.841 – 0.866 g. Design spectral response at all the proposed TES shows similarity because those are located on same soil type that is stiff soil and the PGA at base rock are not much different.

Keywords: earthquake, tsunami Temporary Evacuation Site, Peak Ground Acceleration

PENDAHULUAN

Sumatra Barat termasuk ke dalam zona bahaya gempa dan tsunami tingkat tinggi. Hal ini terjadi karena Sumatra Barat relatif dekat dengan zona subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia, dan Sesar Besar Sumatra (*Sumatera Fault Zone*). Studi tingkat bahaya gempa telah dilakukan oleh Prihantono *et. al.* (2013) menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dalam menentukan percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun. Hasil studi tersebut menyatakan bahwa Sumatra Barat memiliki tingkat bahaya gempa yang tinggi dengan percepatan puncak di batuan dasar sebesar 0,1 – 1,25 g (Prihantono *et. al.*, 2013). Studi lain menyebutkan percepatan puncak di batuan dasar pada periode

ulang 500 tahun di wilayah Propinsi Sumatra Barat adalah dalam kisaran 0,2 – 0,35 g (Delfebiyadi, 2009). Sengara *et al.* (2009) menjelaskan bahwa untuk periode ulang 475 tahun, percepatan puncak di batuan dasar berkisar 0,36 – 0,38 g berpotensi terjadi di sepanjang pesisir Sumatra Barat, sementara sepanjang Sesar Besar Sumatra mencapai 0,5 – 0,7 g.

Fakta sejarah menyebutkan bahwa pada 1797 terjadi gempa (Mw 8,4) diikuti tsunami di Mentawai (Sieh, 2006). Gempa yang diikuti tsunami tersebut dikhawatirkan datang kembali dalam waktu dekat karena setelah gempa dan tsunami Aceh 2004 terjadi migrasi akumulasi *strain* ke arah selatan (Sieh, 2006). Hal ini terbukti dengan terjadinya gempa Nias pada 2005. Kekhawatiran ini seyogyanya ditindaklanjuti

Korespondensi Penulis:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: ciwi_lcd@yahoo.co.id

dengan persiapan menghadapi bencana gempa dan tsunami.

Kesiapsiagaan bencana gempa bumi dan tsunami di Sumatera Barat kini sudah mulai dilakukan. Namun pelaksanaannya belum optimal di beberapa wilayah seperti Kota Pariaman. Kota ini memiliki 12 Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang hanya bisa dijangkau oleh sebagian kecil permukiman rawan tsunami (Purbani *et al.*, 2014). Karena itu Purbani *et al.* (2014) melakukan studi penentuan lokasi Tempat Evakuasi Sementara tsunami di Kota Pariaman menggunakan metode *network analysis*. Metode ini memperhitungkan kemampuan manula mengevakuasi diri selama 12 menit yaitu mencapai 541 m dengan memperhatikan jaringan jalan dan konsentrasi permukiman (Purbani *et al.*, 2014). Hasil studi menyatakan bahwa Kota Pariaman membutuhkan 21 Tempat Evakuasi Sementara tambahan yang dapat dijangkau dari permukiman rawan tsunami (Purbani *et al.*, 2014).

Tempat Evakuasi Sementara (TES) merupakan tempat pertama bagi penduduk untuk menyelamatkan diri dari terjangan tsunami selama bencana terjadi, yaitu hanya beberapa jam. Setelah itu, korban dipindahkan ke Tempat Evakuasi Akhir selama beberapa hari. Tempat Evakuasi Sementara (TES) selayaknya bisa dijangkau dari permukiman rawan tsunami dan karena itulah TES berada di zona rawan tsunami. Bangunan ini mutlak bersifat tahan gempa dan tsunami. Struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila dilanda gempa, bukan struktur yang semata-mata (dalam perencanaan) sudah diperhitungkan dengan beban gempa (Tjokrodimulyo, 2007 dalam Hariyanto, 2011). Pembangunan struktur tahan gempa membutuhkan informasi mengenai percepatan puncak di permukaan tanah. Percepatan puncak di permukaan tanah merupakan nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat akibat getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu (Zeia, 2009). Studi ini menindaklanjuti penelitian Purbani *et al.* (2014) dengan tujuan menentukan percepatan puncak di permukaan tanah pada berbagai periode alami untuk kebutuhan gedung TES tahan gempa.

METODE PENELITIAN

Waktu, tempat dan data

Studi ini dilakukan pada 2013 dengan wilayah studi Kota Pariaman. Kota Pariaman terletak di Propinsi Sumatera Barat dengan batas wilayah administratif 0°33'00'' - 0°40'43''LS dan 100°10'33'' - 100°10'55'' BT (Pemerintah Kota Pariaman, 2010). Data yang digunakan adalah data sekunder berupa 21 lokasi Tempat Evakuasi Sementara berdasarkan hasil penelitian Purbani *et al.* (2014). Selain itu data kecepatan rambat gelombang geser rata-rata setebal 30 m dari permukaan tanah (Vs30) digunakan untuk penentuan jenis tanah (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Data sekunder ini diperoleh dari *United State Geological Survey* (USGS, 2013). Data lainnya adalah percepatan puncak di batuan dasar untuk setiap lokasi Tempat Evakuasi Sementara yang diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

Klasifikasi jenis tanah

Klasifikasi jenis tanah dilakukan menurut kecepatan gelombang geser rata-rata pada tanah setebal 30 m dari permukaan (Vs30) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Pada dasarnya semakin keras suatu material tanah, maka kecepatan gelombang geser yang melaluinya semakin besar. Data yang diperoleh dari USGS di wilayah studi berjumlah 180 berupa lokasi dan nilai Vs30. Data tersebut diinterpolasi linier pada 21 lokasi Tempat Evakuasi Sementara (TES). Selanjutnya jenis tanah di 21 lokasi tersebut diklasifikasikan berdasarkan pada kisaran nilai Vs30 sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

Respon spektrum desain

Respon spektrum adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Dalam studi ini respon maksimum berupa variabel percepatan guncangan maksimum di permukaan tanah yang

Tabel 1. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan Vs30

Jenis Tanah	Vs30 (m/s)
Batuan keras	$Vs30 \geq 1500$
Batuan	$750 < Vs30 \leq 1500$
Tanah sangat padat dan batuan lunak	$350 < Vs30 \leq 750$
Tanah sedang	$175 < Vs30 \leq 350$
Tanah lunak	$Vs30 < 175$

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010.

dinyatakan dalam g (percepatan gravitasi). Respon spektrum percepatan di permukaan tanah untuk periode pendek (SMS) dan periode 1 s (SM1) diperoleh dari perkalian antara koefisien amplifikasi untuk periode pendek (Fa) dan periode 1 s (Fv) dengan spektrum percepatan di batuan dasar untuk periode pendek (Ss) dan periode 1 s (S1) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Nilai percepatan puncak di batuan dasar baik periode pendek maupun periode 1 s diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Secara matematis hubungan di atas ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots 1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots 2)$$

Koefisien amplifikasi untuk periode pendek (Fa) dan periode 1 s (Fv) ditentukan menurut jenis tanah dan percepatan puncak di batuan dasar sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2 dan 3 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

Respon spektrum desain merupakan skenario percepatan puncak di permukaan tanah untuk berbagai periode alami akibat suatu guncangan. Respon spektrum desain untuk periode pendek (SDS) dan periode 1 s (SD1) masing-masing diperoleh dengan perkalian antara SMS dan SM1 dengan konstanta redaman, μ . Indonesia menggunakan nilai $\mu = 2/3$ tahun. Secara matematis hubungan tersebut diberikan oleh persamaan (3) dan (4) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

$$S_{DS} = \mu S_{MS} \dots\dots\dots 3)$$

$$S_{D1} = \mu S_{M1} \dots\dots\dots 4)$$

Respon spektrum desain (Sa) di permukaan tanah untuk setiap periode alami (T) ditentukan oleh persamaan (5) – (9) dengan kurva ditunjukkan oleh Gambar 1 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right), T < T_0 \dots\dots\dots 5)$$

$$S_a = S_{DS1} \quad T_0 \leq 0 \leq T_s \dots\dots\dots 6)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}, T > T_s \dots\dots\dots 7)$$

$$T_0 = 0,2 T_s \dots\dots\dots 8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots 9)$$

Bangunan tahan gempa harus bisa mengakomodir spektrum respon desain di permukaan tanah di bawahnya. Perhitungan respon spektrum desain ini menggunakan alat berupa aplikasi dari laman Puslitbang Cipta Karya Kemenentrian Pekerjaan Umum (PU, 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada 2002 pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum telah mengeluarkan Peta *Hazard* Gempa Indonesia untuk keperluan tata cara perencanaan ketahanan gempa pada Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2002). Peta tersebut kemudian diganti dengan dikeluarkannya Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010 sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan infrastruktur tahan gempa. Dalam hal struktur tahan tsunami, pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009 tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami (Kementerian Pekerjaan Umum, 2009). Dengan demikian perencanaan bangunan Tempat Evakuasi Sementara tahan gempa dalam studi ini mengacu pada Peta *Hazard* Indonesia Tahun 2010.

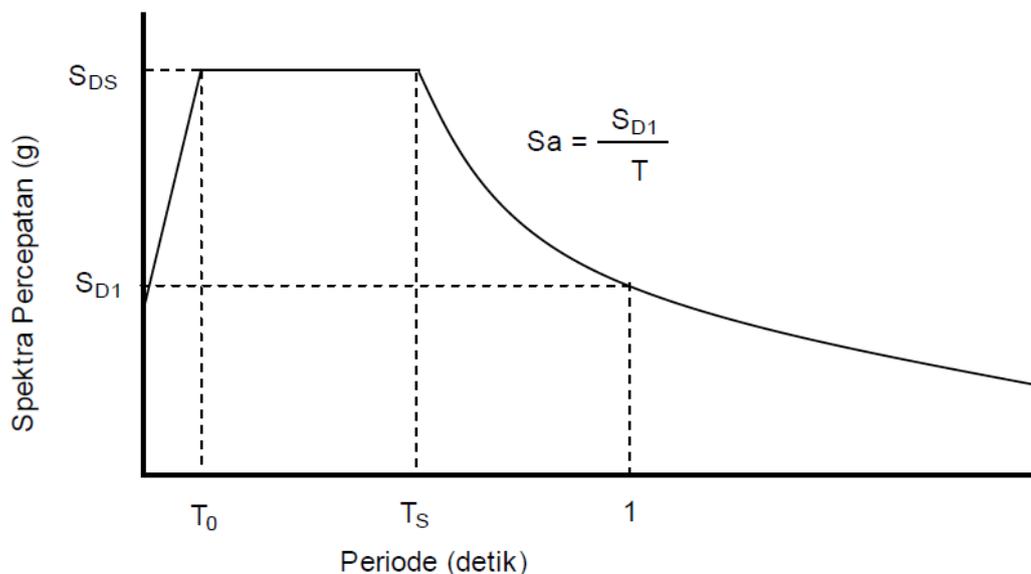
Karakteristik gempa bumi yang diperlukan untuk mendesain struktur tahan gempa adalah nilai percepatan puncak gempa, nilai kecepatan puncak gempa, nilai perpindahan tanah maksimum, durasi gempa dan frekuensi gempa (ITB, 2011). Pada penelitian ini karakter gempa yang di pilih adalah percepatan puncak gempa di batuan dasar yang dikonversikan ke percepatan puncak di permukaan tanah. Variabel ini diwujudkan dalam bentuk respon spektrum desain.

Respon spektrum desain bergantung pada jenis

Tabel 2. Koefisien amplifikasi periode pendek, Fa

Jenis Tanah	Ss (g)				
	≤0,25	0,5	0,75	1	≥1,25
Batuan keras	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah sangat padat dan batuan lunak	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010.



Gambar 1. Respon spektrum desain untuk berbagai periode dari periode nol, T_0 , T_S , 1 s dst. Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010

Tabel 3. Koefisien amplifikasi periode 1 s, F_v .

Jenis Tanah	S1 (g)				
	≤0,1	0,2	0,3	0,4	≥0,5
Batuan keras	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah sangat padat dan batuan lunak	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010.

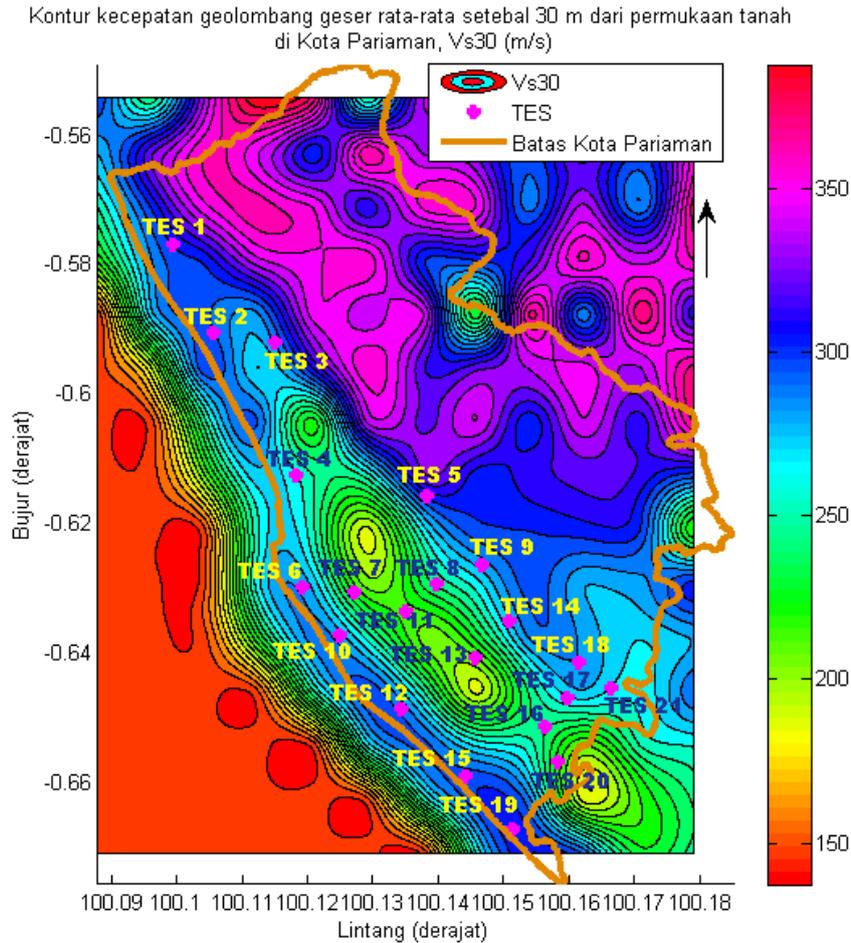
tanah dan percepatan maksimum di batuan dasar (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010). Semakin padat tanah maka nilai percepatan tanah maksimum semakin kecil (Hadi *et al.* 2012). Hasil interpolasi linier dari kecepatan gelombang geser rata-rata setebal 30 m dari permukaan tanah ditunjukkan oleh Gambar 2. Garis tebal berwarna coklat merupakan batas administrasi Kota Pariaman dengan pesisir yang menghadap Samudera Indonesia berada di barat daya. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin ke barat daya nilai Vs30 semakin rendah yang berarti jenis tanah semakin lunak. Semakin ke timur laut nilai Vs30 semakin tinggi yang berarti jenis tanah semakin keras. Hal ini sesuai dengan keadaan di Kota Pariaman yaitu bagian barat daya merupakan daerah pesisir yang memiliki tanah semakin lunak. Sedangkan di bagian timur laut Kota Pariaman mendekati bukit barisan dengan tanah yang semakin keras.

Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang diusulkan oleh Purbani *et al.* (2014), selanjutnya disebut TES, yaitu TES 1 – TES 21 menyebar di sepanjang pesisir dari barat laut sampai tenggara. Pada kontur Vs30 terlihat bahwa lokasi TES berada pada kisaran

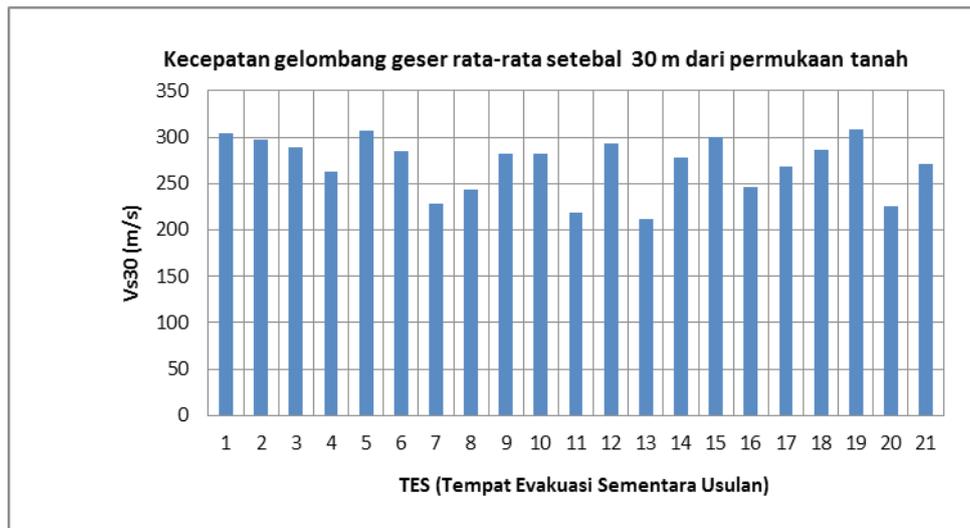
warna hijau sampai ungu muda. Pada Gambar 3 diperlihatkan hasil interpolasi linier nilai Vs30 di setiap TES. Kisaran nilai Vs30 pada semua lokasi TES usulan adalah 200 m/s - 350 m/s. Nilai Vs30 tertinggi berada pada tanah di atas TES 19, dengan nilai mendekati 308,6514 m/s. Dari Tabel 1 dapat ditarik kesimpulan bahwa semua TES usulan, yaitu TES 1 – TES 21 berlokasi di tipe tanah sedang. Kesimpulan ini berguna untuk menentukan koefisien amplifikasi spektrum percepatan di batuan dasar yang nilainya tergantung pada jenis tanah sesuai Tabel 2 dan Tabel 3.

Hasil respon spektrum desain di permukaan tanah untuk setiap lokasi TES ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada gambar tersebut ditunjukkan percepatan puncak di permukaan tanah monoton naik dari periode nol sampai di bawah periode T_0 . Percepatan puncak ini mencapai maksimum pada periode T_0 sampai T_S dengan nilai tetap yaitu SDS. Kemudian Percepatan puncak di permukaan tanah menurun di atas periode T_S .

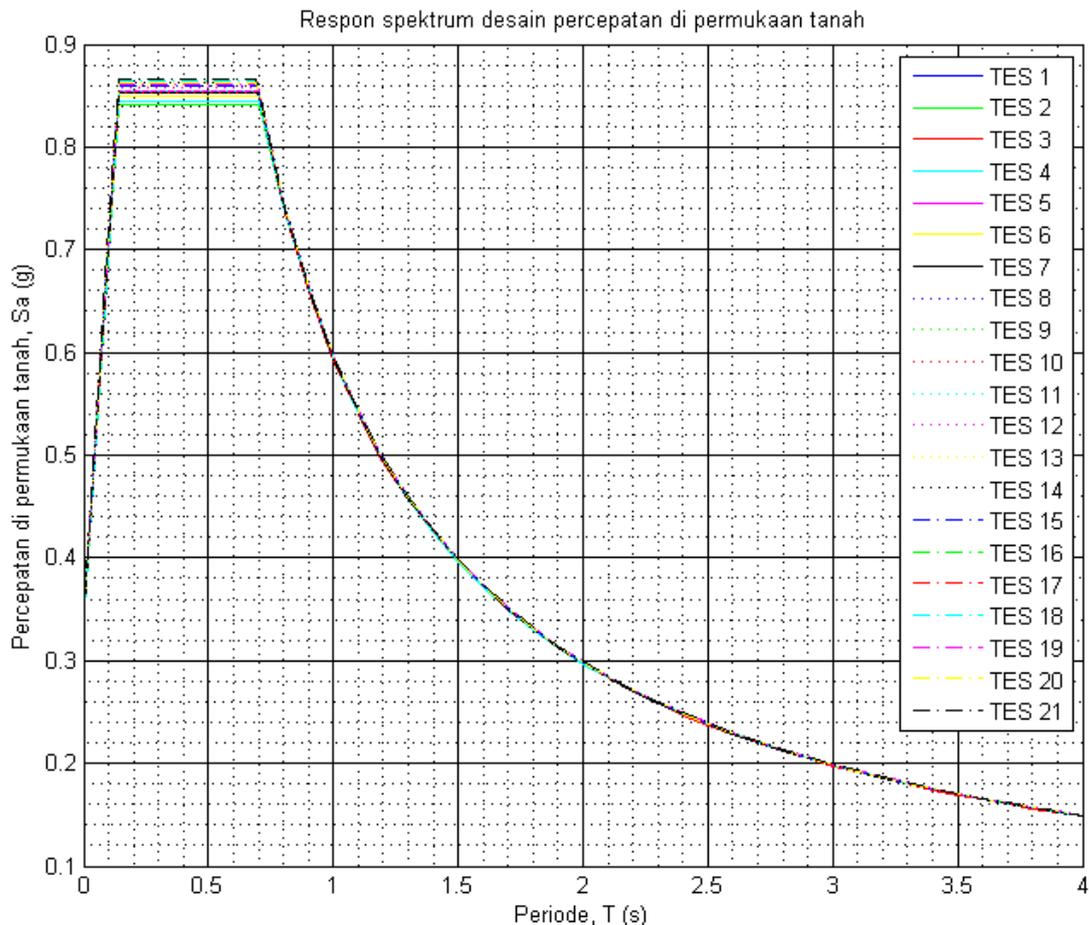
Percepatan puncak di permukaan tanah pada periode $T = 0$ memiliki nilai antara 0,3364 – 0,3464 g.



Gambar 2. Kontur kecepatan gelombang geser rata-rata setebal 30 m dari permukaan tanah (Vs30) di wilayah studi. Warna menunjukkan nilai Vs30. Bintang ungu muda (*) menunjukkan lokasi Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang diusulkan hasil penelitian Purbani, *et al.* (2014) dengan notasi TES 1 – TES 21. Garis tebal berwarna coklat menunjukkan batas administrasi Kota Pariaman.



Gambar 3. Kecepatan gelombang geser rata-rata setebal 30 m dari permukaan tanah (Vs30) di lokasi Tempat Evakuasi Sementara, yaitu TES 1 – TES 21.



Gambar 4. Respon spektrum desain pada permukaan tanah di lokasi Tempat Evakuasi Sementara (TES) untuk TES 1 – TES 21.

Nilai maksimum percepatan puncak pada $T = 0$ berada pada lokasi TES 21, sedangkan nilai minimumnya berada pada lokasi TES 1. Percepatan puncak di permukaan tanah mencapai maksimum (SDS) antara periode T_0 dan T_S yaitu dengan kisaran nilai 0,841 – 0,866 g. Nilai SDS tertinggi berada pada lokasi TES 21, sedangkan SDS terendah berada di lokasi TES 1. Pada periode $T = 1$ s, nilai percepatan puncak di permukaan tanah (SD1) memiliki kisaran nilai 0,593 – 0,598 g. Nilai SD1 tertinggi berada di lokasi TES 21 dan TES 19, sedangkan SD1 terendah berada di lokasi TES 1, TES 2 dan TES 3.

Hasil perhitungan respon spektrum desain di 21 lokasi Tempat Evakuasi Sementara yang diusulkan di Kota Pariaman menunjukkan kemiripan, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4. Hal ini terjadi karena semua lokasi Tempat Evakuasi Sementara relatif berdekatan dengan nilai percepatan puncak di batuan dasar yang tidak jauh berbeda. Selain itu, semua TES usulan ini berada pada lokasi dengan jenis tanah yang sama yaitu tanah sedang. Sehingga nilai amplifikasi percepatan puncak memiliki kemiripan bergantung

pada percepatan puncak di batuan dasar yang memiliki variasi kecil di semua lokasi TES.

KESIMPULAN

Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang diusulkan Purbani *et al.* (2014) berada di sepanjang pesisir dengan respon spektrum desain yang memiliki kemiripan. Percepatan puncak di permukaan tanah mencapai maksimum dengan nilai antara 0,841 – 0,866 g. Kemiripan ini terjadi karena 21 TES tersebut berada pada lokasi dengan jenis tanah yang sama yaitu tanah sedang dan memiliki nilai percepatan puncak di batuan dasar yang tidak jauh berbeda.

SARAN

Informasi Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang diusulkan oleh Purbani *et al.* (2014) dengan dilengkapi oleh hasil penelitian ini berupa respon spektrum desain diharapkan dapat ditindaklanjuti oleh pihak pemangku kepentingan untuk pembangunan TES yang tahan gempa. Penelitian ini sebaiknya dilanjutkan dengan

penelitian dalam pembuatan desain bangunan tahan gempa dan tahan tsunami yang mempertimbangkan hasil respon spektrum desain ini.

PERSANTUNAN

Penulis menghaturkan terimakasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir atas dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Data Vs30

(<http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/predefined.php> diakses 23 Mei 2013)

Delfebriyadi. (2009). Peta Respons Spektrum Provinsi Sumatera Barat untuk Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Andalas*. Vol: 16. No: 2.

Desain Spektra Indonesia

(http://puskim.pu.go.id/desain_spektra_indonesia_2011/. diakses 25 Mei 2013)

Hadi, A. I., Farid, M. & Fauzi, Y. (2012). Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Kerentanan Seismik Akibat Gempa Bumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu. *Simetri, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia*. Vol: 1. No: 2(D).

Hariyanto, Agus. (2011). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum. Tesis. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 89 hlm.

ITB, (2011). *Rekayasa Kegempaan*. Bandung: Penerbit ITB. 190 hlm.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI 03 1726 2002*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2009). *Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Peta Hazard Gempa Indonesia sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum. 22 hlm.

Pemerintah Kota Pariaman. (2010). *Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pariaman 2010-1030*. Pariaman: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Pariaman. 183 hlm.

Prihantono, J., Guntur, P., Purbani, D., Dewi, L. C., & Bramawanto, R. (2013). *Studi Bahaya Guncangan Tanah Menggunakan Metode Probabilistik Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi Di Pesisir Propinsi Sumatera Barat*. Segara.

Purbani, D., Ardiyansyah, Dewi, L. C., Prihantono, J., & Bramawanto, R. (2014). *Penentuan Tempat Evakuasi Sementara (TES) Dan Tempat Evakuasi Akhir (TEA) Untuk Gempa Bumi Dan Tsunami Dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis, Kota Pariaman Propinsi Sumatera Barat*. Segara.

Sengara, I. W., Sukamdo, P., Suhinda, T., Putra, H.G. & Hakam, A. (2009). *Seismic Hazard Zoning for West Sumatera and Microzonation of City of Padang*. *Proceedings of the International Symposium on Geoinformatics and Zoning for Hazard Mapping*. In Kyoto Tersa 2 – 4 December, 2009, Kyoto Japan.

Sieh, Kerry. (2006). *Sumatran Megathrust Earthquakes: from Science to Saving Lives*. The Royal Society. *Philosophical Transactions. Mathematical Physical & Engineering Sciences*. Vol 364. No. 1845. *Extreme Natural Hazards*. Pp 1947-1963. Pu

Zeia, Tati. (2009). *Penentuan Percepatan Maksimum Permukaan Tanah di Daerah Jawa Barat dengan Metode Mc. Guirre R.K.*. Ilmu dan Budaya.

KETENTUAN CARA PENGIRIMAN NASKAH UNTUK JURNAL SEGARA

Jenis Naskah

Jenis Naskah yang dapat dimuat di Jurnal Segara adalah :

- Naskah hasil penelitian maupun kajian konseptual yang berkaitan dengan Kelautan Indonesia yang dilakukan oleh para peneliti, akademisi, mahasiswa, maupun pemerhati permasalahan kelautan baik dari dalam dan luar negeri.
- Naskah yang berisikan hasil-hasil penelitian di bidang pengembangan ilmu oseanografi, akustik dan instrumentasi kelautan, inderaja, kewilayahan, sumberdaya nonhayati, energi, arkeologi bawah air dan lingkungan.

Bentuk Naskah

Naskah tulisan dapat dikirim dalam bentuk :

- Naskah tercetak di atas kertas A4, dengan jumlah halaman 10 – 15 halaman. Ditulis dengan menggunakan aplikasi MS.Word dengan spasi ganda, jenis font Arial, ukuran huruf 10.
 - Naskah dapat ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, dengan ketentuan, bila naskah ditulis dalam bahasa Indonesia, maka abstrak harus ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia. Bila naskah ditulis dalam bahasa Inggris, abstrak ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia.
 - Abstrak merupakan ringkasan penelitian dan tidak lebih dari 250 kata. Kata kunci (3-5 kata) harus ada dan mengacu pada *Agrovoca*.
 - Materi naskah disusun mengikuti kaidah umum dan tidak mengikat, namun harus berisikan latar belakang masalah yang membahas hasil penelitian terdahulu, teori singkat yang mendukung, metode yang digunakan, analisis, dan kesimpulan.
 - Apabila terdapat istilah asing maka istilah tersebut perlu ditulis dengan abjad miring (*Italic*). Gambar (foto ilustrasi, grafik, statistik) dan tabel.
 - Judul tabel ditulis di atas tabel.
 - Apabila terdapat gambar berupa grafik, statistik, peta atau foto, maka judul dari gambar tersebut harus ditulis dibawah.
 - Kesimpulan disajikan secara singkat dengan mempertimbangkan judul naskah, maksud dan tujuan, serta hasil penelitian.
- Referensi
- Referensi dari Jurnal lain ditulis seperti :
Nama, Tahun, "judul Makalah", Nama jurnal, Volume, Nomor, halaman.
 - Referensi dari buku ditulis seperti: Nama, Tahun, "Judul Buku", Penerbit.
 - Gelar dari nama penulis tidak perlu dicantumkan.
 - Pengutipan sumber tertulis tercetak mengikuti sistem *Harvard*, yaitu menuliskannya di antara tanda kurung nama (belakang) penulisan yang diacu, titik dua, & halaman acuan yang dikutip, setelah akhir kalimat kutipan pada batang tubuh karangan, contoh seperti di bawah ini :
.....(Gordon,et al.2003:12)
.....(Holt, 1967 : 11)

Metode Penilaian dan Pengiriman Naskah

- Redaksi tidak membatasi waktu pengiriman makalah, semua makalah akan dinilai oleh editor/penyunting ahli dengan format penilaian yang telah ditetapkan oleh dewan editor. Hasil penilaian dari editor/penyunting ahli akan diolah oleh dewan editor dan dikembalikan ke penulis untuk diperbaiki kembali.
- Agar makalah dapat dimuat, penulis diharapkan dapat menyerahkan makalah yang telah direvisi sebelum tanggal yang ditentukan.
- Makalah di atas dapat langsung dikirim dalam bentuk file dan *print out* ke Redaksi Jurnal Segara yang bertempat di kantor Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, dengan alamat : Jalan Pasir Putih 1 Ancol Timur Jakarta utara 14430 atau kirim ke alamat e-mail : jurnal.segara@gmail.com.

Jurnal Segara

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan
Kementerian Kelautan dan Perikanan

ISSN 1907-0659



9 771907 065966