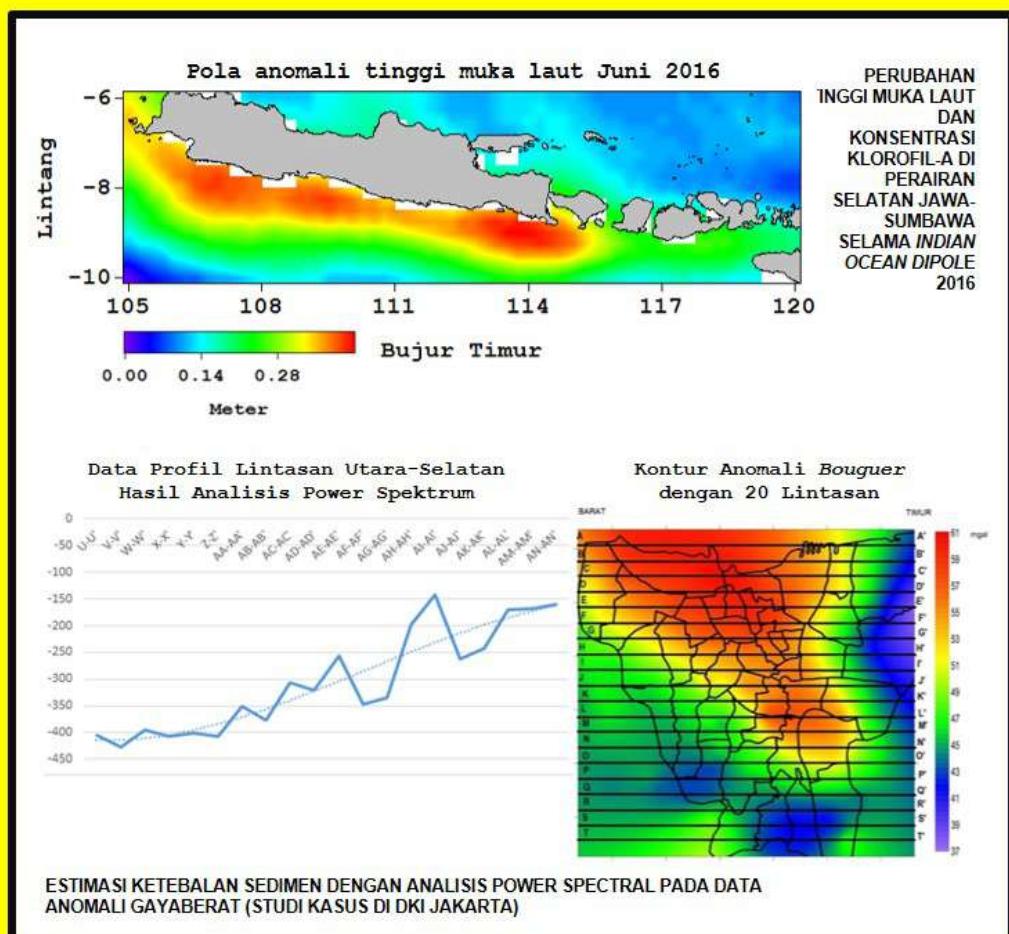


GEOMATIKA

Vol. 23 No. 2, November 2017



Geomatika diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data menghasilkan informasi Geospasial Dasar, antara lain mencakup bidang-bidang Ilmu Kebumian (Geodesi, Geologi, Geografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis dan Batas Wilayah. Pernyataan penulis dalam artikel yang dimuat pada majalah ini merupakan pendapat individu penulis bukan pendapat penerbit.

Jurnal terbit 2 kali setiap tahun, 2 nomor 1 volume, bulan **Mei dan November**.

Pengarah:

Kepala Badan Informasi Geospasial

Penanggung Jawab:

Kepala Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama

Mitra Bestari :

Nama :
Prof. Dr. Sobar Sutisna
Dr. Dina Anggreni Sarsito, MT
Heri Sutanta, M.Sc, Ph.D
Dr. Yudo Prasetyo
Dr. Abdul Basith
Leni Sophia, M.Sc, D.Sc
Dr. Ahmad Riqqi
Dr. Wiwin Windupranata
Nurrochmat Widjajanti, M.Sc, Ph.D
Dr. Dwi Lestari

Kepakaran :
Geodesi Batas Wilayah
Geodinamika dan Geodesi Fisik
SIG
Penginderaan Jauh - SIG
Geodesi Kelautan
Geodesi Fisik
Inderaja, SIG
Survey Hidrografi
Geodesi
Geodesi dan Geodinamika

Instansi :
UNHAN
ITB
UGM
UNDIP
UGM
UGM
ITB
ITB
UGM
UGM

Dewan Editor:

Nama :
Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Dr. Ibnu Sofian
Dadan Ramdani, M.T
Dr. Jonson Lumban-Gaol

Jabatan
Ketua Dewan Editor
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi :
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial

Redaktur Pelaksana:

Nama :
Lalitya Narieswari, M.Sc
Florence Elfriede Silalahi, ST
Nadya Oktaviani, ST
Agung Syetiawan, ST
Danang Budi Susetyo, ST
Mochamad Irwan Hariyono, ST
Prayudha Hartanto, ST, MT
Fahrul Hidayat, ST
Ayu Nur Safii
Yustisi Ardhitasari
Utami Yulaila

Instansi :
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial

Ketua Redaksi
Copy Editor
Copy Editor
Administrator
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Lay Out & Desain Grafis
Proof Reader
Proof Reader
Sirkulasi

Alamat Redaksi:

Sekretariat Redaksi Geomatika
Geung S, Lt. 1 Badan Informasi Geospasial (BIG)
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: jurnal.geomatika@big.go.id
Website : www.big.go.id; Geoportal : <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM>

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	ix
PENGANTAR REDAKSI	xiii
PEMANTAUAN AREA GENANGAN AIR PADA RAWA LEBAK MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH	
<i>(The Use of Remote sensing for Monitoring of Inundation Area on fresh Swampland)</i>	
Muchamad Wahyu Trinugroho dan Mawardi	
Balai Penelitian Agroklimat Dan Hidrologi	49-56
PERUBAHAN TINGGI MUKA LAUT DAN KONSENTRASI KLOROFIL-A DI PERAIRAN SELATAN JAWA-SUMBAWA SELAMA INDIAN OCEAN DIPOLE 2016	
<i>(Change of Sea Surface Height and Chlorophyll-a Concentration In The Southern Waters Of Jawa- Sumbawa During Indian Ocean Dipole 2016)</i>	
Martono	
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN.....	57-64
ESTIMASI KETEBALAN SEDIMEN DENGAN ANALISIS POWER SPECTRAL PADA DATA ANOMALI GAYA BERAT, STUDI KASUS DI JAKARTA	
<i>(Estimation of Sediment Thickness Using Power Spectral Analysis of Gravity Data, Case Study Capital Region of Jakarta)</i>	
Mila Apriani, Mahmud Yusuf, Admiral Musa Julius, Damianus Tri Heryanto dan Agus Marsono	
Pusat Gempa Bumi dab Tsunami BMKG.....	65-74
PENENTUAN JENIS CITRA SATELIT DALAM INTERPRETASI LUASAN EKOSISTEM LAMUN MENGGUNAKAN PENGOLAHAN ALGORITMA CAHAYA TAMPAK (STUDI KASUS: WILAYAH PESISIR SANUR)	
<i>(Determination Of Satellite Imagery To Interpret Seagrass Ecosystem Area By Using Visible Wavelength Algorithm Processing</i>	
<i>(Case Study: Sanur Coast Area)</i>	
Resha Chistian Yanuar , Rizki Hanintyo, dan Anggi Afif Muzaki	
Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Surya.....	75-86
PENDEKATAN METODE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) DAN LYZENGA UNTUK PEMETAAN SEBARAN EKOSISTEM PERAIRAN DI KAWASAN PESISIR TELUK BENOA-BALI	
<i>(Approach of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Lyzenga Method for Waters Ecosystem Distribution Mapping in the Coastal Region of Benoa Bay-Bali)</i>	
Aprizon Putra, Try Al Tanto, Aulia Riza Farhan, Semeidi Husrin, dan Widodo S Pranowo	
Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM KP.....	87-94

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2017
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 551.482 Trinugroho (Balai Penelitian Agroklimat Dan Hidrologi) Pemantauan Area Genangan Air pada Rawa Lebak Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh <i>JI Geomatika</i> November, Vol 23 No 2, Hal 49-56</p> <p>Tujuan kajian ini menyajikan teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk memantau area genangan secara temporal selama 4 tahun dari tahun 2010-2013. Hasil yang diperoleh menunjukkan kondisi maksimum area genangan pada tahun 2012, sedang trend yang terjadi penurunan luas genangan dalam periode tersebut. Disamping itu genangan air <i>maximum</i> mencapai 27% (45.053,24 ha) dari total tutupan lahan yang berada di Kabupaten Hulu Sungai Selatan. Sedangkan genangan <i>minimum</i> pada tahun 2013 dengan prosentase sebesar 0,04% (7.904,88 ha).</p> <p style="text-align: right;"><i>(Trinugroho)</i></p> <p>Kata Kunci: genangan, penginderaan jauh, rawa lebak</p>	<p>DDC 551.468 Martono (Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN) Perubahan Tinggi Muka Laut dan Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa-Sumbawa Selama Indian Ocean Dipole 2016 <i>JI Geomatika</i> November Vol 23 No 2, Hal 57-64</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa selama kejadian Indian Ocean Dipole 2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama kejadian Indian Ocean Dipole 2016 terjadi kenaikan tinggi muka laut di perairan ini. Dampak kenaikan tinggi muka laut menyebabkan konsentrasi klorofil-a yang ditandai dengan anomaly negative.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Martono)</i></p> <p>Kata Kunci: perubahan, tinggi muka laut, Indian Ocean Dipole, Klorofil-a</p>
<p>DDC 551.303 Apriani (Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG) Estimasi Ketebalan Sedimen dengan Analisis Power Spectral pada Data Anomali Gaya Berat <i>Geomatika</i> November Vol 23 No 2, Hal 65-74</p> <p>Tujuan penelitian untuk mengetahui kedalaman sumber anomali yang bersesuaian dengan ketebalan sedimen. Data yang digunakan berupa data gaya berat dari BMKG tahun 2014 dengan 197 lokasi titik pengukuran yang tersebar di koordinat 6,08°-106,97° BT. Dengan menggunakan transformasi <i>Fourier</i> menunjukkan bahwa ketebalan sedimen di Jakarta dari arah selatan ke utara semakin besar, di sekitar Babakan 92 meter, sekitar Tongkol, Jakarta utara diperkirakan 331 meter.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Apriani)</i></p> <p>Kata Kunci: <i>Power Spectral</i>, anomali gayaberat, ketebalan sedimen</p>	<p>DDC 551.42 Yanuar (Universitas Surya) Penentuan Jenis Citra Satelit Dalam Interpretasi Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Pengolahan Algoritma Cahaya Tampak <i>Geomatika</i> November, Vol 23 No 2, Hal 75-86</p> <p>Algoritma Lyzenga digunakan untuk mengolah nilai piksel yang ada pada citra satelit Landsat-8 dan Sentinel-2. Aplikasi algoritma Lyzenga akan menghasilkan nilai yang menunjukkan identitas dari objek yang terdapat di perairan pesisir. Hasil tersebut kemudian diproses melalui pengelasan terbimbing dengan dilakukannya pemotongan kerapatan dalam rentangan Lyzenga, yang kemudian dihitung akurasinya.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Yanuar)</i></p> <p>Kata kunci: perhitungan akurasi, lyzenga, citra sentinel-2, citra landsat, ekosistem lamun</p>

DDC 551.42
Putra (Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan
Pesisir)
Pendekatan Metode Normalized Difference Vegetation
Index (Ndvi) Dan Lyzenga Untuk Pemetaan Sebaran
Ekosistem Perairan
Geomatika Mei, Vol 23 No 2, Hal 87-94

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan
sebaran ekosistem pesisir seperti mangrove dan
terumbu karang menggunakan citra SPOT-6 tahun
2006, 2012 dan 2015 serta citra Landsat 7 ETM+ tahun
1997. Metode untuk laju perubahan didapat dari
analisis secara tumpang susun (*overlay*) menggunakan
Sistem Informasi Geografis (SIG).

(Putra)

Kata kunci: perubahan, ekosistem pesisir, NDVI,
lyzenga, teluk benoa

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2017
<p>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</p>	
<p>DDC 551.482 Trinugroho (Balai Penelitian Agroklimat Dan Hidrologi) <i>The Use of Remote sensing for Monitoring of Inundation Area on fresh Swampland</i> <i>JI Geomatika</i> Mei, Vol 23 No 2, Hal 49-56</p> <p><i>This study aims to presents a temporary inundation of inundation areas for 4 years from 2010-2013 by using remote sensing and Geographical Information System techniques. The delineation of the inundation area is interpreted visually by Geographic Information System (GIS) tool. The results show the maximum condition in 2012, while the trend of decreasing the inundation area in the period. In addition, maximum inundation area reached 27 % of land cover, minimum result of 0.04 % at 2013 of year.</i></p> <p style="text-align: right;">(Trinugroho)</p> <p>Keywords: inundation, remote sensing, fresh swampland</p>	<p>DDC 551.468 Martono (Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN) Perubahan Tinggi Muka Laut dan Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa-Sumbawa Selama Indian Ocean Dipole 2016 <i>JI Geomatika</i> November Vol 23 No 2, Hal 57-64</p> <p><i>This study was conducted to understand sea surface height change in the southern waters of Java, Bali-Lombok-Sumbawa during Indian Ocean Dipole 2016 event. Data used consist of dipole mode index, daily sea surface height, monthly chlorophyll-a concentration and petad geostrophic current. The highest decrease of chlorophyll-a concentration occurred in the southern waters of Java reached -1,02 mg/m³, in the southern waters of Bali reached -0,74mg/m³ and in the southern waters of Lombok-Sumbawa reached -0,35mg/m³</i></p> <p style="text-align: right;">(Martono)</p> <p>Keywords: change, sea surface height, Indian Ocean Dipole, chlorophyll-a</p>
<p>DDC 551.303 Apriani (Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG) Estimasi Ketebalan Sedimen dengan Analisis Power Spectral pada Data Anomali Gaya Berat <i>Geomatika</i> November Vol 23 No 2, Hal 65-74</p> <p><i>An analysis of gravity anomaly data of DKI Jakarta area to know the depth of anomaly source which corresponds to the thickness of sediment. The data used in the form of gravity data from BMKG 2014 with 197 location of measurement points spread in coordinates 106.68°-106,97° E. The result of the research using Fourier transform method shows that the thickness of the sediment in Jakarta from south to north is getting bigger, in Babakan the thickness of the sediment is around 92 meter, in Tongkol, North Jakarta is around 331 meter.</i></p> <p style="text-align: right;">(Apriani)</p> <p>Keywords: Power Spectral, gravity anomaly, sediment thickness</p>	<p>DDC 551.42 Yanuar (Universitas Surya) <i>Determination Of Satellite Imagery To Interpret Seagrass Ecosystem Area By Using Visible Wavelength Algorithm Processing (Case Study: Sanur Coast Area)</i> <i>Geomatika</i> November Vol 23 No 2, Hal 75-86</p> <p><i>Lyzenga algorithm was used in this research to extract the pixel value on Landsat-8 and Sentinel-2 imageries. The process of applied Lyzenga algorithm will reveal the identities of water objects. The result was classified by using supervised density slicing method, and then its accuracy be calculated.</i></p> <p style="text-align: right;">(Yanuar)</p> <p>Keywords: accuracy assessment, Lyzenga, Sentinel-2 imagery, Landsat imagery, seagrass ecosystem</p>

DDC 551.42
Putra (Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan
Pesisir)

*Approach of Normalized Difference Vegetation Index
(NDVI) and Lyzenga Method for Waters Ecosystem
Distribution Mapping*

Geomatika November, Vol 23 No 2, Hal 87-94

*This research is to know the changing of coastal
ecosystems like mangrove and coral reef using SPOT-6
imagery of 2006, 2012, 2015, and Landsat 7
ETM+1997. Method for change rate is obtained from
overlay analysis using Geographic Information System
(GIS).*

(Putra)

*Keywords: change, coastal ecosystem, NDVI,
lyzenga, benoa bay*

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Jurnal Ilmiah Geomatika (JIG) Volume 23 No. 2 November 2017 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat hasil penelitian yang berguna dan sesuai perkembangan di bidang Informasi Geospasial Dasar, melalui riset dan teknologi survei pemetaan dalam bidang-bidang ilmu kebumian, teknologi *global navigation satellite system* (GNSS), penginderaan jauh, sistem informasi geografis, batas wilayah dan lain-lain.

Jurnal Ilmiah Geomatika (JIG) Volume 23 No. 2 November 2017 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Balai Penelitian Agroklimat Dan Hidrologi, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN, Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG, Universitas Surya dan Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir. Penelitian pertama menyajikan teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk memantau area genangan secara temporal selama 4 tahun dari tahun 2010-2013. Penelitian kedua bertujuan untuk mengetahui perubahan tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa selama kejadian Indian Ocean Dipole 2016. Penelitian ketiga Tujuan penelitian untuk mengetahui kedalaman sumber anomali yang bersesuaian dengan ketebalan sedimen. Data yang digunakan berupa data gaya berat dari BMKG tahun 2014 dengan 197 lokasi titik pengukuran yang tersebar di koordinat $6,08^{\circ}$ - $106,97^{\circ}$ BT. Penelitian keempat menunjukkan identitas dari objek yang terdapat di perairan pesisir. Hasil tersebut kemudian diproses melalui pengelasan terbimbing dengan dilakukannya pemotongan kerapatan dalam rentangan Lyzenga, yang kemudian dihitung akurasinya. Penelitian kelima berujuan untuk mengetahui perubahan sebaran ekosistem pesisir seperti mangrove dan terumbu karang menggunakan citra SPOT-6 tahun 2006, 2012 dan 2015 serta citra Landsat 7 ETM+ tahun 1997. Metode untuk laju perubahan didapat dari analisis secara tumpang susun (*overlay*) menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Redaksi mengucapkan terimakasih atas kontribusi para penulis, editor, mitra bestari, dan berbagai pihak sehingga edisi ini dapat diterbitkan. Juga kepada pembaca yang budiman, kami harapkan saran dan kritik serta sumbangan pemikiran untuk perbaikan dan kemajuan Jurnal Ilmiah Geomatika (JIG) ini kedepan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, November 2017

Redaksi

PEMANTAUAN AREA GENANGAN AIR PADA RAWA LEBAK MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH

(*The Use of Remote sensing for Monitoring of Inundation Area on fresh Swampland*)

Muchamad Wahyu Trinugroho¹ dan Mawardi²

Balai Penelitian Agroklimat Dan Hidrologi¹

Balai Penelitian Lahan Rawa²

Jalan Tentara Pelajar No.1A, Ciwaringin, Bogor Tengah, Kota Bogor

E-mail: wahyubyl2@gmail.com

Diterima (received): 15 Agustus 2017; Direvisi (revised): 17 Oktober 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 21 November 2017

ABSTRAK

Karakteristik hidrologis lahan rawa lebak yang dinamis menuntut penyajian data secara spasial yang luas dan cepat. Sedangkan melakukan survei terestris akan membutuhkan waktu lama dengan biaya tinggi. Pemantauan secara berlanjut penting dilakukan untuk strategi dalam pengelolaan lahan rawa baik untuk budidaya pertanian, perikanan maupun penanganan bencana banjir. Tujuan kajian ini adalah menyajikan teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk memantau area genangan secara temporal selama 4 tahun dari tahun 2010-2013. Citra satelit Landsat digunakan untuk mendapatkan gambaran lokasi secara *on top*. Teknik interpretasi secara visual dilakukan untuk mendelineasi genangan air. Koreksi sensor SLC – off pada citra dilakukan untuk mendapatkan tampilan secara visual yang optimal tanpa ada gangguan gap. Delineasi area genangan berdasarkan interpretasi secara visual di kombinasikan dengan teknik Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil yang diperoleh menunjukkan kondisi maksimum area genangan pada tahun 2012, sedang trend yang terjadi penurunan luas genangan dalam periode tersebut. Disamping itu genangan air *maximum* mencapai 27% (45.053,24 ha) dari total tutupan lahan yang berada di Kabupaten Hulu Sungai Selatan. Sedangkan genangan *minimum* pada tahun 2013 dengan prosentase sebesar 0,04% (7.904,88 ha). Faktor curah hujan mempunyai hubungan linear dengan luas genangan yang terjadi. Informasi tersebut berguna bagi pemangku kepentingan terutama ketika genangan surut untuk budidaya lahan pertanian.

Kata kunci: genangan, penginderaan jauh, rawa lebak

ABSTRACT

The hydrological character of the dynamic swampland land is challenging to the spatial data presentation widely and quickly. However, terrestrial survey takes long time and non-economical. Continuous monitoring is vital to strategic planning management in swampland. This study aims to presents a temporary inundation of inundation areas for 4 years from 2010-2013 by using remote sensing and Geographical Information System techniques. Landsat satellite images are used to get an overview of the location in the field. SLC - off sensor correction on image is done to get optimal visual appearance. The delineation of the inundation area is interpreted visually by Geographic Information System (GIS) tool. The results show the maximum condition in 2012, while the trend of decreasing the inundation area in the period. In addition, maximum inundation area reached 27 % of land cover, minimum result of 0.04 % at 2013 of year. Rainfall factor has a linear relationship with the extent of inundation occur. The information is useful for stakeholders.

Keywords: inundation, remote sensing, fresh swampland

PENDAHULUAN

Rawa lebak adalah merupakan lahan tanah berbentuk cekungan dengan karakteristik pada musim hujan seluruhnya digenangi air. Sedang, pada musim kemarau air tersebut berangsurgansur kering atau bahkan menjadi kering sama sekali dalam masa yang relatif singkat (1-2 bulan) (Widjaja-Adhi *et al.*, 1992). Negara Indonesia mempunyai lahan rawa lebak yang luas. Lahan tersebut tersebar dari pulau Sumatera, Kalimantan, Papua. Luas daerah rawa di

Indonesia mencapai 33,28 juta ha dengan 10,8 juta ha diantaranya merupakan lahan rawa yang potensial untuk pertanian dan 22,48 juta ha tidak cocok untuk pertanian. Lahan rawa yang potensial untuk pertanian terdiri dari 8,44 juta ha rawa pasang surut, dan 2,36 juta ha rawa lebak (Badan Pusat Statistik, 2011). Pada rawa pasang surut, sebesar 65% di antaranya atau seluas 5,49 juta ha sudah direklamasi. Sementara pada rawa lebak yang sudah direklamasi sebesar 57% atau 1,35 juta ha (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013). Lahan Rawa lebak merupakan salah satu

alternatif areal yang dapat dikembangkan untuk mengatasi kebutuhan pangan yang terus meningkat, seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya alih fungsi lahan setiap tahun. Menurut Noor, Syarifudin, dan Muslihat (2007) kekhasan dan keunikan Agroekosistem rawa lebak dalam hal sifat, ciri dan watak dibandingkan dengan agroekosistem lainnya. Karakter unik tersebut dipengaruhi faktor sifat genangan dan tanahnya yang spesifik. Bentang lahan (*landscape*) wilayah rawa lebak sendiri meliputi wilayah tanggul sungai, dataran banjir (*floodplain*) sampai lahan burit (*hinterland*), termasuk sebagian wilayah rawa pedalaman atau rawa belakang (*back swamp*).

Masalah utama pengembangan lahan rawa lebak untuk usaha pertanian adalah kondisi air yang fluktuatif dan sering tidak terduga, hidrotopografi yang beragam dan belum tertata dengan baik (Waluyo *et.al.*, 2008). Bencana terjadi baik pada musim hujan dan musim kering. Kebanjiran pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Pemetaan mengenai biofisik diperlukan untuk deteksi awal. Permasalahan yang dihadapi adalah pekerjaan yang tidak mudah dalam survei lapangan dengan kondisi pada saat genangan tinggi. Perlu biaya yang besar dan waktu yang tidak singkat untuk melakukan survei terestris (Suwargana, 2008). Aplikasi penginderaan jauh memberikan informasi tentang sumberdaya lahan dan air secara teratur dan periodik. Salah satu keuntungan dari data citra satelit untuk deteksi dan inventarisasi sumberdaya lahan pertanian adalah setiap lembar (*scene*) citra ini mencakup wilayah yang sangat luas yaitu sekitar 60–180 km² (Martono, 2008). Data citra satelit dalam bentuk digital memberi kemudahan dalam analisa dengan komputer secara kuantitatif dan konsisten. Dengan teknologi penginderaan jauh, survei lapangan dapat dikurangi, sehingga akan menghemat waktu dan biaya bila dibanding dengan cara terestris di lapangan. Pemanfaatan teknologi Inderaja di Indonesia perlu lebih dikembangkan dan diaplikasikan untuk mendukung efisiensi pelaksanaan inventarisasi sumberdaya lahan/tanah dan identifikasi penyebaran karakteristik lahan pertanian (lahan sawah, lahan kering, lahan rawa, lahan tidur, lahan kritis, estimasi produksi) terutama pada wilayah yang berpotensi untuk menjadi sentra pangan. Keragaman itulah yang menjadi alasan mengapa survei tersebut sangat minim dilakukan. Terobosan yang dilakukan adalah kombinasi antara teknologi penginderaan jauh dengan survei terestris. Penginderaan jauh dilakukan untuk pemantauan dengan menggunakan citra satelit, sedangkan survei lapangan dilakukan untuk mengecek citra satelit tersebut.

Tujuan kajian ini adalah melakukan pemantauan area genangan air secara temporal dengan teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis.

METODE

Penelitian dilakukan rentang tahun 2010–2013 di sebagian besar Kabupaten Hulu Sungai Selatan serta sebagian Hulu Sungai Utara dan Tengah provinsi Kalimantan Selatan, yang terdiri dari 12 kecamatan. Daerah tersebut merupakan rawa lebak, yang terletak pada koordinat 2° 2' LS-3° 0' LS, 114° 40' – 115° 20' sesuai yang ditunjukkan oleh **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Kajian.

Citra Landsat 7 diunduh melalui website <http://glovis.usgs.gov>, periode dari tahun 2010–2013 dengan liputan awan paling sedikit serta kurang dari 10%. Citra satelit ini dipilih dengan pertimbangan non komersil, perekaman data yang tidak terlalu lama (16 hari perekaman) serta dengan liputan cukup luas, 185 X 185 km². Data diperoleh dengan mengkombinasikan tanggal perekaman yang berbeda untuk mengantisipasi liputan awan yang kemungkinan menutupi area kajian. Pengolahan citra dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *GIS (Arc GIS 9.2)*, sekaligus untuk mendelineasi area genangan. Koreksi radiometrik dilakukan untuk mendapatkan kesesuaian saluran panjang gelombang dengan penampilan secara visual. Koreksi geometrik citra tidak dilakukan dikarenakan untuk citra *Landsat 7* sudah *tergeoreference* dengan sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* dengan datum *World Geographic Sistem 84*. Dikarenakan citra landsat mempunyai gap hitam (*SLC OFF*) akibat dari gangguan sensor, maka perlu dilakukan koreksi sehingga lebih mudah untuk dilakukan analisis. Kemudian dipilih kombinasi tiga saluran panjang gelombang (*band*) terbaik untuk mendapatkan penampakan yang sesuai untuk pengamatan unsur air. Penajaman citra dilakukan untuk mempermudah dalam melakukan interpretasi objek pada citra. Interpretasi citra dilakukan secara visual berdasarkan prinsip

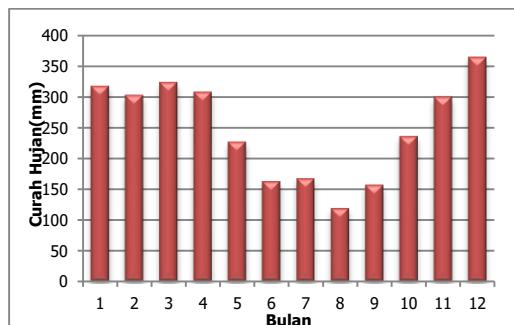
interpretasi citra (warna dan tone) dan peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 50.000 untuk membantu dalam interpretasi. Dikarenakan keterbatasan stasiun di lokasi baik secara panjang data dan distribusinya, maka data curah hujan bulanan dengan menggunakan data *Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)* dari tahun 2010 sampai 2013, yang diunduh melalui website http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V7.3B43.2.shtml. Data *TRMM* memberikan informasi curah hujan setiap tiga jam dengan resolusi spasial 27 km. Aplikasi data *TRMM* telah banyak diaplikasikan untuk menganalisis berbagai bencana diantaranya banjir dan longsor (Naranjo,2007). Analisis *trend linear* dilakukan untuk melihat kecenderungan dari hasil delineasi secara menyeluruh pada kurun waktu empat tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lokasi

Kondisi lahan di daerah penelitian memiliki topografi datar (lereng 0-3%) dengan ketinggian berkisar 11–35 m di atas permukaan laut. Kondisi curah hujan berdasarkan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah daerah rawa lebak Kalimantan Selatan termasuk beriklim basah dengan jumlah curah hujan rata-rata 2986,40 mm/th, bulan kering ($CH < 60$ mm) selama 2 bulan dan bulan basah ($CH > 100$ mm) selama 8 bulan. Menurut klasifikasi *Oldeman* iklim rawa lebak lokasi penelitian termasuk Zona B, sedangkan menurut *Schmit* dan *Ferguson* termasuk tipe A. Musim hujan dimulai pada bulan Oktober sampai maret dengan puncak hujan pada bulan Desember dan Januari.

Hujan menjadi faktor utama yang mempengaruhi kondisi hidrologis di daerah rawa lebak, kondisi air cenderung statis dengan kondisi topografi yang cenderung datar. Analisis data curah disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Jumlah Curah Hujan Periode Tahun 2010-2013.

Gambar diatas menunjukkan curah hujan tertinggi pada bulan Desember dengan rata-rata 363 mm, sedang curah hujan terendah pada bulan Agustus dengan rata-rata 119 mm. Terjadi

penurunan jumlah curah hujan dari bulan Mei sampai bulan September. Faktor lain yang mempengaruhi kondisi rawa lebak adalah sungai. Sungai besar yang melewati lokasi adalah Sungai Tabalong, Angkinang, Kajang, Amandit dan Sungai Balangan yang bermuara di sungai Negara anak sungai Barito. Wilayah sungai di lokasi masih termasuk Daerah Aliran Sungai Barito.

Analisis Genangan

Genangan air di delineasi dengan interpretasi secara visual pada citra. Kombinasi 3 *band* digunakan dengan pertimbangan warna natural pada sistem RGB, pada kajian ini digunakan kombinasi band 321 dengan komposisi *band 3* untuk *red*, *band 2* untuk *green*, dan *band 1* untuk *blue*. Menurut *Center for Biodiversity and Conservation (2004)*, kombinasi RGB 321 cocok untuk aplikasi yang berhubungan dengan perairan. Disamping itu, dilakukan koreksi Sensor *SLC-OFF* (tersaji pada **Gambar 3a** citra *Landsat SLC-OFF*) dengan teknik fusi yaitu mengkombinasikan citra tahun 2000 dengan gangguan awan kurang dari 10% dan tanpa gangguan gap, dengan teknik *overlay* citra yang sama tetapi berbeda waktu perekaman. Teknik ini untuk mendapatkan tampilan citra yang lebih baik, sehingga secara visual dapat mudah didelineasi. Teknik ini tidak akan mempengaruhi proses identifikasi tutupan lahan, dikarenakan rona unsur air diinterpretasi secara visual dengan kenampakan citra jelas perbedaannya bila dibandingkan dengan rona pada obyek yang lain. Kunci interpretasi warna dan rona dijadikan acuan untuk mendelineasi area genangan. Ciri area genangan pada citra satelit dapat dikenali melalui indikator genangan. Luas dan pola penyebaran genangan dapat diperkirakan melalui citra tersebut (Somantri, 2008). Pada kajian ini genangan air ditandai dengan warna tone gelap cenderung kehitaman (kotak merah), serta sudah terbebas gangguan sensor *SLC-off* seperti pada **Gambar 3b**. Sedangkan penampakan genangan air secara *real* di lapangan ditunjukkan **Gambar 4**.



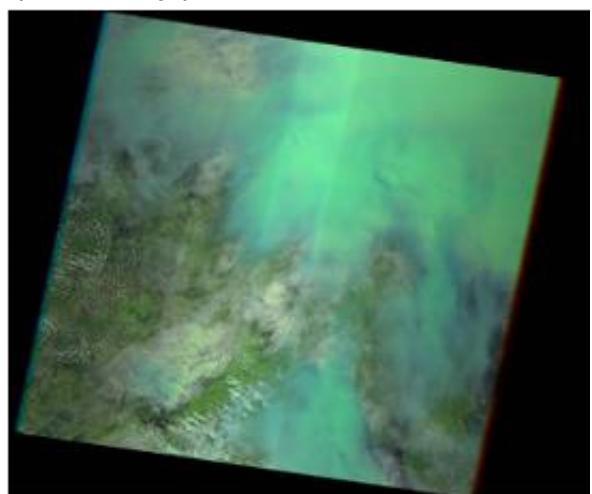


Gambar 3. a). Gap Pada Satelit Landsat B). Citra Setelah Dikoreksi Serta Penampakan Objek Genangan.



Gambar 4. Objek Genangan Air Secara Real Di Lapangan.

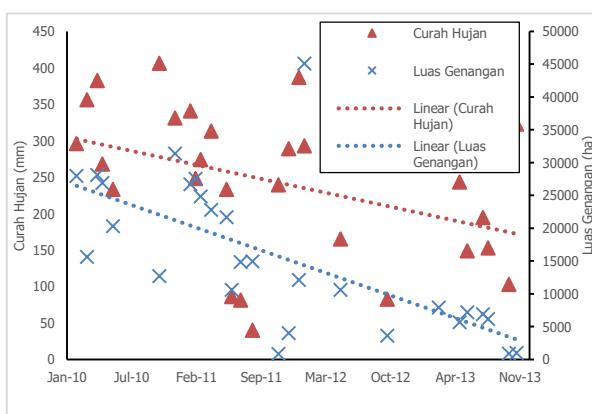
Citra Landsat dalam melakukan perekaman pada lokasi yang sama dengan resolusi temporal 16 hari, tidak terlilit secara bagus baik dalam satu bulan maupun dalam satu tahun dikarenakan liputan awal yang terlalu banyak, misalnya perekaman pada tahun 2012, hanya tiga citra yang memenuhi toleransi liputan awan 10%, yaitu pada bulan Januari, Mei, dan September. Sedangkan tahun 2011, satu citra pada bulan September yang tidak memenuhi toleransi liputan, tersaji pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Contoh Citra Satelit Dengan Liputan Awan > 10%.

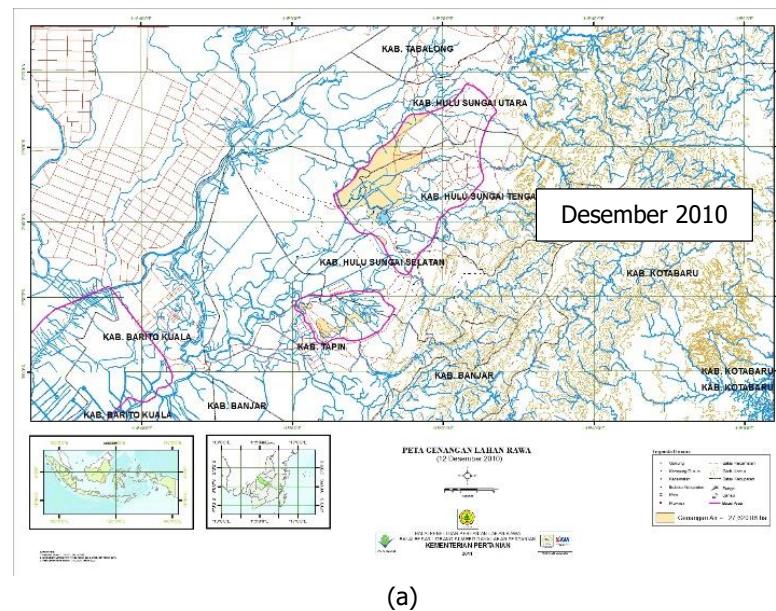
Penghitungan luas di lakukan dengan pendekatan analisis sistem informasi geografis (*calculate geometry Arc Map tool*), sistem proyeksi mengacu pada *Universal Transverse Mercator* zona 48 S dengan Datum *World Geographic Sistem 1984*. Berdasarkan hasil perhitungan luas genangan air yang diperoleh dari proses delineasi citra landsat, diketahui bahwa terjadi kecenderungan penurunan luas genangan air. Sebagai contoh, pada bulan Mei mempunyai kecenderungan penurunan dari tahun 2010 ke 2013, dari luas 28.069,67 ha pada tahun 2010, menjadi 5.626,12 pada tahun 2013. Penurunan ini terus berlanjut sampai bulan Desember. Sedangkan mulai bulan januari sampai bulan April, luas genangan cenderung stabil. Secara keseluruhan penghitungan luas hasil delineasi disajikan pada **Tabel.1**. Peta hasil delineasi untuk genangan air maksimum disajikan pada **Gambar 6**.

Dibandingkan Kondisi curah hujan selama periode 4 tahun tersebut menggambarkan terjadinya defisit air pada bulan Juni sampai dengan September, sementara surplus pada bulan-bulan Desember sampai April. Kondisi demikian mempunyai pola yang sama dengan kondisi genangan air di lokasi dengan areal maksimum genangan pada bulan Januari dengan total area lebih dari 45.053 ha, sedangkan kondisi genangan minimum pada bulan September dengan total genangan kurang dari 5000 ha. Berdasarkan fakta tersebut, secara garis besar terdapat hubungan pola antara curah hujan yang tinggi dengan luas genangan yang terjadi. Hal ini di dukung dengan analisis trend *regressi* **Gambar 7**. Analisis ini menggunakan 28 bulan selama periode 4 tahun.

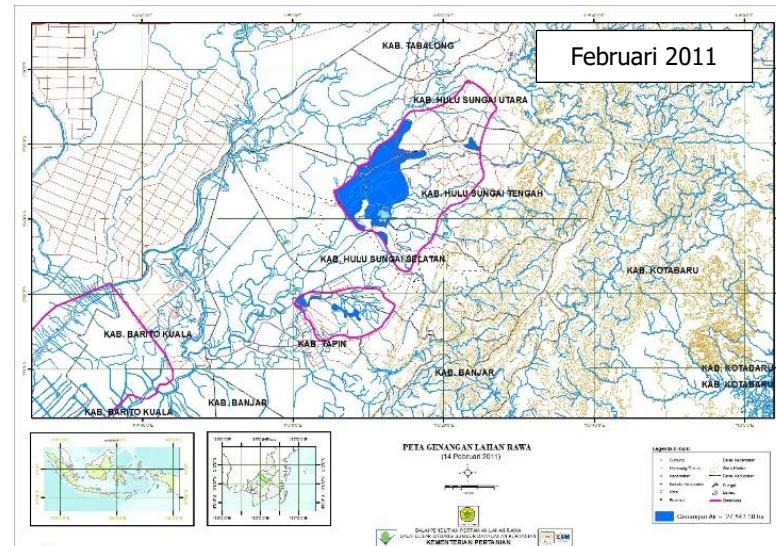


Gambar 7. Analisis Trend Luas Genangan Air.

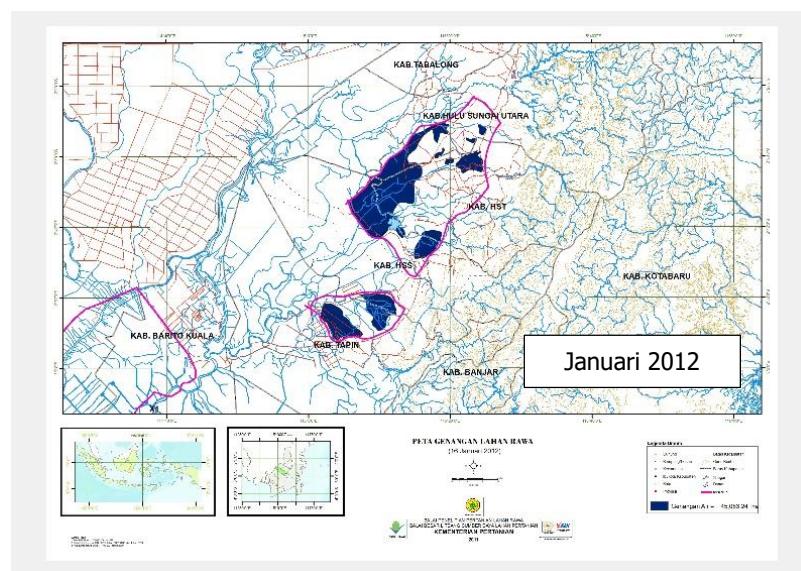
Secara sederhana analisis ini untuk melihat kecenderungan penurunan luas genangan air mempunyai pola yang sama dengan penurunan volume air hujan. Disini tidak melihat nilai determinasi masing-masing data, dikarenakan kajian ini dititik beratkan pada pola penurunan yang terjadi ke dua variabel tersebut.



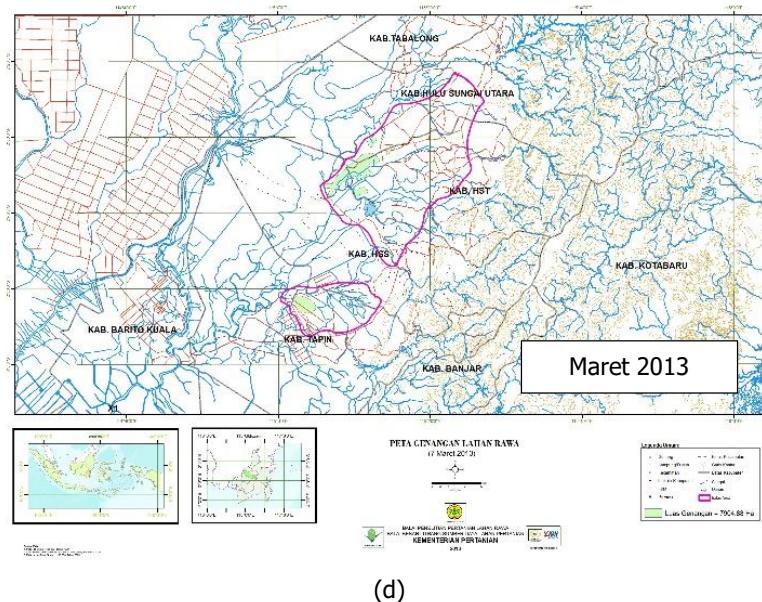
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 6. Contoh Hasil Delineasi Genangan Air Air Maksimum.

Tabel 1. Analisis Luas Genangan Air Hasil Delineasi.

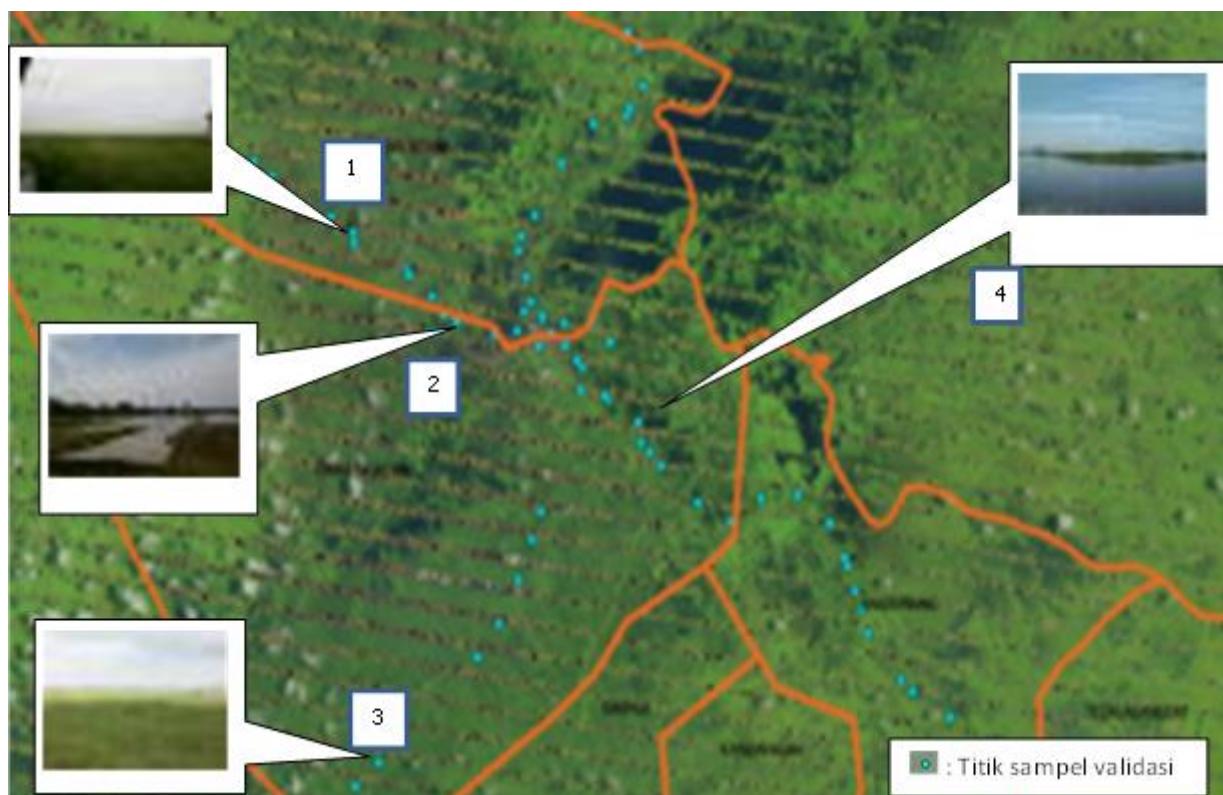
No	Bulan	Tahun				Unit : Ha
		2010	2011	2012	2013	
1	Jan	-	26.665,03	45.053,24	-	-
2	Feb	27.927,31	27.474,25	-	-	-
3	Mar	15.618,90	24.817,24	-	7.904,88	
4	Apr	28.069,97	22.762,25	-	-	
5	Mei	26.864,74	21.656,00	10.579,91	5.626,12	
6	Jun	20.278,15	10.569,24	-	7.156,29	
7	Jul	-	14.809,61	-	6.874,71	
8	Agu	-	14.908,93	-	6.135,63	
9	Sep	-	-	3.610,91	-	
10	Okt	12.671,11	792,47	-	846,67	
11	Nov	-	3.962,84	-	979,12	
12	Des	31.339,28	12.080,82	-	-	
	max	31.339,28	27.474,25	45.053,24	7.904,88	
	min	12.671,11	792,47	3.610,91	846,67	

Validasi

Groundtruth atau cek lapangan dilakukan bertujuan mengetahui apakah hasil delineasi yang dilakukan pada citra sudah sesuai dengan kondisi dilapangan. Pengecekan dilakukan dengan pengukuran beberapa titik (sampel area) dengan menggunakan perangkat *Global Positioning Sistem*, meteran untuk mengecek tinggi genangan serta pengambilan foto serta mencatat beberapa sampel daerah terkena genangan di lapangan. Waktu cek lapangan pada bulan Juni 2011. Uji validasi dilakukan menggunakan jalur darat dan jalur air dengan menggunakan perahu. Sebagian besar cek lapangan mempertimbangkan akses jalan darat. Persebaran 76 titik sampel sesuai yang tersaji pada **Gambar 7**. Kondisi pada saat survei, curah hujan bulanan sekitar 170 mm, dan luas genangan 10,6 ribu hektar menurut hasil

analisis di atas. Sedangkan jenis tanah di lokasi pada umumnya, jenis tanah alluvial dan gambut.

Karakter khusus untuk lahan gambut adalah lapisan gambut yang tebal dan masih mentah atau setengah matang. Berdasarkan penampakan pada sebagian contoh, foto 1 dengan penampakan dilapangan merupakan semak belukar, dengan jenis rawa lebak gambut dan tinggi genangan air 151 cm. Foto 2 sebagian lahan sudah dibudidayakan seperti semangka dan cabai, dan sebagian lagi masih tergenang dengan tinggi genangan 52 cm. Foto 3 menunjukkan para penduduk sudah bercocok tanam padi dengan ketinggian genangan kurang dari 50 cm dan foto 4 masih tergenang setinggi lebih dari 150 cm. Secara umum dalam pelaksanaan cek lapangan menunjukkan hasil delineasi dapat diterima.



Gambar 7. Sebaran Titik Validasi Lapangan.

Potensi Pengembangan Budidaya Pertanian

Data yang diperoleh dari Bapeda Kabupaten Hulu Sungai Selatan tahun 2011, kondisi tutupan lahan di lokasi didominasi hutan tanaman industri, sawah dan ladang dengan total 3 kelas tutupan lahan adalah 136.401,35 ha. Sedang luas rawa hanya 14.306,35 ha. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Tutupan Lahan di Lokasi.

Nomor	Tutupan lahan	Luas (ha)
1	Air Danau/Situ	625.04
2	Air Rawa	14.306.35
3	Air Tawar Sungai	1.164.21
4	Hutan Tanaman Industri	56.503.07
5	Perkebunan/Kebun	833.01
6	Permukiman dan Tempat Kegiatan	4.316.51
7	Sawah	43.481.28
8	Semak Belukar	11.975.01
9	Tegalan/Ladang	36.416.99
Total		169.621.5

Dari perbandingan data Bappeda dan data satelit pada tahun 2012, genangan air *maximum* mencapai 27% dari total tutupan lahan yang berada di Kabupaten Hulu Sungai Selatan. Sedangkan genangan *minimum* pada tahun 2013 dengan prosentase sebesar 0,04% dari total.

Berdasarkan ini, potensi lahan yang memungkinkan untuk budidaya pertanian saat genangan minimum dapat diketahui secara spasial dan temporal. Berkebalikan dengan lahan kering di Pulau Jawa, dimana potensi pertambahan areal budidaya pertanian terjadi pada saat musim penghujan, khusus di lahan rawa lebak potensi tersebut terjadi di saat curah hujan berkurang. Sebagaimana budidaya tanam padi ditanam dengan sistem rintak yaitu penanaman padi menjelang musim kemarau, yaitu ketika genangan muka air sekitar 15-20 cm dari muka lahan (Nur Wakhid, 2013).

KESIMPULAN

Pemantauan area tergenang pada lahan rawa dapat dipetakan dengan menggunakan teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis. Berdasarkan pemantauan genangan selama 4 tahun, liputan awan masih menjadi masalah pada analisis citra satelit dengan sistem optis. Tahun 2011 dapat terpantau selama 11 bulan, sedangkan untuk tahun 2012 hanya tiga bulan yang teramat. Berdasarkan tren yang terjadi, luas genangan cenderung menurun secara linier dengan penurunan curah hujan.

Secara umum teknik penginderaan jauh dapat digunakan dalam perencanaan dalam pembangunan terutama dalam bidang pertanian dengan keunggulan liputan area yang terekam cukup luas dibanding dengan survei terestris. Para perencana, penyuluh tani dapat

memanfaatkan hasil analisa ini untuk mengatur strategi perencanaan waktu dan pola tanam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Penelitian Lahan Rawa dan Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Kementerian Pertanian di Bogor yang telah menyediakan data dan membiayai kegiatan penelitian ini. Serta Dr. Khairil Anwar dan Prof. Muhammad Noor atas segala dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. (2013). Laporan Data Iklim Provinsi Kalimantan Selatan. Banjarbaru.
- Badan Pusat Statistik. (2011). Kalimantan Selatan Dalam Angka. Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Selatan. Banjarbaru.
- Center for Biodiversity and Conservation. (2004). Practical Guides to Remote Sensing. New York. United State
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). Buku informasi statistik. Jakarta.
- Martono.D.W. (2008). Aplikasi Teknologi Penginderaan Jauh Dan Uji Validasinya Untuk Deteksi Penyebaran Lahan Sawah Dan Penggunaan/Penutupan Lahan. In Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2008 (SNATI 2008).
- Naranjo, L. (2007). Satellite Monitors Rains that Trigger Landslides. Earth Observatory. NASA.
- Noor, M, A. Syarifudin, dan L. Muslihat. (2007). Identifikasi dan evaluasi potensi sumberdaya lahan untuk mendukung Prima Tani: Desa Desa Sei Durait, Kecamatan Babirik, HSU, Kalimantan Selatan. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Bogor/Jakarta.
- Nur Wakhid dan Haris Syahbuddin. (2013). Peta Kalender Tanam Padi Lahan Rawa Lebak Di Kalimantan Selatan Di Tengah Perubahan Iklim Global. Jurnal Ilmiah Geomatika.19(1):32-39.Bogor.
- Suwargana, N. (2008). Updating Informasi Spasial Tutupan Lahan Propinsi Kalimantan Selatan Dengan Menggunakan Citra Landsat-7 / ETM +. In *PIT MAPIN XVII* (pp. 339–349).
- Somantri, L. (2008). Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh untuk Mengidentifikasi Kerentanan dan Risiko Banjir. Jurusan Pendidikan Geografi, 8(2).
- The NCDC Climate Services Branch (CSB). (2013). Global summary of day data for 18 surface meteorological. Diakses melalui http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRM_M_V7.3B43.2.shtml
- United States Geological Survey. (2011). Citra Satelit Landsat. Diakses melalui <http://glovis.usgs.gov>
- Waluyo, Suparwoto dan Sudaryanto. (2008). Fluktiasi Genangan Air Lahan Rawa Lebak dan Manfaatnya Bagi Bidang Pertanian di Ogan Komering Ilir. Jurnal Hidrosfir Indonesia.
- Widjaja-Adhi, , K. Nugroho, D.A, Suriadikarta, dan A.S. Karama.(1992). Sumber Daya Lahan Rawa: Potensi Keterbatasan dan pemanfaatan. Risalah Pernas Pengembangan Pertanian di Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak.Cisarua 3 – 4 Maret 1992. a. 3 (2): 57 – 66. Jakarta.

PERUBAHAN TINGGI MUKA LAUT DAN KONSENTRASI KLOROFIL-A DI PERAIRAN SELATAN JAWA-SUMBAWA SELAMA *INDIAN OCEAN DIPOLE 2016*

(*Change of Sea Surface Height and Chlorophyll-a Concentration in the Southern Waters of Jawa-Sumbawa During Indian Ocean Dipole 2016*)

Martono

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN
Jalan Dr. Djundjungan No. 133 Bandung, 40173
E-mail: martono_lapan@yahoo.com

Diterima (received): 02 Februari 2017; Direvisi (revised): 10 Oktober 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 01 November 2017

ABSTRAK

Indian Ocean Dipole merupakan penyimpangan cuaca yang terjadi di Samudera Hindia tropis akibat interaksi laut-atmosfer. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa selama kejadian *Indian Ocean Dipole 2016*. Data yang digunakan terdiri dari indeks *Indian Ocean Dipole*, tinggi muka laut harian, konsentrasi klorofil-a bulanan dan arus geostropik lima harian. Analisis anomali digunakan untuk mengetahui perubahan tinggi muka laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama kejadian *Indian Ocean Dipole 2016* terjadi kenaikan tinggi muka laut di perairan ini. Kenaikan rata-rata tinggi muka laut dari Juni-November 2016 di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa masing-masing sekitar 25 cm, 23 cm dan 17 cm. Dampak kenaikan tinggi muka laut menyebabkan penurunan konsentrasi klorofil-a yang ditandai dengan anomali negatif. Penurunan tertinggi konsentrasi klorofil-a terjadi di perairan selatan Jawa. Penurunan konsentrasi klorofil-a dari Juni-Oktober 2016 di perairan selatan Jawa mencapai $-1,02 \text{ mg/m}^3$, di perairan selatan Bali mencapai $-0,74 \text{ mg/m}^3$ dan di perairan selatan Lombok-Sumbawa mencapai $-0,35 \text{ mg/m}^3$.

Kata kunci: perubahan, tinggi muka laut, *Indian Ocean Dipole*, klorofil-a

ABSTRACT

Indian Ocean Dipole is a weather deviation that occurs in the tropical Indian Ocean due to air-sea interactions. This study was conducted to understand sea surface height change in the southern waters of Java, Bali and Lombok-Sumbawa during Indian Ocean Dipole 2016 events. Data used consists of dipole mode index, daily sea surface height, monthly chlorophyll-a concentration and pentad geostropic current. Anomaly analysis was used to assess sea surface height change. The result showed that during Indian Ocean Dipole 2016 events occurred the increase of sea surface height in these waters. The average increase of sea surface height from June-November 2016 in the southern waters of Java, Bali and Lombok-Sumbawa approximately 25 cm, 23 cm and 17 cm, respectively. Impact of the increase of sea surface height affects chlorophyll-a concentration to drop that was marked by negative anomaly. The highest decrease of chlorophyll-a concentration occurred in the southern waters of Java. The decrease of chlorophyll-a concentration in the southern waters of Java reached -1.02 mg/m^3 , in the southern waters of Bali reached -0.74 mg/m^3 and in the southern waters of Lombok-Sumbawa reached -0.35 mg/m^3 .

Keywords: change, sea surface height, *Indian Ocean Dipole*, chlorophyll-a

PENDAHULUAN

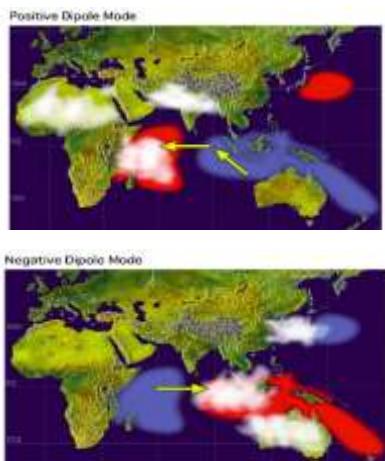
Indian Ocean Dipole (disingkat *IOD*) merupakan fenomena oseanografi yang terjadi di Samudera Hindia tropis akibat interaksi atmosfer-laut. Kejadian *IOD* dikarakteristikkan oleh polarisasi berlawanan anomali suhu permukaan laut antara bagian barat Samudera Hindia tropis ($50^\circ \text{ BT} - 70^\circ \text{ BT}$ dan $10^\circ \text{ LS} - 10^\circ \text{ LU}$) dengan bagian tenggara Samudera Hindia tropis ($90^\circ \text{ BT} - 110^\circ \text{ BT}$ dan $10^\circ \text{ LS} - \text{ekuator}$) serta anomali angin zonal (Saji *et al*, 1999). Oleh karena itu,

IOD mempunyai dua kutub yaitu kutub barat dan kutub timur.

Seperti halnya peristiwa El Niño dan La Niña yang terjadi di Samudera Pasifik tropis, *IOD* mempunyai dua fase yaitu positif dan negatif. Mekanisme *IOD* fase positif dan fase negatif ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pada saat kejadian *IOD* fase positif, suhu permukaan laut di bagian barat Samudera Hindia tropis lebih hangat, sebaliknya di bagian timur lebih dingin daripada kondisi normal. Hal ini menyebabkan terjadinya pergeseran awan-awan konveksi dari bagian timur ke arah barat. Kondisi sebaliknya terjadi pada saat

IOD fase negatif, dimana suhu permukaan laut di bagian barat Samudera Hindia tropis lebih dingin dan di bagian timur lebih hangat daripada kondisi normal. Kondisi tersebut akan mengakibatkan awan-awan konveksi bergerak dari barat ke arah timur.

Pergeseran awan-awan konveksi tersebut mempengaruhi pola cuaca dan iklim tidak hanya di Samudera Hindia tropis saja, tetapi juga mempengaruhi wilayah sekitarnya. *IOD* fase positif menyebabkan bencana kekeringan di sebagian wilayah Indonesia dan bencana hujan lebat di Afrika Timur (Saji *et al*, 1999; Ashok *et al*, 2001; Behera *et al*, 2003; Li *et al*, 2003; Ashok *et al*, 2004). Dan sebaliknya, anomali curah hujan di sebagian wilayah Indonesia saat *IOD* fase negatif menunjukkan nilai positif (Guan *et al*, 2003). Anomali positif menunjukkan jumlah curah hujan lebih besar daripada kondisi tahun normal. La Niña dan *IOD* fase negatif meningkatkan curah hujan pentad di wilayah Indonesia dengan intensitas tinggi lebih besar dari 50 mm (Juaeni *et al*, 2008).



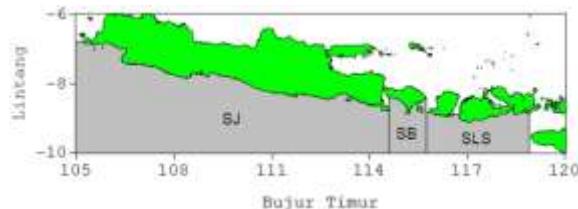
Gambar 1. IOD fase positif dan fase negatif.
Sumber: jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod.

Penelitian mengenai dampak *IOD* terhadap suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya antara lain (Murtugudde *et al*, 1999; Currie *et al*, 2013; Gaol *et al*, 2014; Gaol *et al*, 2015). Namun penelitian tentang perubahan tinggi muka laut selama *IOD* fase negatif di perairan ini belum banyak dilakukan. Perubahan tinggi muka laut yang besar dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur di wilayah pantai dan sekitarnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan tinggi muka laut dan konsentrasi klorofil-a pada tahun 2016.

METODE

Lokasi penelitian adalah perairan selatan Jawa hingga Sumbawa yang meliputi 6 LS – 10 LS dan 105 BT – 120 BT seperti ditunjukkan pada

Gambar 2. Untuk keperluan analisis, lokasi ini dibagi menjadi 3 wilayah yaitu perairan selatan Jawa (SJ), perairan selatan Bali (SB) dan perairan selatan Lombok-Sumbawa (SLS).

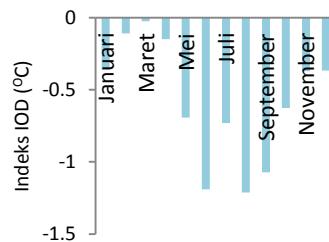


Gambar 2. Lokasi penelitian (diblok abu-abu).

Data yang digunakan terdiri dari anomali indeks *IOD* mingguan tahun 2016, tinggi muka laut harian dari 1994-2016, konsentrasi klorofil-a bulanan dari 2007-2016 dan arus geostropik pentad (lima harian) dari 2007-2016. Semua data harian dan lima harian dijadikan data rata-rata bulanan. Dalam penelitian ini arus geostropik mewakili arus permukaan.

Data indeks *IOD* diperoleh dari *Ocean Observations Panel for Climate NOAA*, tinggi muka laut diperoleh dari *AVISO*, konsentrasi Klorofil-a diperoleh dari *Oceanwatch NOAA*, arus geostropik diperoleh dari *Physical Oceanography Distributed Active Archive Center NASA* dalam bentuk grid. Indeks *IOD* hasil reanalisis antara data insitu dan satelit. Data klorofil-a hasil dari citra satelit *Aqua-MODIS*, tinggi muka laut dari citra satelit *Topex-Poseidon*, *Jason-1*, *Jason-2*, dan arus geostropik dari citra satelit *Topex-Poseidon*, *Jason-1*, *Jason-2*, *ERS1-2*, *GFO* dan *ENVISAT*.

Analisis hasil dilakukan berdasarkan waktu kejadian *IOD* pada tahun 2016. Nilai anomali indeks *IOD* tahun 2016 ditunjukkan pada **Gambar 3**. Nilai anomali indeks *IOD* lebih besar dari -1°C mulai bulan Juni 2016. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi *IOD* fase negatif. Berdasarkan nilai anomali tersebut, maka analisis hasil dilakukan bulan Juni-November 2016 yang mewakili musim timur dan musim peralihan kedua.



Gambar 3. Indeks *IOD* bulanan tahun 2016.

Dalam penelitian ini dianalisis perubahan tinggi muka laut di perairan ini selama terjadi *IOD*. Perubahan tinggi muka laut ditentukan berdasarkan nilai anomalinya. Selanjutnya akan dianalisis dampak perubahan tinggi muka laut terhadap konsentrasi klorofil-a di perairan ini berdasarkan nilai anomalinya. Nilai anomali tinggi

muka laut dihitung dengan persamaan berikut **persamaan 1** dan **persamaan 2**.

$$TML_A = TML_i - \overline{TML} \quad (1)$$

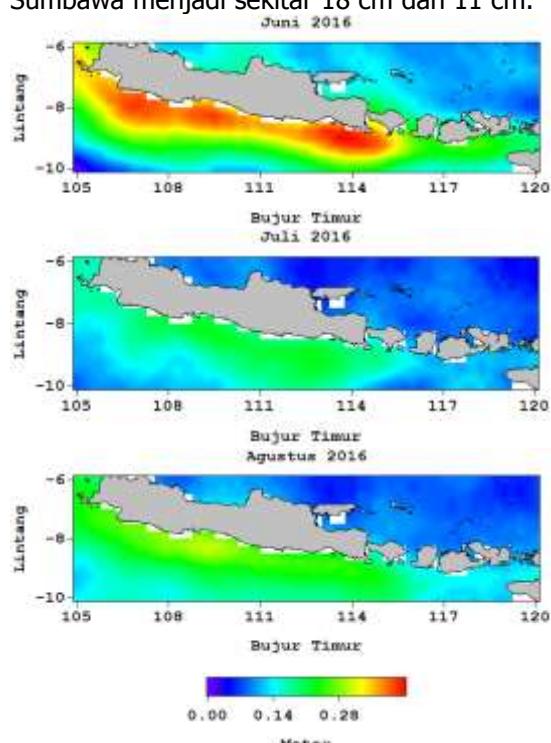
$$\overline{TML} = \frac{\sum_{i=1}^n TML_i}{n} \quad (2)$$

Dimana TML_A adalah anomali tinggi muka laut, \overline{TML} adalah rata-rata klimatologi tinggi muka laut, TML_i adalah data pada waktu ke-i dan n adalah jumlah data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola anomali tinggi muka laut bulan Juni-Agustus 2016 di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa ditunjukkan pada **Gambar 4**. Rata-rata anomali tinggi muka di perairan selatan Jawa-Bali pada bulan Juni 2016 cukup tinggi hingga mencapai lebih dari 31 cm, bahkan di wilayah pantai selatan Jawa mencapai 40 cm. Anomali tinggi muka laut di perairan selatan Lombok-Sumbawa lebih rendah yaitu sekitar 20 cm.

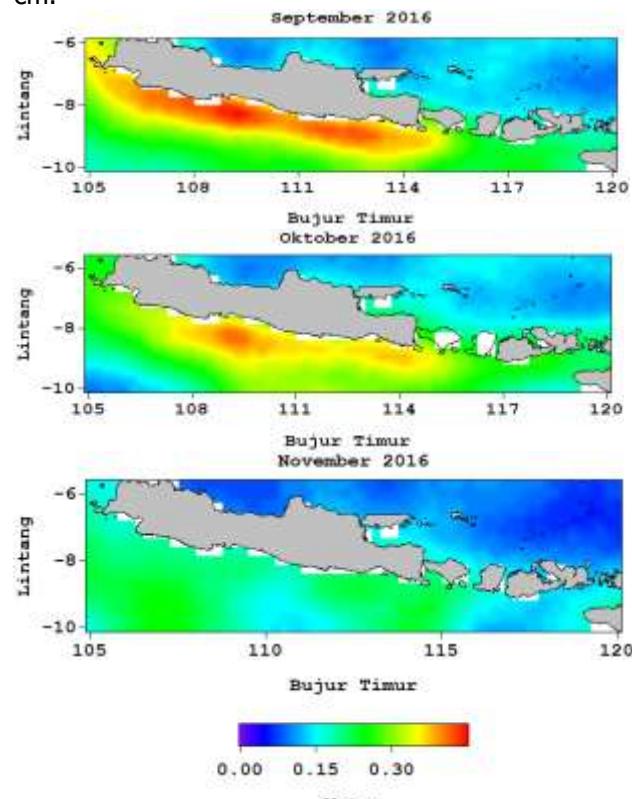
Pada bulan Juli 2016, anomali tinggi muka laut mengalami penurunan. Rata-rata anomali tinggi muka laut di perairan selatan Jawa masih lebih besar daripada selatan Bali-Sumbawa. Penurunan di perairan selatan Jawa menjadi sekitar 15 cm. Anomali tinggi muka laut perairan selatan Bali dan perairan selatan Lombok-Sumbawa menjadi sekitar 18 cm dan 11 cm.



Gambar 4. Pola anomali tinggi muka laut bulan Juni-Agustus 2016

Pada bulan Agustus 2016, anomali tinggi muka laut di ketiga perairan ini menunjukkan kenaikan meskipun relatif kecil. Anomali tinggi muka laut di perairan selatan Jawa masih lebih besar. Rata-rata anomali tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa masing-masing menjadi sekitar 22 cm, 20 cm dan 14 cm.

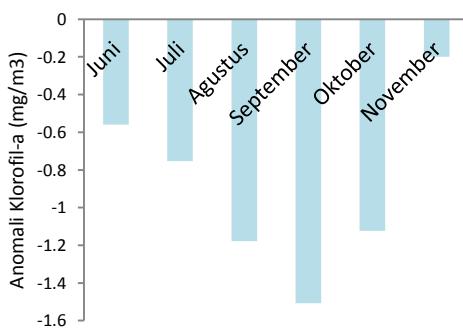
Pola anomali tinggi muka laut pada bulan September-November 2016 di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa ditunjukkan **Gambar 5**. Pada bulan September 2016, anomali tinggi muka di ketiga perairan mengalami kenaikan. Kenaikan paling tinggi terjadi di perairan selatan Jawa yang mencapai 31 cm. Bahkan di wilayah pantai selatan Jawa mencapai 40 cm. Rata-rata anomali tinggi muka laut di perairan selatan Bali dan selatan Lombok-Sumbawa masing-masing 28 cm dan 22 cm.



Gambar 5. Pola anomali tinggi muka laut bulan September 2016

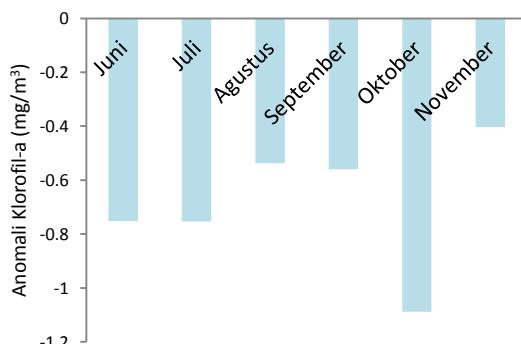
Anomali tinggi muka laut menunjukkan tren penurunan pada bulan Oktober-November 2016. Penurunan tinggi muka laut signifikan terjadi pada bulan November. Rata-rata anomali tinggi muka laut pada bulan Oktober di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa masing-masing 29 cm, 28 cm dan 22 cm. Sementara itu, anomali tinggi muka laut bulan November di perairan selatan Jawa sekitar 22 cm, di perairan selatan Bali sekitar 20 cm dan di perairan selatan Lombok-Sumbawa sekitar 14 cm.

Rata-rata tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa dari bulan Juni-November 2016 saat kejadian *IOD* fase negatif mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Namun sebaliknya, kenaikan tinggi muka laut di perairan tersebut disertai dengan penurunan konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi. Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa antara bulan Juni-November 2016 diperlihatkan pada **Gambar 6**. Dalam periode waktu ini, konsentrasi klorofil-a di perairan ini mengalami penurunan. Penurunan tertinggi terjadi pada bulan September dengan anomali konsentrasi klorofil-a mencapai $-1,51 \text{ mg/m}^3$. Penurunan konsentrasi klorofil-a rata-rata pada saat musim timur tahun 2016 sekitar $-0,82 \text{ mg/m}^3$, sedangkan pada saat musim peralihan kedua tahun 2016 lebih tinggi hingga mencapai $-0,94 \text{ mg/m}^3$.



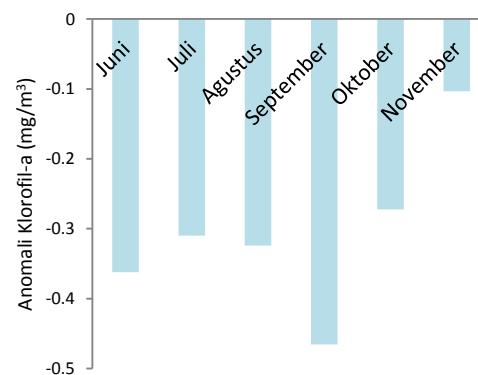
Gambar 6. Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa tahun 2016.

Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Bali antara bulan Juni-November 2016 diperlihatkan pada **Gambar 7**. Terlihat bahwa penurunan konsentrasi klorofil-a di perairan ini lebih kecil daripada di perairan selatan Jawa. Di perairan ini, penurunan tertinggi terjadi pada bulan Oktober dengan anomali konsentrasi klorofil-a mencapai hingga $-1,09 \text{ mg/m}^3$. Rata-rata penurunan konsentrasi klorofil-a pada musim timur dan musim peralihan kedua tahun 2016 relatif sama yang mencapai $-0,68 \text{ mg/m}^3$.



Gambar 7. Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Bali tahun 2016.

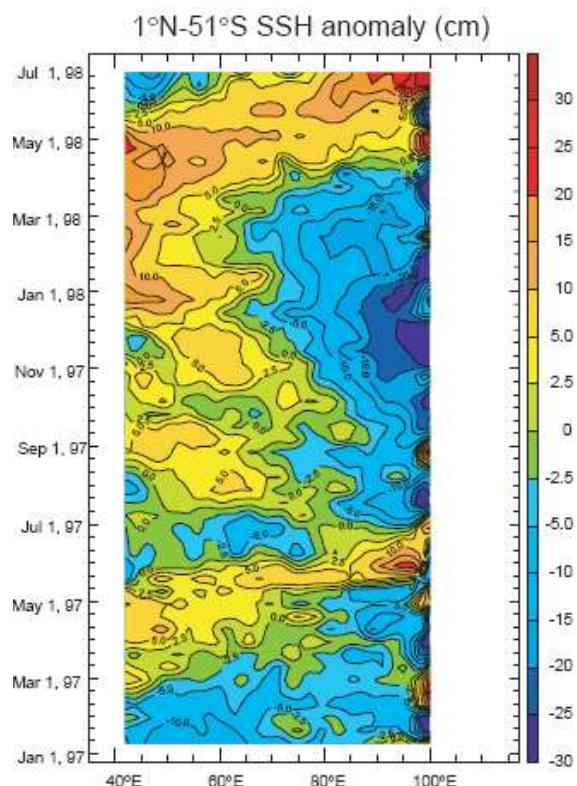
Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Lombok hingga Sumbawa bulan Juni-November 2016 diperlihatkan pada **Gambar 8**. Penurunan konsentrasi klorofil-a di perairan ini lebih kecil daripada di perairan selatan Jawa dan Bali. Penurunan konsentrasi klorofil-a tertinggi terjadi pada bulan September hingga mencapai $-0,47 \text{ mg/m}^3$. Rata-rata penurunan konsentrasi klorofil-a pada musim timur tahun 2016 sekitar $-0,33 \text{ mg/m}^3$, sedangkan di musim peralihan kedua tahun 2016 lebih kecil yang hanya sekitar $-0,28 \text{ mg/m}^3$.



Gambar 8. Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Lombok-Sumbawa tahun 2016

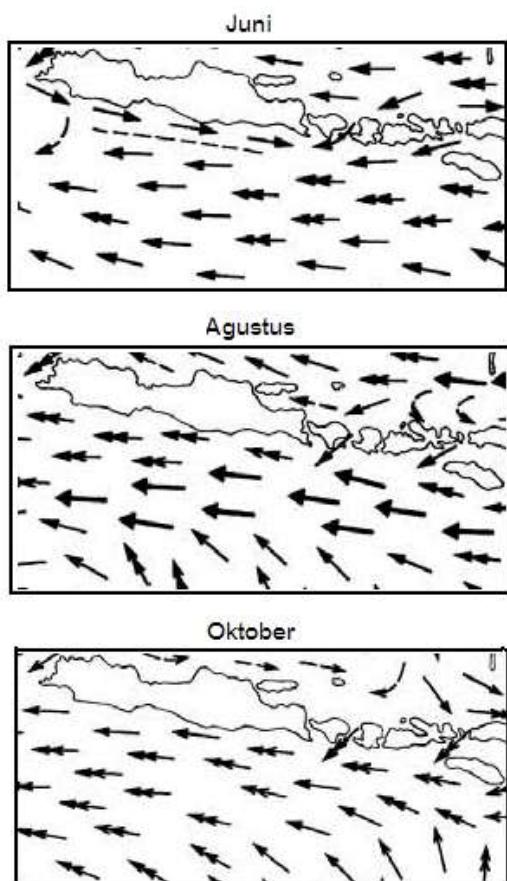
Berdasarkan hasil diketahui bahwa saat kejadian *IOD* fase negatif tahun 2016, tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa mengalami kenaikan yang cukup tinggi, sebaliknya konsentrasi klorofil-a mengalami penurunan. Beberapa hasil peneliti sebelumnya menunjukkan hasil yang sama. Terjadi proses pendangkalan lapisan termoklin di bagian barat Samudera Hindia pada *IOD* negatif tahun 1996 dan 1999/2000 (Manyilizu *et al*, 2014). Kenaikan lapisan termoklin di bagian barat Samudera Hindia menyebabkan pendalaman lapisan termoklin di bagian timur, sehingga tinggi muka laut di bagian timur mengalami kenaikan. Mulai bulan Juni-Juli 1998 saat *IOD* fase negatif, tinggi muka laut di bagian timur Samudera Hindia tropis antara 1° LU - 1° LS dan 90° BT - 100° BT mengalami kenaikan hingga mencapai 30 cm seperti ditunjukkan pada **Gambar 9** (Webster *et al*, 1999).

Saat kejadian *IOD* fase negatif 2006, lapisan termoklin di bagian timur Samudera Hindia mengalami penurunan sehingga lebih dalam daripada kondisi normal (Vinayachandran *et al*, 2002). Pada saat *IOD* fase negatif 2010 terjadi proses *downwelling* dan penurunan klorofil-a di pantai selatan Jawa (Yoga *et al*, 2014). Dan sebaliknya, selama *IOD* fase positif 2006, tinggi muka laut di bagian timur Samudera Hindia menunjukkan anomali negatif (Iskandar, 2012).



Gambar 9. Anomali tinggi muka laut.

Sumber: Webster *et al*, 1999.

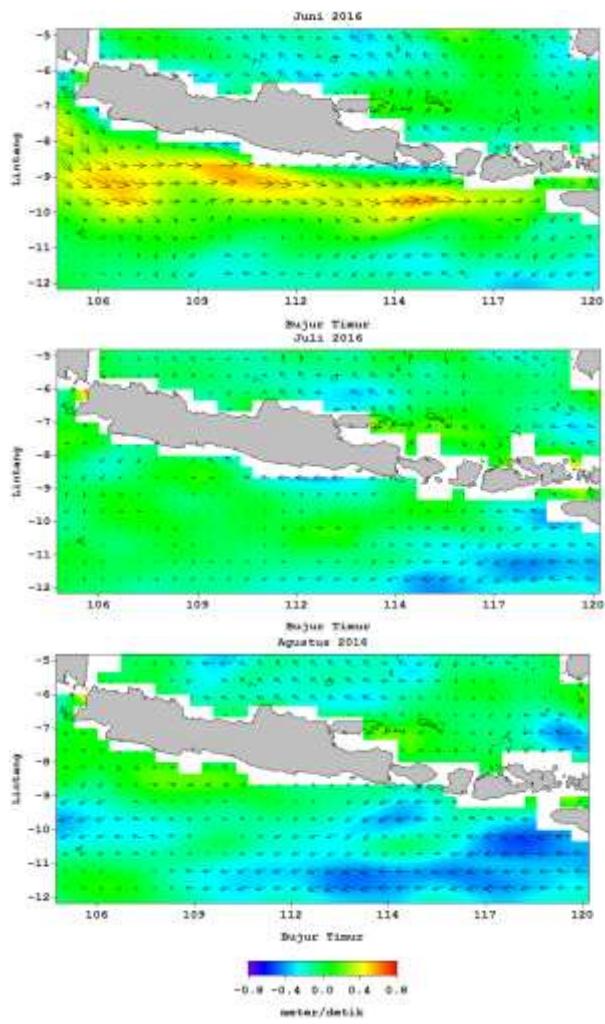


Gambar 10. Pola arus permukaan bulanan
(Sumber:Wrytki, 1961)

Kenaikan tinggi muka laut dan penurunan konsentrasi klorofil-a tersebut diduga dipengaruhi oleh perubahan dinamika pola arus permukaan di perairan ini. Secara umum, di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa terdapat dua arus utama yaitu Arus Pantai Jawa (*Java Coastal Current*) dan Arus Ekuator Selatan (*South Equatorial Current*). Dinamika kedua arus ini dipengaruhi oleh sistem monsun. Arus Pantai Jawa terbentuk mulai musim barat yang bergerak ke arah timur hingga pulau Sumba, sementara itu sumbu Arus Ekuator Selatan berada di sekitar 10° LS (Wrytki, 1961; Nontji, 1987). Masa air Arus Pantai Jawa berasal dari Arus Balik Ekuator (Equatorial Counter Current) yang terbentuk di Samudera Hindia tropis. Arus Pantai Jawa terbentuk hingga bulan Juni. Dari bulan Juli-Oktober Arus Pantai Jawa tidak terbentuk bersamaan dengan semakin menguatnya monsun tenggara seperti ditunjukkan pada **Gambar 10**.

Mulai bulan Juli angin pasat tenggara diperairan ini diperkuat oleh monsun Australia yang mulai berkembang penuh dengan arah gerakan yang sama. Penguatan angin pasat tenggara ini menyebabkan posisi Arus Ekuator Selatan semakin bergeser ke utara hingga mencapai Pulau Jawa. Dengan semakin kuatnya angin pasat tenggara dan pengaruh gaya Coriolis, gesekan angin pasat tenggara terhadap masa air permukaan akan menyebabkan terjadinya proses *upwelling*. *Upwelling* adalah proses kenaikan masa air dari kedalaman sekitar 100-300 meter ke permukaan (Bowden, 1983). Proses *upwelling* akan meningkatkan kandungan nutrien sehingga mempunyai tingkat produktifitas primer yang tinggi (Surinati, 2009). *Upwelling* di perairan selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Timur terjadi selama musim tenggara antara bulan Juni-Oktober (Susanto *et al*, 2001; Susanto and Marra, 2005; Qu *et al*, 2005; Hendiarti, 2008; Osawa and Julimantoro, 2010; Ningsih *et al*, 2013).

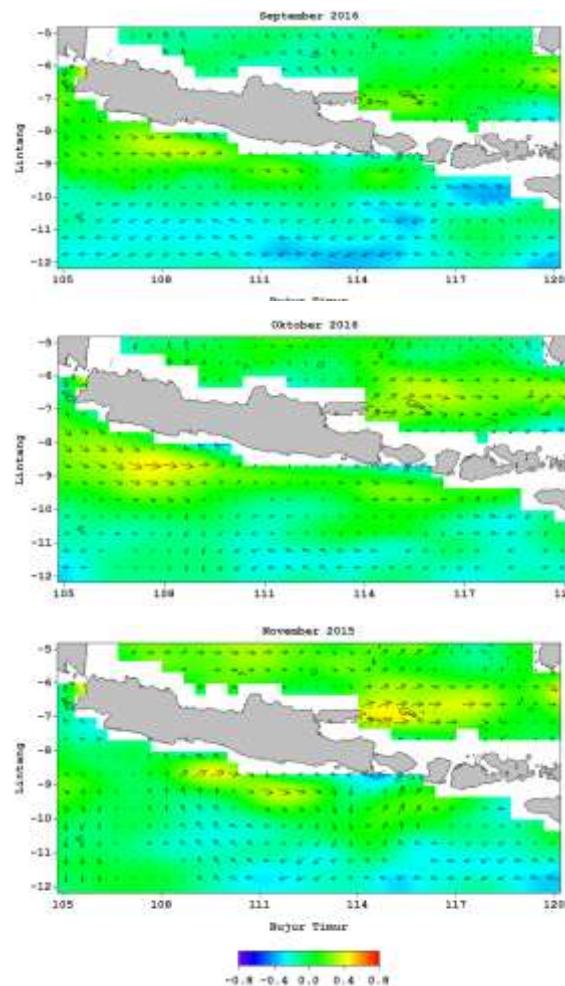
Pola arus permukaan di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa dari bulan Juni-November 2016 pada saat kejadian *IOD* fase negatif mengalami perubahan arah. Pola arus permukaan di perairan ini dari bulan Juni-Agustus 2016 ditunjukkan pada **Gambar 11**. Pada bulan Juni 2016, intensitas Arus Pantai Jawa semakin kuat. Arus Pantai Jawa makin bergeser ke selatan hingga mencapai 10,3° LS dengan kecepatan rata-rata mencapai sekitar 0,33 m/dt. Sebaliknya Arus Ekuator Selatan di perairan ini melemah dan semakin bergeser ke selatan hingga mencapai 10,3° LS.



Gambar 11. Pola arus permukaan bulan Juni-Agustus 2016

Pada bulan Juli 2016, kekuatan arus Pantai Jawa di perairan selatan Jawa dan Bali melemah. Sebaliknya, Arus Ekuator Selatan di perairan selatan Lombok dan Sumbawa makin menguat hingga mencapai wilayah perairan pantai. Sementara itu, di bulan Agustus 2016 Arus Pantai Jawa masih terbentuk di perairan selatan Jawa Barat sampai Jawa Tengah. Arus Pantai Jawa hingga mencapai $8,7^\circ$ LS dengan kecepatan rata-rata 0,15 m/dt. Dan sebaliknya, Arus Ekuator Selatan semakin menguat. Di perairan selatan Jawa Timur hingga Sumbawa, Arus Ekuator Selatan makin bergeser ke utara hingga mencapai wilayah pantai.

Pola arus permukaan di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa dari bulan September-November 2016 ditunjukkan pada **Gambar 12.** Bulan September 2015, Arus Pantai Jawa semakin kuat yang terbentuk dari perairan selatan Jawa hingga Bali. Arus Pantai Jawa yang terbentuk ini hingga mencapai $9,7^\circ$ LS dengan kecepatan rata-rata sekitar 0,16 m/dt. Sebaliknya, di perairan selatan Sumbawa Arus Ekuator Selatan hingga mencapai pantai.



Gambar 12. Pola arus permukaan bulan September-November 2016

Pada bulan Oktober 2016, Arus Pantai Jawa semakin kuat yang terbentuk dari selatan Jawa hingga Sumbawa, tetapi sebaliknya Arus Ekuator Selatan melemah dan makin bergeser ke selatan. Arus Pantai Jawa ini terbentuk dari pantai hingga 10° LS dengan kecepatan rata-rata sekitar 0,19 m/dt. Pada bulan November 2016, Arus Pantai Jawa melemah dan hanya terbentuk di perairan pantai selatan Jawa Tengah hingga Lombok. Sementara itu, Arus Ekuator Selatan kuat dan cakupannya makin luas.

Secara umum bahwa selama kejadian *IOD* fase negatif 2016, intensitas Arus Pantai Jawa semakin menguat dengan cakupan wilayah yang luas hingga mencapai 10° LS, tetapi sebaliknya kekuatan Arus Ekuator Selatan melemah dan makin bergeser ke selatan. Hal ini menyebabkan adanya terjadinya pertemuan antara Arus Pantai Jawa dengan Arus Ekuator Selatan. Pertemuan kedua arus ini mengakibatkan terjadinya proses konvergensi arus permukaan di perairan selatan Jawa. Proses konvergensi di perairan tersebut menyebabkan terjadinya *downwelling*, sehingga tinggi muka laut mengalami kenaikan.

Di bagian utara dibatasi oleh daratan Pulau Jawa, sehingga kenaikan tinggi muka laut di perairan pantai lebih tinggi daripada lepas pantai, bahkan di selatan Jawa-Bali kenaikan tinggi laut hingga mencapai sekitar 40 cm. Selain kenaikan tinggi muka laut, proses *downwelling* ini menjadi penyebab penurunan konsentrasi klorofil-a. Mekanisme tersebut yang menyebabkan tinggi muka laut mengalami kenaikan dan konsentrasi klorofil-a mengalami penurunan selama *IOD* fase negatif 2016.

KESIMPULAN

Berdasar analisis hasil dapat disimpulkan bahwa selama *IOD* fase negatif 2016 dari bulan Juni-November 2016 terjadi proses *downwelling* di perairan selatan Jawa-Sumbawa. *IOD* fase negatif 2016 menyebabkan tinggi muka laut di perairan tersebut mengalami kenaikan dan sebaliknya konsentrasi klorofil-a mengalami penurunan. Kenaikan tinggi muka tertinggi di perairan selatan Jawa-Bali bulan Juni 2016 yang mencapai sekitar 40 cm. Kenaikan rata-rata tinggi muka laut bulan Juni-November di perairan selatan Jawa, Bali dan Lombok-Sumbawa sekitar 0,25 cm, 0,23 cm dan 0,17 cm. Penurunan konsentrasi klorofil-a tertinggi terjadi di perairan selatan Jawa pada bulan September yang mencapai $-1,51 \text{ mg/m}^3$. Rata-rata penurunan konsentrasi klorofil-a dari bulan Juni-November 2016 di perairan selatan Jawa mencapai $0,89 \text{ mg/m}^3$, di selatan Bali sekitar $0,68 \text{ mg/m}^3$ dan di selatan Lombok-Sumbawa sekitar $0,31 \text{ mg/m}^3$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN atas dukungan dananya dan kepada Dr. Teguh Harjana atas saran dan masukan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashok, K., Z. Guan, N.H. Saji, and T. Yamagata. (2004). Individual and Combined Influences of ENSO and the Indian Ocean Dipole on the Indian Summer Monsoon. *Journal of Climate*, 17, 3141-3155.
- Ashok, K., Z. Guan, and T. Yamagata. (2001). Impact of the Indian Ocean Dipole on the Relationship between the Indian Monsoon Rainfall and ENSO. *Geophys.Res.Lett.*, 28(23), 4499-4502.
- Behera, S., Luo, J., Masson, S., Yamagata, T., Delecluse, P., Gualdi, S., Navarra, A. (2003). Impact of the Indian Ocean Dipole on the East African Short Rains: A CGCM Study. Contribution to Exchanges No. 27, September 2003, *CLIVAR Exchanges*.
- Bowden, K.F. (1983). *Physical Oceanography of Coastal Waters*. West Sussex: Ellis Horwood Limited, Publishers Chichester.
- Currie, J.C., M. Lengaigne, J. Vialard, D.M. Kaplan, O. Aumont, S.W.A. Naqvi, and O. Maury. (2013). Indian Ocean Dipole and El Niño/Southern Oscillation impacts on regional chlorophyll anomalies in the Indian Ocean. *Biogeosciences*, 10, 6677-6698.
- Gaol, J.L., R.R. Leben, S. Vignudelli, K. Mahapatra, Y. Okada, B. Nababan, M. Mei-Ling, K. Amri, R.E. Arhatinand M. Syahdan. (2015). Variability of satellite-derived sea surface height anomaly, and its relationship with Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch in the Eastern Indian Ocean. *European Journal of Remote Sensing*, 48: 465-477.
- Gaol, J.L., Wudianto, B.P. Pasaribu, D. Manurung, and R. Endriani. (2014). The Fluctuation Of Chlorophyll-A Concentration Derived From Satellite Imagery And Catch Of Oily Sardine (*Sardinella Lemuru*) In Bali Strait. *Remote Sensing and Earth Sciences*, 1(1), 24-30.
- Guan, Z., Ashok, K., Yamagata, T. (2003). Summertime Response of the Tropical Atmosphere to the Indian Ocean Dipole Sea Surface Temperature Anomalies. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 81(3): 533-561.
- Hendiarti, N. (2008). Hubungan antara Keberadaan Ikan Pelagis dengan Fenomena Oseanografi dan perubahan Iklim Berdasarkan Analisis Data Penginederaan Jauh. *Globé*, 10(1), 19-25.
- Iskandar, I. (2012). The Role of Equatorial Oceanic Waves in the Activation of the 2006 Indian Ocean Dipole. *ITB J. Sci*, 44A(2): 113-128.
- Juaeni, I., Ruminta, B. Tjasyono, A. Lubis dan S.B. Harijono. (2008). Pengaruh El Niño, La Niña dan Indian Ocean Dipole terhadap Curah Hujan Pentad di Wilayah Indonesia. *Jurnal Bionatural*, 10(2), 168-177.
- Li, T., B. Wang, C.P. Chang, and Y. Zhang. (2003). A Theory for the Indian Ocean Dipole-Zonal Mode. *Journal of The Atmospheric Sciences*, 60, 2119-2135.
- Manyilizu, M., Dufois, F., Penven, P, and Reason, C. (2014). Interannual Variability in the Tropical Western Indian Ocean. *African Journal of Marine Science*, 36(2), 1-20.
- Murtugudde, R.G., S.R. Signorini, J.R. Christian, A.J. Busalacchi, C.R. McClain, and J. Picaut. (1999). Ocean color variability of the tropical Indo-Pacific basin observed by SeaWiFS during 1997-1998. *Journal Of Geophysical Research*, 104, 18,351-18,366.
- Ningsih, N.S., N. Rahkmaputeri, and A.B. Harto. (2013). Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters. *Ocean Sci.J*, 48(1):49-57.
- Nontji, A. (1987). Laut Nusantara. Djambatan, Jakarta.
- Osawa, T and S. Julimantoro. (2010). Study of Fishery Ground around Indonesia Archipelago Using Remote Sensing Data. (2010). International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, 1008-1012.
- Qu, T., Y. Du, J. Strachan, G. Meyers, and J. Slingo. (2005). Sea Surface Temperature and Its Variability in The Indonesian Region. *Oceanography*, 18(4) 50-61.

- Saji, N.H., B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran and T. Yamagata. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401, 360-363.
- Surinati, D. (2009). Upwelling dan Efeknya terhadap Perairan Laut. *Oseana*, 34(4), 35-42, 2009.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, and Q. Zheng. (2001). Upwelling Along the Coast of Java and Sumatra and Its relation to ENSO. *Geophysical Research Letter*, 28(8), 1599-1602.
- Susanto, R.D., and J. Marra. (2005). Effect of the 1997/98 El Niño on Chlorophyll a Variability Along the Southern Coasts of Java and Sumatra. *Oceanography*, 18(4), 124-127.
- Vinayachandran, P.N., Iizuka, S., Yamagata, T. (2002). Indian Ocean Dipole mode events in an ocean general circulation model. *Deep-Sea Research II*, 49: 1573-1596.
- Webster, P.J., A.M. Moore, J.P. Loschnigg, and R.R. Leben. (1999). Coupled Ocean-Atmosphere Dynamics in the Indian Ocean during 1997-98. *Nature*, 401, 356-360.
- Wrytki, K. (1961). Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. Naga Report Volume 2, California.
- Yoga, R. B., H. Setyono, dan G. Harsono. (2014). Dinamika Upwelling Dan Downwelling Berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A Di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Oseanografi*, 3(1), 57-66.

ESTIMASI KETEBALAN SEDIMEN DENGAN ANALISIS POWER SPECTRAL PADA DATA ANOMALI GAYABERAT

Studi Kasus di DKI Jakarta

(*Estimation of Sediment Thickness using Power Spectral Analysis of Gravity Data,
Case Study Capital Region of Jakarta*)

Mila Apriani¹, Mahmud Yusuf², Admiral Musa Julius¹, Damianus Tri Heryanto², Agus Marsono³

Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG¹

Pusat Instrumentasi, Kalibrasi, dan Rekayasa BMKG²

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika BMKG³

Jl. Angkasa 1 No. 2, Kemayoran, Jakarta Pusat 10720

E-mail: mila.apriani@gmail.com

Diterima: 26 Januari 2017; Direvisi (Revised): 11 Oktober 2017; Disetujui untuk Dipublikasikan (Accepted): 14 Desember 2017

ABSTRAK

Penelitian dengan analisis *power spectral* data anomali gayaberat telah banyak dilakukan untuk estimasi ketebalan sedimen. Dalam studi ini penulis melakukan analisis spektral data anomali gayaberat wilayah DKI Jakarta untuk mengetahui kedalaman sumber anomali yang bersesuaian dengan ketebalan sedimen. Data yang digunakan berupa data gayaberat dari BMKG tahun 2014 dengan 197 lokasi titik pengukuran yang tersebar di koordinat 6,08°-6,36° LU dan 106,68°-106,97° BT. Studi ini menggunakan metode *power spectral* dengan mentransformasikan data dari domain jarak ke dalam domain bilangan gelombang memanfaatkan transformasi *Fourier*. Hasil penelitian dengan menggunakan metode transformasi *Fourier* menunjukkan bahwa ketebalan sedimen di Jakarta dari arah selatan ke utara semakin besar, di sekitar Babakan ketebalan diperkirakan 92 meter, sekitar Tongkol, Jakarta Utara diperkirakan 331 meter.

Kata kunci: *power spectral*, anomali gayaberat, ketebalan sedimen

ABSTRACT

Studies of spectral analysis of gravity anomaly data have been carried out to estimate the thickness of sediment. In this study the author did spectral analysis of gravity anomaly data of DKI Jakarta area to know the depth of anomaly source which corresponds to the thickness of sediment. The data used in the form of gravity data from BMKG 2014 with 197 locations of measurement points spread in coordinates 6.08° - 6.36° N and 106.68° - 106.97° E. This study used the power spectral method by transforming the data from the distance domain into the wavenumber domain utilizing the Fourier transform. The result of the research using Fourier transform method shows that the thickness of sediment in Jakarta from south to north is getting bigger, in Babakan the thickness of the sediment is around 92 meter, in Tongkol, North Jakarta is around 331 meter.

Keywords: *power spectral*, *gravity anomaly*, *sediment thickness*

PENDAHULUAN

Metode gayaberat sensitif terhadap perubahan vertikal sehingga banyak digunakan untuk mempelajari struktur batuan dan struktur geologi dalam lintasan melintang. Dari pengukuran gayaberat yang dilakukan, akan didapatkan nilai anomali gayaberat akibat perbedaan massa jenis atau densitas batuan di bawah permukaan bumi.

Penelitian dengan analisis *power spectral* data anomali gayaberat telah banyak dilakukan untuk estimasi ketebalan sedimen (Tso *et al.*, 1992). Indriana (2008) melakukan kajian data anomali gayaberat dengan analisis *power*

spectral untuk memperkirakan ketebalan sedimen dan ketebalan lapisan diskontinuitas Mohorovicic di wilayah Jawa Timur. Chamoly (2010) melakukan studi analisis spektral data gayaberat di Gunung Himalaya, untuk mengetahui estimasi kedalaman bawah permukaan Gunung Himalaya. Damayanti (2014) melakukan studi pada zona subduksi selatan Jawa menggunakan analisis spektral data anomali Bouguer berkaitan dengan aktivitas seismik dan tsunami wilayah tersebut.

Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan kajian data anomali gayaberat menggunakan metode *power spectral*, untuk

melihat struktur bawah permukaan dan untuk memperkirakan kedalaman sedimen wilayah Jakarta. Jakarta adalah kota yang padat penduduk dan sering merasakan getaran gempabumi yang berpusat di sekitar Selat Sunda dan zona penyusupan selatan Jawa. Informasi kedalaman sedimen di Jakarta sangat penting karena gelombang seismik yang merambat di lapisan sedimen akan teramplifikasi sehingga efek getaran gempabumi dapat semakin merusak (Field & Jacob, 1993).

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gayaberat dari BMKG tahun 2014 dengan menggunakan survei gayaberat relatif. Data ini merupakan data yang diolah dengan beberapa koreksi pengukuran gayaberat, seperti koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi Terain (Gosar, 2007). Setelah dikoreksi, data berupa Anomali Bouguer Lengkap (CBA) akan diplot menggunakan program *Surfer 11*. Data diperoleh dari 197 lokasi titik pengukuran yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Titik Pengukuran Gayaberat.

Metode yang penulis gunakan yaitu metode *power spectral* pada data anomali Bouguer. Metode ini digunakan untuk mengetahui kedalaman sumber anomali, dengan mentransformasikan dalam deret *Fourier* dari domain jarak/ruang ke dalam domain bilangan gelombang (Uang & Bertero, 1988). Pada dasarnya transformasi dalam domain jarak/ruang sama dengan transformasi dalam domain waktu.

Untuk mendapatkan nilai estimasi kedalaman regional, residual, dan noise pada suatu wilayah, dilakukan transformasi *Fourier* terhadap data anomali Bouguer di wilayah tersebut dengan tahapan pertama yakni menghitung nilai gayaberat lintang dan koreksi gayaberat di tiap titik pengamatan.

Data pengukuran gayaberat yang telah dikoreksi tide, drift, dan diikat terhadap g ikat sehingga menghasilkan g absolut. Pada data g

absolut dilakukan koreksi lintang (g_n), koreksi udara bebas (FAC), koreksi Bouguer (BC), dan koreksi terrain (TC) sehingga didapatkan Anomali Bouguer Lengkap (CBA) dalam mGal, yang diberikan persamaan berikut :

$$CBA = g_{\text{absolut}} - (g_{\text{koreksi}})$$

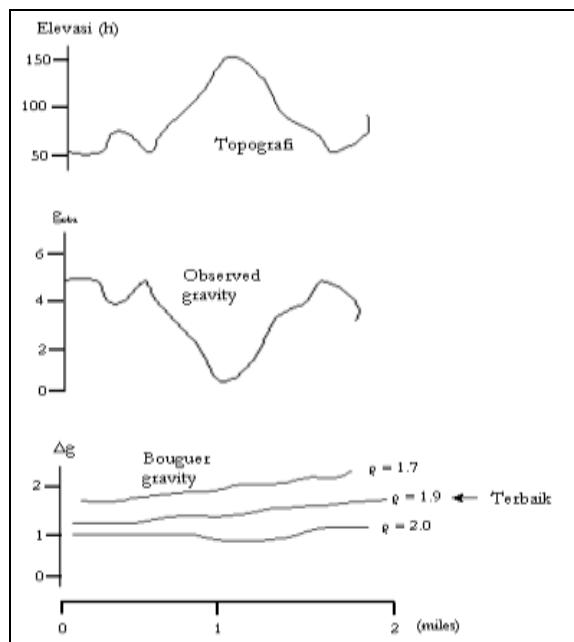
$$CBA = g_{\text{absolut}} - (g_n \pm FAC + BC - TC)$$

$$CBA = g_{\text{absolut}} - (g_n \pm FAC + BC) \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

CBA	= Anomali Bouguer Lengkap (mgal)
g_{absolut}	= Nilai gayaberat absolut (mgal)
g_{koreksi}	= Nilai gayaberat yang sudah dikoreksi (mgal)
g_n	= Nilai gayaberat normal(mgal)
h	= Elevasi titik amat (m)
ρ	= Estimasi densitas (gr/cm ³)

Tahapan kedua menghitung nilai estimasi densitas batuan dengan metode Nettleton. Metode Nettleton digunakan untuk mendapatkan estimasi densitas batuan yang cocok untuk wilayah yang diamati, didasarkan pada pengertian tentang Koreksi Bouguer dan Koreksi Medan, dimana jika rapat massa atau densitas batuan yang digunakan sesuai dengan rapat massa permukaan maka penampang anomali gayaberat menjadi *smooth* atau mulus. Contoh estimasi densitas metode Nettleton bisa dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Estimasi densitas batuan dengan metode Nettleton (Telford *et al.*, 1990).

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N \delta(\Delta_i)}{\sum_{i=1}^N (\delta)} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

k = Estimasi densitas (gr/cm^3)
 $\delta(\Delta g)$ = Selisih nilai CBA di 1 stasiun

dengan stasiun acuan (mgal)

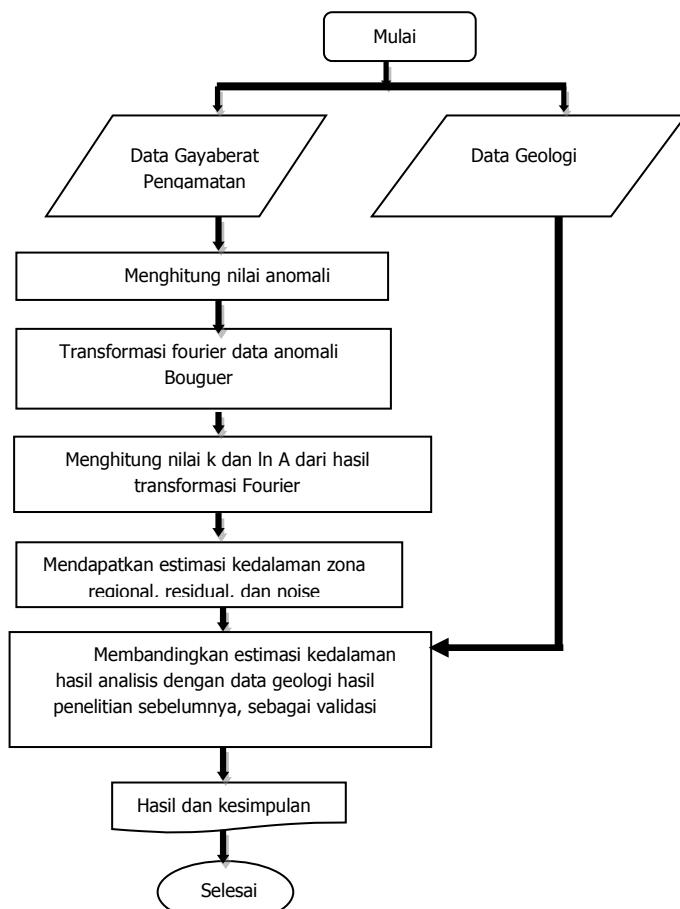
δh = Selisih elevasi di 1 stasiun
dengan stasiun acuan (m)

N = Jumlah stasiun

Secara kuantitatif metode ini menerapkan korelasi silang antara perubahan elevasi terhadap referensi tertentu dengan anomali gayaberatnya. Nilai korelasi silang terkecil merupakan densitas permukaan rata-rata terbaik.

Tahapan ketiga memplot anomali Bouguer menggunakan program Surfer 11 dengan membuat digitasi *slicing* yang akan diiris. Kemudian estimasi kedalaman regional, residual, dan noise didapat dengan melihat nilai gradien tiap persamaan. Pada peta anomali Bouguer DKI Jakarta dibuat 20 *slicing* arah barat-timur untuk mendapatkan profil anomali. *Slicing* atau lintasan arah barat-timur akan menginterpretasikan profil anomali kedalaman utara-selatan wilayah DKI Jakarta.

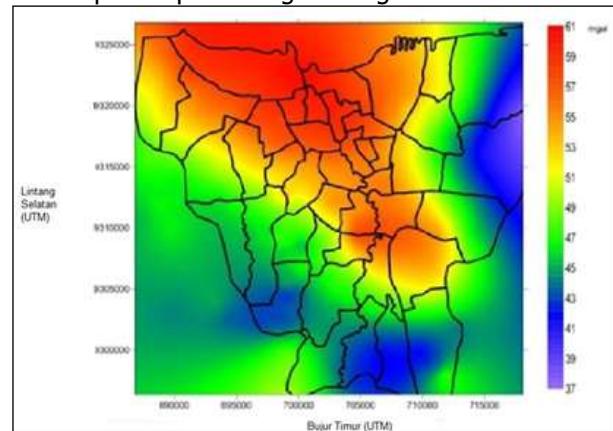
Pada penelitian ini, hasil analisis perhitungan divalidasi dengan data geologi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer Wilayah DKI Jakarta

Anomali Bouguer merupakan salah satu jenis anomali gayaberat. Peta anomali Bouguer di wilayah DKI Jakarta pada **Gambar 4** secara umum memiliki nilai anomali dalam rentang 37-60 mgal. Anomali rendah 37-46 mgal terkonsentrasi di wilayah bagian selatan, timur, serta timur laut. Kemudian nilai anomali tinggi 55-60 mgal terkonsentrasi di bagian utara dan beberapa tempat di bagian tengah.



Gambar 4. Peta Anomali Bouguer DKI Jakarta.

Dari gambaran peta anomali tersebut anomali gayaberat tinggi di bagian utara mengindikasikan keberadaan benda/batuhan atau struktur penyebab anomali yang memanjang di area tersebut. Anomali gayaberat tinggi di wilayah Jakarta Utara berasosiasi dengan adanya subsidensi dan intrusi air laut, nilai anomali gayaberat yang rendah di selatan Jakarta disebabkan karena pengurangan massa di bawah permukaan bumi (Octonovrilna, 2009). (Nurwidjanto, 2004) menyebutkan subsidensi akan menambah nilai gayaberat di suatu tempat karena subsidensi menyebabkan jarak ke pusat bumi makin kecil, sedangkan intrusi air laut akan menambah densitas di bawah permukaan bertambah yang akan menambah gaya gayaberat bumi.

Analisis Power spectral Data Anomali Gayaberat

Analisis power spektral adalah analisis harmonik yang digunakan untuk menganalisis berbagai fenomena osilator harmonik di alam (Indriana, 2008). Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan distribusi spektrum dari suatu fenomena alam dan memberikan karakteristik fenomena tersebut. Analisis spektral data anomali gayaberat digunakan untuk mengetahui kedalaman sumber anomali, dengan mentransformasikan dalam deret Fourier domain jarak/ruang ke bilangan gelombang. Pada dasarnya transformasi dalam domain jarak/ruang

sama halnya dengan transformasi dalam domain waktu.

Bentuk transformasi Fourier dari domain waktu ke domain frekuensi adalah:

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ix} \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

- k = Bilangan gelombang
- $f(x)$ = Sinyal domain waktu
- $F(k)$ = Sinyal domain frekuensi

Pada analisis spektral data anomali gayaberat pada satu penampang lintang (*cross section*) dapat ditransformasikan dalam deret Fourier (Blakely, 1995):

$$F(U) = \gamma \mu \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{dimana } F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{ik}}{r} \dots \dots \dots (5)$$

dengan:

U = Potensial gayaberat

μ = Anomali rapat massa

γ = Konstanta gayaberat

r = Jarak (m)

sehingga persamaannya menjadi:

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{ik}}{r} \dots \dots \dots (6)$$

Transformasi Fourier untuk setiap lintasan data anomali Bouguer (SBA) yang dipilih menjadi:

$$\begin{aligned} F(gz) &= \gamma\mu F \\ &= \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} \\ F(gz) &= 2\pi\gamma\mu e^{ik} \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

dimana:

gz = Anomali gayaberat (mgal)

k = Bilangan gelombang

z_0 = Ketinggian titik amat (m)

z = Kedalaman benda anomali (m)

Jika distribusi rapat massa bersifat random, sehingga tidak ada korelasi yang terjadi pada nilai gayaberat, maka μ dianggap 1, sehingga Transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi:

$$A = C e^{ik} \dots \dots \dots (8)$$

dimana:

A = Amplitudo

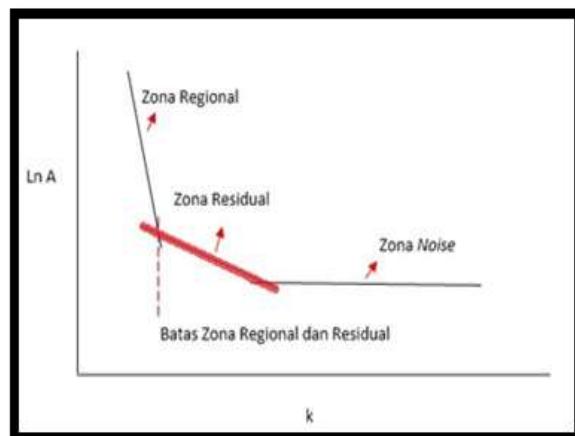
C = Konstanta

Untuk mendapatkan hubungan langsung antara Amplitudo (A), bilangan gelombang (k), dan kedalaman ($z_0 - z$), dapat dilakukan dengan melogaritmakan persamaan (7). Sehingga didapat persamaan garis lurus antara spektrum

amplitudo ($\ln A$) dan bilangan gelombang (k).

$$\ln A = |k|(z_0) \dots \dots \dots (9)$$

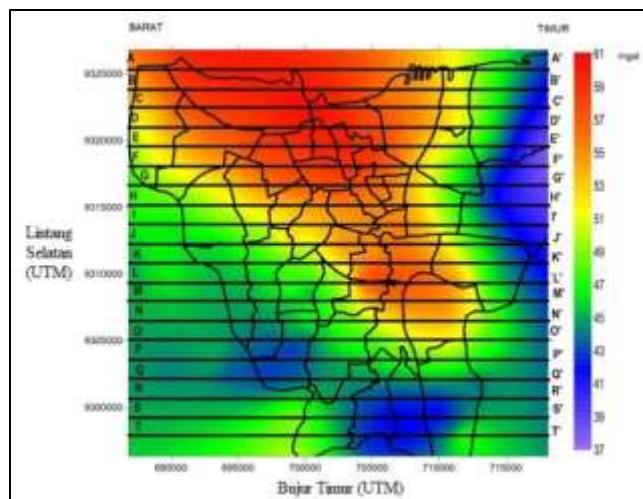
Dari persamaan (8) kita dapat membuat pola hasil transformasi Fourier perbandingan antara $\ln A$ dan k untuk mengklasifikasikan kedalaman anomali regional dan residual.



Gambar 5. Pola hasil transformasi dalam domain spasial yang digunakan untuk mengestimasi kedalaman (Indriana, 2008).

Estimasi kedalaman didapatkan dari nilai hasil gradien persamaan garis lurus di atas. Estimasi kedalaman regional adalah hasil nilai gradien linier zona regional, dan estimasi kedalaman residual adalah hasil nilai gradien linier zona residual. Estimasi kedalaman zona residual yang diberi warna merah pada **Gambar 5** diasumsikan sebagai nilai estimasi kedalaman sedimen.

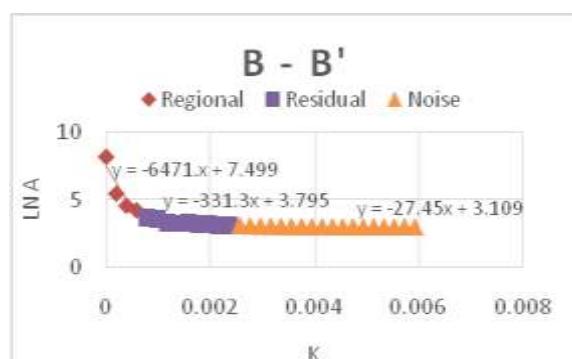
Pada penelitian ini, lintasan anomali Bouguer yang dibuat untuk analisis *power spectral* sebanyak 20 lintasan dapat dilihat pada **Gambar 6**.



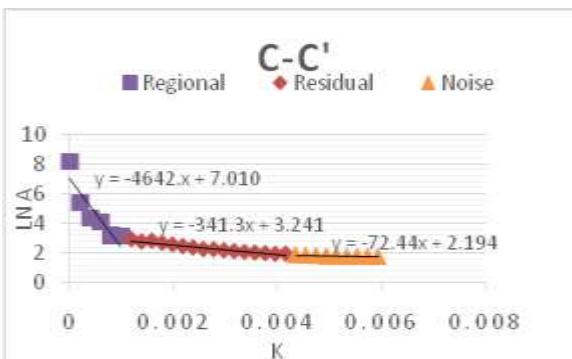
Gambar 6. Peta Kontur Anomali Bouguer dengan 20 Lintasan

Dari 20 irisan yang dilakukan pada arah barat-timur, diketahui masing-masing nilai estimasi kedalaman anomali regional dan residual dari wilayah utara hingga wilayah selatan Jakarta. Anomali regional berkaitan dengan sumber anomali yang lebih dalam, sedangkan anomali residual berkaitan dengan sumber anomali yang dangkal (Indriana, 2008).

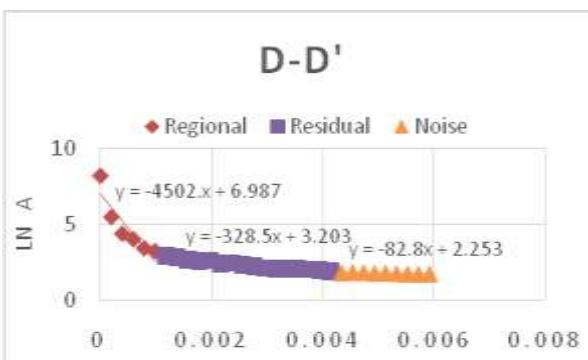
Dalam penelitian ini, anomali regional berkaitan dengan lapisan sedimen tersier atau pre-kuarter, dan anomali residual berasosiasi dengan lapisan sedimen kuarter, asumsi ini didukung dengan data geologi wilayah DKI Jakarta. Berikut ini merupakan hasil beberapa analisis *power spectral*.



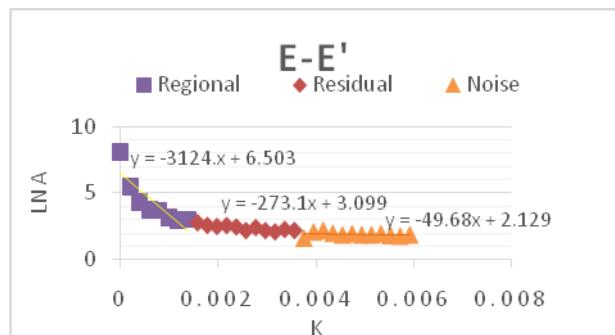
Gambar 7. Analisis *Power Spectral* Lintasan B-B' DKI Jakarta.



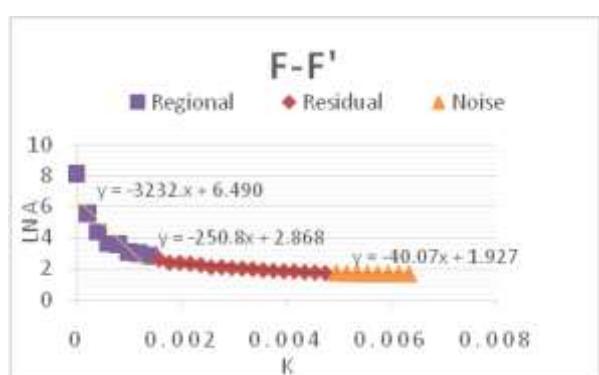
Gambar 8. Analisis *Power Spectral* Lintasan C-C' DKI Jakarta.



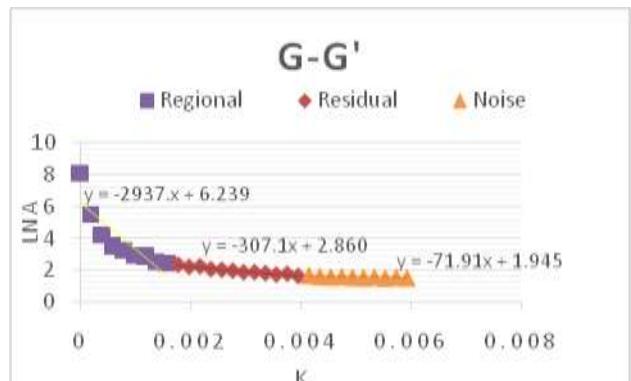
Gambar 9. Analisis *Power Spectral* Lintasan D-D' DKI Jakarta.



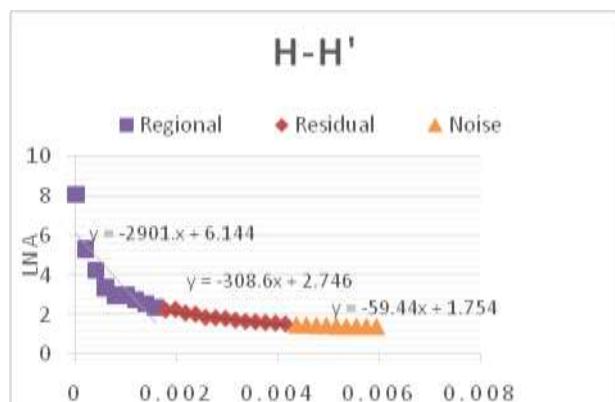
Gambar 10. Analisis *Power Spectral* Lintasan E-E' DKI Jakarta.



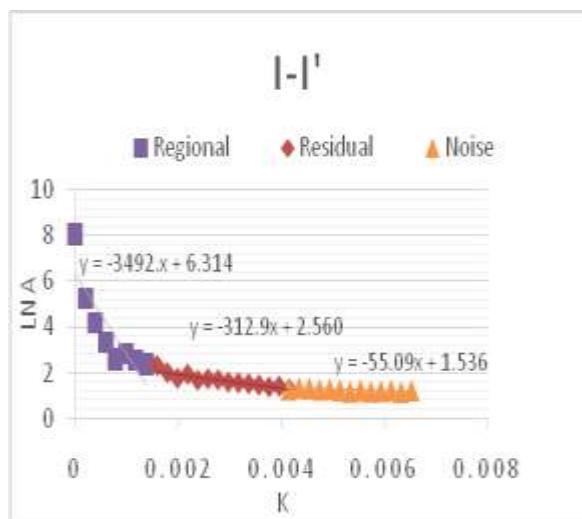
Gambar 11. Analisis *Power Spectral* Lintasan F-F' DKI Jakarta.



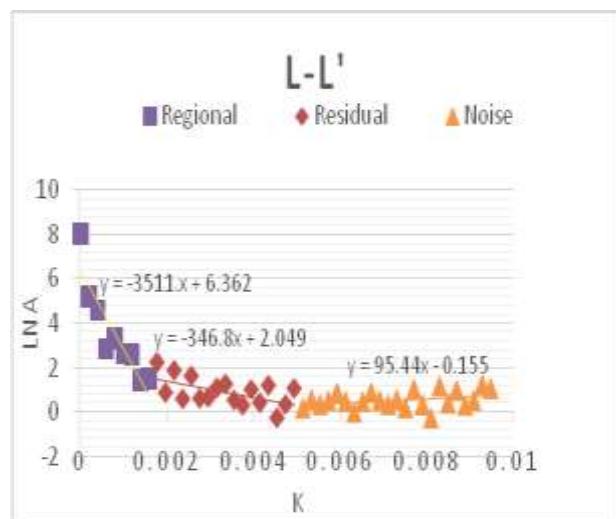
Gambar 12. Analisis *Power Spectral* Lintasan G-G' DKI Jakarta.



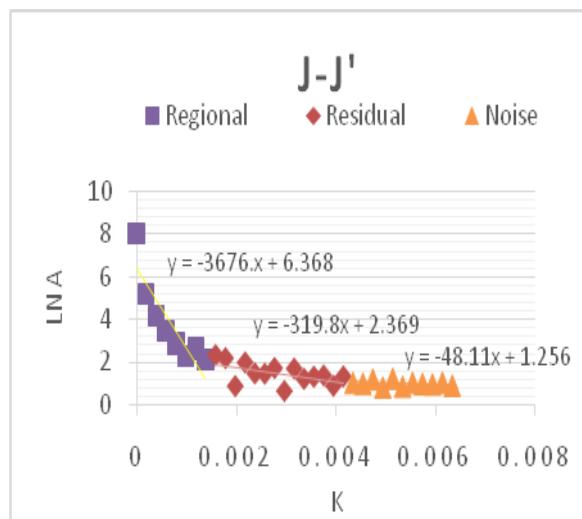
Gambar 13. Analisis *Power Spectral* Lintasan H-H' DKI Jakarta.



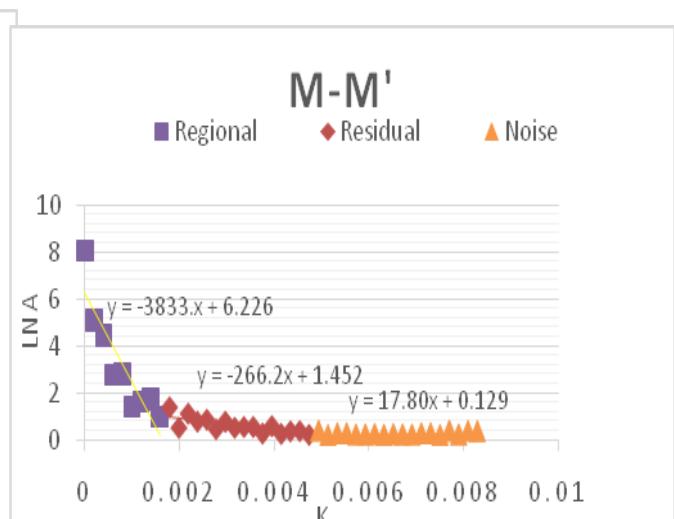
Gambar 14. Analisis Power Spectral Lintasan I-I' DKI Jakarta.



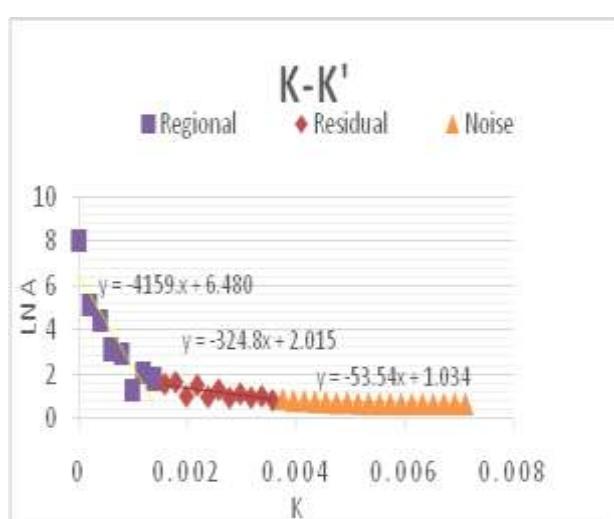
Gambar 17. Analisis Power Spectral Lintasan L-L' DKI Jakarta.



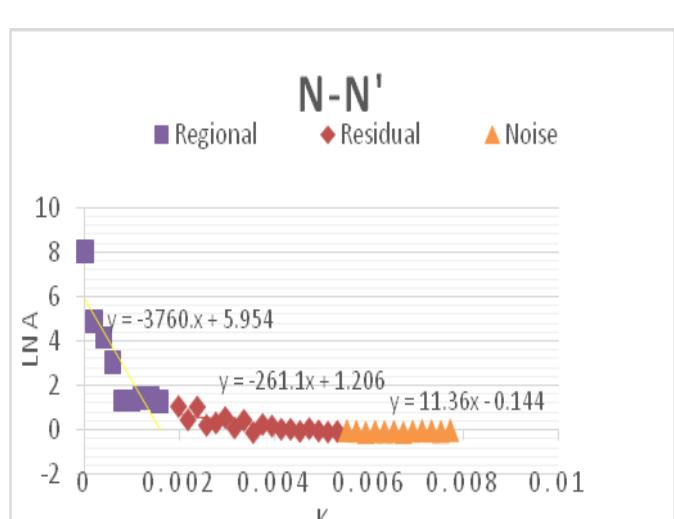
Gambar 15. Analisis Power Spectral Lintasan J-J' DKI Jakarta.



Gambar 18. Analisis Power Spectral Lintasan M-M' DKI Jakarta.



Gambar 16. Analisis Power Spectral Lintasan K-K' DKI Jakarta.



Gambar 19. Analisis Power Spectral Lintasan N-N' DKI Jakarta.

Tabel 1. Estimasi Kedalaman Anomali Regional dan Residual di DKI Jakarta Utara hingga Jakarta Selatan.

Lintasan	Kecamatan	Kedalaman Anomali Regional (meter)	Kedalaman Anomali Residual (meter)
A-A'	Kalideres Bagian Utara, Cilincing Bagian Utara	5534	348
B-B'	Kalideres Bagian Tengah, Penjaringan, Koja, dan Cilincing	6471	331
C-C'	Kalideres Bagian Tengah, Penjaringan, Pademangan Utara, Koja, dan Cilincing	4642	341
D-D'	Kalideres, Cengkareng, Penjaringan, Pademangan, Tanjung Priok, dan Cilincing	4502	328
E-E'	Kalideres Bagian Selatan, Cengkareng, Tambora, Taman Sari, Sawah Besar, Kemayoran, dan Kelapa Gading Bagian Selatan	3124	273
F-F'	Kalideres dan Cengkareng Bagian Selatan, Grogol, Petamburan, Kemayoran dan Kelapa Gading Bagian Selatan	3233	251
G-G'	Kembangan, Kebon Jeruk, Gambir Bagian Selatan, Cempaka Putih, Pulo Gadung, dan Cakung	2937	307
H-H'	Kembangan dan Kebon Jeruk Bagian Selatan, Palmerah, Tanah Abang, Menteng, Pulo Gadung dan Cakung Bagian Tengah	2901	307
I-I'	Kembangan dan Kebon Jeruk Bagian Selatan, Tanah Abang Selatan, Matraman, Pulogadung dan Cakung Bagian Selatan	3492	313
J-J'	Kebayoran Lama Bagian Utara, Tanah Abang Selatan, Setiabudi, Tebet, Jatinegara, dan Duren Sawit Bagian Utara	3676	320
K-K'	Pesanggrahan, Kebayoran Lama Bagian Tengah, Kebayoran Baru, Setiabudi, Tebet, dan Jatinegara Bagian Tengah, dan Duren sawit Bagian Tengah	4159	325
L-L'	Pesanggrahan Bagian Tengah, Kebayoran Lama dan Kebayoran Baru Bagian Tengah, Mampang Prapatan, Pancoran, Makasar, Duren Sawit	3512	347
M-M'	Pesanggrahan Bagian Selatan, Kebayoran Lama dan Kebayoran Baru Bagian Selatan, Mampang Prapatan, Pancoran Selatan, Kramat Jati, Makasar	3834	266
N-N'	Pesanggrahan, Cilandak, Pasar Minggu, Kramat Jati dan Makasar Bagian Tengah	3760	260
O-O'	Kebayoran Lama Bagian Selatan, Cilandak, Kramat Jati, dan Makasar Bagian Selatan	4489	293
P-P'	Cilandak, Pasar Minggu, Pasar rebo, Ciracas, dan Cipayung Bagian Utara	4208	220
Q-Q'	Cilandak dan Pasar Rebo Bagian Selatan, Ciracas, dan Cipayung Bagian Tengah	3736	170
R-R'	Jagakarsa, Pasar Rebo Ciracas dan Cipayung Bagian Tengah	3047	112
S-S'	Jagakarsa, Pasar Rebo Ciracas dan Cipayung Bagian Tengah	2646	98
T-T'	Jagakarsa, Pasar Rebo Ciracas dan Cipayung Bagian Selatan	1958	92

Gambar 7 hingga **Gambar 19** menunjukkan tiga segmen linear yang berbeda, kontras densitas di tiap segmen menggambarkan sumber yang dalam dan dangkal (Studinger *et al.*, 1997). Pada **Tabel 1**, dua segmen linear pertama dari kurva hasil analisis *power spectral* ditafsirkan sebagai Kedalaman Anomali Regional dan Residual, lalu apabila **Gambar 6** ditumpangsusunkan dengan peta administrasi

daerah DKI Jakarta, kita akan mengetahui nilai rata-rata kedalaman anomali regional dan residual tiap kecamatan di DKI Jakarta yang dilintasi irisan.

Pada **Tabel 2**, nilai Kedalaman Anomali Regional dan Residual didapat dari 20 irisan yang dilakukan pada arah utara-selatan, dan didapat juga nilai rata-rata kedalaman anomali regional

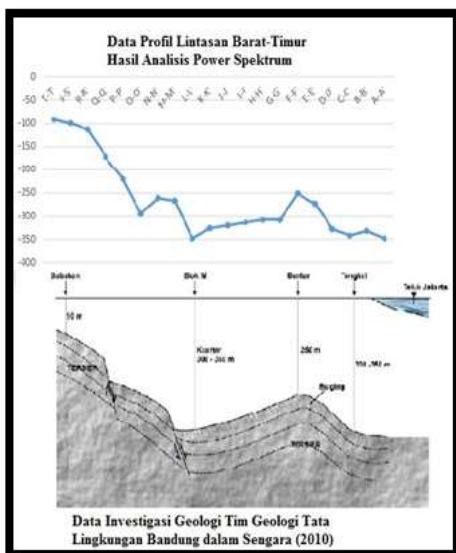
dan residual tiap kecamatan di DKI Jakarta yang dilintasi irisan.

Dari hasil analisis *power spectral* yang dilakukan di DKI Jakarta dengan arah barat-timur dan utara-selatan, didapat 40 kedalaman anomali regional dan residual. Anomali regional berkaitan dengan lapisan sedimen tersier atau pre-kuarter, dan anomali residual berasosiasi dengan lapisan sedimen kuarter, asumsi ini didukung dengan data geologi wilayah DKI Jakarta.

Dalam irisan barat-timur yang menyatakan kedalaman sedimen dari Jakarta Utara ke Selatan, diketahui rentang sedimen berada di kedalaman 90-390 meter. Hal ini dikuatkan dengan hasil investigasi geologi oleh Tim Geologi Tata Lingkungan Bandung yang membuat profil lintasan tanah dari Jakarta Selatan hingga Utara. Profil lintasan tersebut memperkirakan kedalaman batuan dasar wilayah DKI Jakarta dari selatan hingga ke utara.

Tabel 2. Estimasi Kedalaman Anomali Regional dan Residual di DKI Jakarta Barat hingga Jakarta Timur.

Lintasan	Kecamatan	Kedalaman Anomali Regional (meter)	Kedalaman Anomali Residual (meter)
U-U'	Kalideres Bagian Barat	6984	406
V-V'	Kalideres Bagian Timur	6894	428
W-W'	Penjaringan Bagian Barat dan Cengkareng Bagian Barat	6810	395
X-X'	Penjaringan dan Cengkareng Bagian Barat, Kembangan dan Pesanggrahan Bagian Barat	6792	493
Y-Y'	Penjaringan dan Cengkareng Bagian Barat tengah, Kembangan dan Pesanggrahan Bagian Barat tengah	6962	444
Z-Z'	Penjaringan, Grogol, Kebon Jeruk, Pesanggrahan Bagian Timur	6619	516
AA-AA'	Penjaringan, Petamburan, Palmerah, Kebayoran Baru Bagian Timur, dan Cilandak Bagian Timur	5214	350
AB-AB'	Penjaringan Bagian Timur, Tambora, Petamburan Timur, Palmerah Timur, Kebayoran Baru Timur, dan Cilandak	6696	376
AC-AC'	Taman Sari, Tanah Abang, Kebayoran Baru, Cilandak Timur	7599	307
AD-AD'	Pademangan, Sawah Besar, Gambir, Tanah Abang Timur, Setiabudi, Mampang Prapatan Barat, Pasar Minggu, Jagakarsa Timur	4422	321
AE-AE'	Pademangan, Sawah Besar Timur, Menteng, Setiabudi Timur, Pancoran Barat, Pasar minggu, Jagakarsa Timur	8845	257
AF-AF'	Pademangan Timur, Kemayoran, Cempaka Putih, Tebet, Pancoran, Pasar minggu Timur, Pasar rebo tengah	5319	346
AG-AG'	Tanjung Priok, Kemayoran Timur, Cempaka Putih timur, Matraman dan Jatinegara Barat, Kramat Jati, dan Pasar Rebo Timur	3540	334
AH-AH'	Pesanggrahan, Cilandak, Pasar Minggu, Kramat Jati dan Makasar Bagian Tengah	8013	198
AI-AI'	Tanjung Priok Bagian Timur, Kelapa Gading Bagian Barat, Pulo Gadung Tengah, Jatinegara Timur, Makasar, Cipayung Barat	7839	141
AJ-AJ'	Koja Bagian Barat, Kelapa Gading, Pulo Gadung Timur, Duren Sawit, Makasar, Cipayung	4310	263
AK-AK'	Koja dan Kelapa Gading Bagian Timur, Cakung Bagian Barat, Duren Sawit, Cipayung	7446	242
AL-AL'	Cilincing Bagian Barat, Cakung, dan Duren Sawit	6215	169
AM-AM'	Cilincing Bagian Barat, Cakung, dan Duren Sawit Bagian Tengah	7725	167
AN-AN'	Cilincing Bagian Barat, Cakung Timur, dan Duren Sawit Bagian Selatan	8288	160



Gambar 20. Profil Kedalaman Sedimen dari Selatan hingga Utara Dilihat dari Timur Dibandingkan dengan Data Geologi.

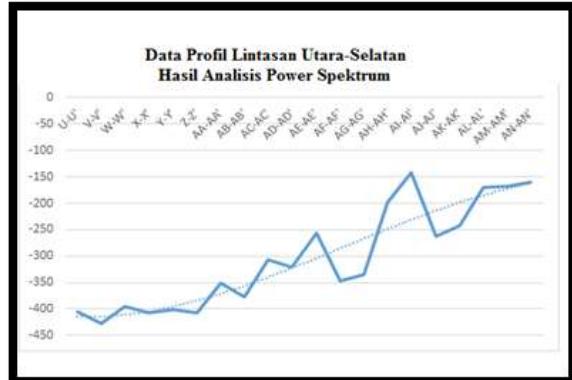
Dari **Gambar 20** didapat kesamaan nilai kedalaman sedimen di beberapa titik daerah penelitian, yakni Babakan, dalam irisan T-T' didapat di kedalaman 92 meter sedangkan data investigasi geologi menyatakan 90 meter; kemudian Blok M, dalam irisan L-L' didapat di kedalaman 347 meter sedangkan data investigasi geologi menyatakan 300-350 meter; Sunter, dalam irisan F-F' didapat di kedalaman 251 meter sedangkan data investigasi geologi menyatakan 250 meter; dan titik terakhir wilayah utara Jakarta, Tongkol, dalam irisan B-B' didapat di kedalaman 331 meter sedangkan data investigasi geologi menyatakan 300-350 meter. Peta Lokasi Titik Pemboran Babakan, Blok M, Sunter dan Tongkol dapat dilihat pada **Gambar 21**.



Gambar 21. Peta Lokasi Titik Pemboran Data Tim Investigasi Geologi Bandung.

Irisan utara-selatan menyatakan kedalaman sedimen dari Jakarta Barat ke Timur, diketahui rentang sedimen berada di kedalaman 140-430 meter seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 22**. Profil lintasan batuan dasar barat-timur ini

tidak dapat dibandingkan dengan data dukung geologi. Penelitian tentang estimasi kedalaman batuan dasar banyak dilakukan di lintasan selatan-utara, karena dimungkinkan terjadi intrusi air laut di wilayah DKI Jakarta dimulai dari wilayah utara Jakarta.



Gambar 22. Profil Kedalaman Sedimen Barat-Timur Dilihat dari Selatan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa anomali gayaberat wilayah DKI Jakarta menunjukkan area anomali gayaberat tinggi umumnya terdapat di bagian utara dan beberapa tempat di bagian tengah, anomali rendah ditunjukkan terkonsentrasi di wilayah bagian selatan, timur, serta timur laut. Kedalaman anomali residual berkaitan dengan ketebalan sedimen wilayah DKI Jakarta dari selatan ke utara dengan nilai ketebalan sedimen yang semakin besar. Di daerah Babakan ketebalan diperkirakan 92 meter dan Tongkol - Jakarta Utara diperkirakan 331 meter. Hasil analisis *power spectral* anomali gayaberat DKI Jakarta ini bersesuaian dengan penelitian geologi sebelumnya oleh Tim Geologi Tata Lingkungan Bandung (Sengara, 2010) tentang keadaan dan struktur sedimentasi cekungan DKI Jakarta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bidang Geofisika Potensial dan Tanda Waktu BMKG yang membantu penulis dalam pemanfaatan data gayaberat.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, USA.
- Chamoly, A. & V.P. Dimri, (2010). *Spectral Analysis of Gravity Data of NW Himalaya*. Proceeding of EGM 2010 International Workshop. Capry. Italy.
- Damayanti, D. (2014). *Studi Zona Subduksi Wilayah Selatan Jawa Dengan Metode Gaya Berat Hubungannya Dengan Seismisitas*. Skripsi

- Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta. 88 hlm.
- Field, E. & K. Jacob. (1993). The Theoretical Response of Sedimentary Layers to Ambient Seismic Noise. *Geophysical Research Letter*, 20(24):2925–2928.
- Gosar, A. (2007). Microtremor HVSR Study for Assessing Site Effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998 Mw 5.6 and 2004 Mw 5.2 Earthquake. *Elsevier Engineering Geology*, 91:193.
- Indriana, R.D. (2008). Estimasi Ketebalan Sedimen dan Kedalaman Diskontinuitas Mohorovicic Daerah Jawa Timur dengan Analisis Power Spectrum Data Anomali Gravitasi. *Berkala Fisika*, 11(2):67–74.
- Nurwidjanto, I. (2004). *Aplikasi Metode Mikrogravity 4D dan Levelling untuk Pemantauan Intrusi Air Laut dan Amblesan Tanah Daerah Semarang Bawah Jawa Tengah*. Laporan Penelitian Hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi. Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi, FMIPA Universitas Dipenogoro, Semarang.
- Octonovrilna, L. (2009). *Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi Dengan Persebaran Intrusi Air Asin (Studi Kasus Jakarta 2006-2007)*. Tugas Akhir Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta. 92 hlm.
- Sengara, I.W. (2010). *Laporan Akhir Pendayagunaan Peta Mikrozonasi Gempa di DKI Jakarta*. Pusat Mitigasi Bencana ITB. Bandung.
- Studinger, M., R.G. Kurin, N.D. Aleshkova, & H. Miller. (1997). Power Spectra Analysis of Gravity Data from the Weddel Sea Embayment and Adjacent Areas. *Terra Antartica*, 4(1):23-26.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, & R.E. Sheriff. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. USA.
- Tso, W.K., T.J. Zhu, & A.C. Heidebrecht. (1992). Engineering Implication of Ground Motion A/V Ratio. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 11:133-144.
- Uang, C.M. & V.V. Bertero. (1988). *Implication of Recorded Earthquake Ground Motions on Seismic Design Building Structures*. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-88/13.

Penentuan Jenis Citra Satelit Dalam Interpretasi Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Pengolahan Algoritma Cahaya Tampak

(Studi Kasus: Wilayah Pesisir Sanur)

*Determination of Satellite Imagery to Interpret Seagrass Ecosystem Area by Using Visible Wavelength Algorithm Processing
(Case Study: Sanur Coast Area)*

Resha Chistian Yanuar¹, Rizki Hanintyo², Anggi Afif Muzaki^{1,3}

Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Surya¹

Kelompok Kepakaran Penginderaan Jauh Kelautan, Balai Riset dan Observasi Laut - KKP²

Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor³

Jl. M.H Thamrin Km 2,7 Tangerang, Banten-Indonesia

E-mail: yanuar.oey20@gmail.com

Diterima (received): 31 Juli 2017; Direvisi (revised): 23 Januari 2018; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 28 Februari 2018

ABSTRAK

Peran dan manfaat ekosistem lamun secara ekologis merupakan hal yang harus diamati secara terperinci, terlebih potensi kerusakan yang dapat terjadi. Pemantauan kondisi ekosistem tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Dalam penelitian ini, algoritma Lyzenga digunakan untuk mengolah nilai piksel yang ada pada citra satelit Landsat-8 dan Sentinel-2. Aplikasi algoritma Lyzenga akan menghasilkan nilai yang menunjukkan identitas dari objek yang terdapat di perairan pesisir. Hasil tersebut kemudian diproses melalui pengelasan terbimbing dengan dilakukannya pemotongan kerapatan dalam rentangan Lyzenga, yang kemudian dihitung akurasinya. Hasil perhitungan akurasi menunjukkan angka 60,81% untuk citra Landsat-8 terkoreksi *Top of Atmosphere (ToA)* dengan titik acuan berjarak 30 meter, dan 60,18% untuk citra Sentinel-2 terkoreksi *ToA* dengan titik acuan berjarak 10 meter. Kedua nilai akurasi tersebut menunjukkan bahwa kedua jenis citra satelit mampu digunakan sebagai data untuk pemantauan objek pesisir, namun dengan kriteria acuan yang berbeda.

Kata kunci: perhitungan akurasi, Lyzenga, citra Sentinel-2, citra Landsat, ekosistem lamun

ABSTRACT

The ecological roles of Seagrass Ecosystem a matter to be observed in detail, especially for the potential damage that can occur. Ecosystem's health can be monitored by utilizing remote sensing technology. Lyzenga algorithm was used in this research to extract the pixel value on Landsat-8 and Sentinel-2 imageries. The process of applied Lyzenga algorithm will reveal the identities of water objects. The result was classified by using supervised density slicing method, and then its accuracy be calculated. The overall accuracy of Landsat- 8 Top of Atmosphere (ToA) Corrected with 30 meters away reference points is 60.81%, and 60.18% for Sentinel-2 ToA Corrected with 10 meters away reference points. Both accuracy values indicate that both satellite imagery can be used in order to monitor the coastal objects, with certain reference criteria.

Keywords: accuracy assessment, Lyzenga, Sentinel-2 imagery, Landsat imagery, seagrass ecosystem

PENDAHULUAN

Ekosistem lamun merupakan komponen pendukung wilayah pesisir dan pantai yang memiliki berbagai fungsi ekologis (Kawaroe *et al.*, 2016). Peranan ekosistem ini adalah antara lain untuk menyokong kestabilan wilayah pesisir dari ancaman sedimentasi, yakni dengan adanya fungsi dari akar-akar lamun yang dapat meredam kekuatan energi gelombang dan arus menuju pantai. Selain dari pada itu, ekosistem lamun memiliki fungsi yang penting dalam siklus ekosistem di laut, yaitu adanya ketersediaan nutrisi, makanan, serta tempat

perlindungan bagi peranakan biota-biota laut (EPA, 1998 ; McKenzie & Yoshida, 2009; Kawaroe *et al.*, 2016). Fungsi ekosistem lamun semakin terancam oleh aktivitas manusia yang secara tidak langsung berdampak pada keutuhannya (McKenzie *et al.*, 2013). Adapun kejadian kerusakan ekosistem lamun di Sanur, Bali, dimana ditemukan beberapa potongan daun lamun, bahkan hingga akarnya di beberapa tempat di Sanur, seperti di pantai Karang, pantai Semawang, dan pantai Mertasari. Potongan tubuh lamun tersebut menggambarkan adanya kerusakan di beberapa titik ekosistem lamun di perairan pesisir Sanur. Menurut data KLH

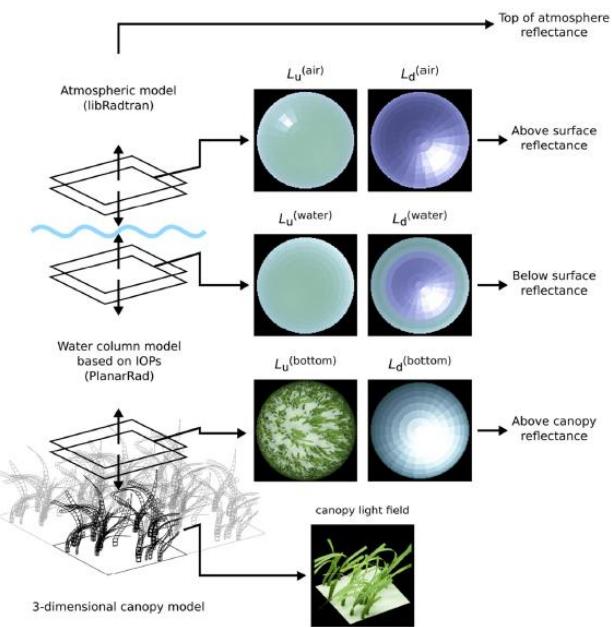
Denpasar tahun 2008, terdapat hamparan vegetasi perairan yang tersebar dari utara sampai selatan perairan pesisir Sanur (KLH Kota Denpasar, 2008). Kerusakan-kerusakan yang timbul pada wilayah ekosistem lamun di pesisir berpotensi menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem pesisir, mulai dari keutuhan wilayah pantai hingga kerusakan terumbu karang (Blakey *et al.*, 2015).

Ada berbagai cara yang dapat diaplikasikan guna mengamati kondisi suatu ekosistem di pesisir, salah satunya adalah dengan menggunakan kombinasi Sistem Informasi Geografis dengan penginderaan jauh. Studi pemantauan padang lamun berbasis spasial telah dilakukan dengan fokus penelitian yang berbeda-beda sejak akhir abad ke-20. Adapun fungsi studi yang dilakukan adalah beragam dan erat dikaitkan dengan kerapatan tutupan lamun, seperti biomassa lamun hingga identifikasi masing individunya (Hedley *et al.*, 2016). Pemantauan padang lamun berbasis spasial juga bisa difungsikan untuk melihat perubahan yang terjadi, baik dalam skala waktu singkat hingga jangka panjang.

Salah satu contoh penelitian yang dilakukan untuk mengkaji ekosistem lamun adalah yang dilakukan oleh Hedley *et al* (2016). Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian Hedley *et al.* adalah dengan membedah tingkat kerapatan dari ekosistem padang lamun pada level masing-masing piksel. Informasi dalam piksel tersebut didapatkan dari pengolahan data citra satelit. Informasi lapisan kanopi yang hendak diteliti, diperoleh dengan cara menghilangkan informasi *bathymetry* dari piksel citra satelit. Seperti yang digambarkan oleh Hedley *et al* (2016) pada **Gambar 1**, informasi citra yang digunakan untuk melihat bagian kanopi dari lamun adalah dengan memanfaatkan nilai pantulan objek yang ada dalam masing-masing piksel.

Ada berbagai sumber citra yang dapat dimanfaatkan untuk mengkaji wilayah pesisir, namun yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit yang dapat diperoleh secara gratis dengan resolusi menengah, yakni Landsat-8 dan Sentinel-2. Namun kedua citra tersebut memiliki resolusi spasial berbeda, sehingga dihasilkannya *output* yang berbeda. Untuk itu penelitian ini akan membandingkan bagaimana pemanfaatan data citra satelit Landsat-8 dan Sentinel-2 terhadap pemantauan wilayah perairan pesisir, dengan fokus pada ekosistem pesisir yang ada di Sanur.

Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini melalui beberapa tahap proses pengolahan. Proses awal pengolahan citra dilakukan untuk mengoreksi segala informasi yang ada pada citra sehingga informasi yang ada dapat merepresentasikan kondisi yang sebenarnya (Baboo & Devi, 2010). Pengolahan dasar dalam rupa koreksi geometrik dan koreksi radiometrik dilakukan untuk mendapatkan kondisi sesuai kenyataan citra satelit (Supriatna & Sukartono, 2002).



Sumber: Hedley *et al.*, 2016

Gambar 1. Model penggambaran tangkapan pantulan lamun oleh sensor

Koreksi geometrik adalah koreksi dasar citra yang dilakukan agar citra memiliki sifat-sifat peta dalam bentuk, skala, dan proyeksi dengan cara mengembalikan posisi masing-masing piksel pada gambar objek di permukaan bumi (LAPAN, 2015). Sedangkan koreksi radiometrik adalah koreksi dasar citra yang dilakukan untuk menghilangkan *noise* yang terdapat pada citra sebagai akibat dari adanya distorsi oleh posisi cahaya matahari, dan salah satu contoh citra satelit yang memerlukan proses ini adalah citra Satelit Landsat (Rahayu & Candra, 2014).

Koreksi geometrik dalam penelitian ini adalah menggunakan metode *non-parametric*, yakni dengan menggunakan hubungan *polynomial* antara koordinat pada piksel citra terhadap titik koordinat yang sebenarnya (Baboo & Devi, 2010). Tahapan yang dilakukan dalam koreksi geometrik secara *non-parametric* meliputi proses rektifikasi dan *resampling*. Proses rektifikasi merupakan proses meletakkan posisi piksel citra kedalam posisi yang sebenarnya (LAPAN, 2015).

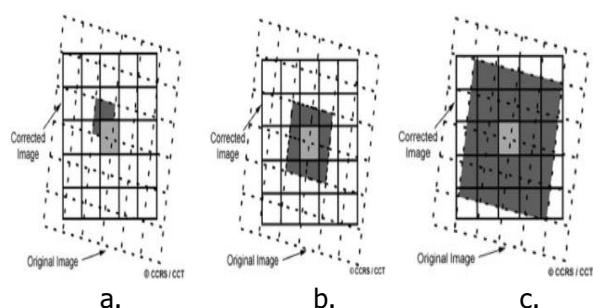
Proses rektifikasi citra dilakukan dengan memanfaatkan titik kontrol tanah (TKT) yang ada. Adapun proses rektifikasi menggunakan TKT harus memenuhi beberapa syarat, yaitu pertama acuan yang digunakan dalam proses rektifikasi dapat berupa peta RBI maupun peta terkoreksi, secara umum proses tersebut terbagi menjadi *image-to-map rectification*, dan *image-to-image rectification*; kedua, Nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) tidak lebih dari 0,5. Nilai RMSE tersebut akan menunjukkan pergeseran piksel citra yang terjadi, yakni dengan perhitungan $r = \text{RMSE}^2 \times \text{resolusi spasial}$ (Prayuda, 2014). Nilai RMSE tersebut harus diulang sedemikian rupa sehingga mendapatkan nilai yang serendah

mungkin agar sesuai dengan kenyataannya; dan ketiga, Proses rektifikasi dapat menggunakan *polynomial* yang terbagi ke dalam 3 orde yang berbeda. Untuk penggunaan *polynomial* dengan orde pertama (*linear*), maka dibutuhkan TKT minimal sebanyak 3 titik, *polynomial* orde kedua membutuhkan minimal 6 TKT, dan minimal 10 TKT untuk *polynomial* orde ketiga (Kurniawan *et al.*, 2015).

Berbeda dengan rektifikasi, *resampling* adalah mengoreksi nilai digital pada setiap piksel yang diubah posisinya pada saat proses rektifikasi terjadi sehingga nilai yang ada dalam piksel kembali seperti semula (baboo & devi, 2010). Ada tiga cara umum yang diterapkan dalam proses piksel resampling, yakni *nearest neighbour*, *bilinear interpolation*, dan *cubic convolution*, seperti yang diilustrasikan dalam **gambar 2**.

Nearest neighbour merupakan proses resampling yang mengoreksi informasi suatu nilai piksel pada citra lama dengan posisi terdekat pada piksel yang telah direktifikasi, sedangkan *bilinear interpolation* merupakan proses resampling yang mengoreksi informasi dalam 4 nilai piksel citra ke dalam posisi terektifikasi. Serupa dengan proses resampling menggunakan *bilinear interpolation*, *cubic convolution* merupakan proses koreksi informasi 16 nilai piksel citra ke dalam posisi terektifikasi. Ketiga jenis resampling ini memiliki beberapa kelebihan maupun kekurangan, seperti yang terlihat pada **Tabel 1**.

Salah satu algoritma yang dapat dimanfaatkan untuk mengklasifikasikan objek di perairan dangkal adalah lyzenga. Algoritma lyzenga, merupakan turunan dari perumusan "Model Pengurangan Eksponensial", dimanfaatkan untuk mengangkat informasi pada badan air seperti kedalaman air, kekeruhan, dan pergerakan permukaan yang terekam pada setiap piksel citra (Rauf & Yusuf, 2004 ; Sagawa, *et al.*, 2011).



Sumber: Baboo & Devi, 2010

Gambar 2. Kalkulasi *Nearest Neighbour Resample* (a), *Bilinear Interpolation* (b), dan *Cubic Convolution* (c).

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan metode *resampling* citra (Baboo & Devi, 2010).

Jenis <i>Resampling</i>	Kelebihan	Kekurangan
Nearest	Proses cepat	"Stairstepped"
Neighbour	dan tidak ada data yang hilang	(kekasaran hasil pada proses <i>resampling</i> ke ukuran grid yang lebih kecil)
Resampling		
Bilinear	Hasil lebih halus, dan tidak ada	Beberapa informasi data yang terkena proses
Interpolation	"Stairstepped"	penghalusan piksel hilang
Resampling		
Cubic	Akurasi tinggi, hasil lebih halus, dan tidak ada	Proses yang dilakukan sangatlah berat, dan kerap kali hasil yang diperolah tidak akan sesuai dengan yang diinginkan dalam pengolahan
Convolution	<i>noise</i> (gangguan informasi)	
Resampling		

Algoritma ini memanfaatkan nilai pantulan objek yang ada pada dasar perairan dangkal. Proses identifikasi objek dalam data citra dapat terbantu dengan menggunakan kunci-kunci dasar interpretasi (Jan, 1993). Adapun beberapa kunci-kunci dasar interpretasi, yakni bentuk, ukuran, warna, pola, bayangan, dan tekstur, yang digunakan untuk memperkuat informasi yang didapatkan dari penerapan algoritma Lyzenga. Proses interpretasi tersebut diperkuat lagi dengan dukungan data lapangan, dalam pemantauan lamun dibutuhkan data lapangan berupa seperti aplikasi metode *quadrat transect* (Adi, 2015).

Disamping itu juga diperlukan proses klasifikasi hasil pengolahan citra, dimana proses tersebut digunakan untuk memperjelas informasi yang ada pada citra guna merepresentasikan kondisi sesungguhnya (Al-Doski *et al.*, 2013). Metode-metode yang digunakan dalam klasifikasi citra dibedakan berdasarkan *tools* dan karakteristik perlakuananya. Metode yang umum digunakan dalam klasifikasi citra pada wilayah pesisir dan perairan adalah dengan memanfaatkan *Supervised Classification* (Blakey *et al.*, 2015).

Hasil pemantauan ekosistem pesisir, khususnya ekosistem lamun, sangat bergantung pada proses-proses spasial dan klasifikasi informasi yang harus dilalui secara tepat. Ketepatan kondisi tersebut juga bergantung pada informasi yang tersedia dalam data-data citra yang digunakan, dimana kondisi informasinya sangat dipengaruhi oleh resolusi spasial pada masing-masing satelit. Beberapa faktor yang berkenaan dengan proses pengelolaan data ekosistem lamun ini akan sangat

penting digunakan untuk proses pemantauan kondisi ekosistem secara utuh.

Citra Landsat-8 Oli/Tirs dan Sentinel-2

Landsat merupakan sebuah citra satelit yang digunakan untuk pemantau bumi sejak tahun 1972. Program pemantauan yang diselenggarakan oleh kerjasama U.S. Geological Survey (USGS) dan lembaga antariksa (NASA) telah meluncurkan 8 program Landsat (USGS EROS, 2012). Generasi Landsat terbaru adalah Landsat 8, yang diluncurkan pada 11 Februari 2013, merupakan lanjutan dari misi Landsat – 7 yang telah mengalami kerusakan pada Mei 2003 pada *Scan Line Corrector*. Landsat – 8 membawa dua buah sensor yaitu sensor OLI / *Operational Land Imager* dan sensor TIRS / *Thermal Infra Red Sensor*. Resolusi yang dimiliki oleh sensor-sensor pada Landsat-8 adalah terbagi kedalam 3 resolusi berbeda, yakni 15 meter (OLI), 30 meter (OLI) dan 100 meter (TIRS), seperti yang dijabarkan dalam **Tabel 2**.

Khusus untuk sensor TIRS, resolusi yang diterima oleh sensor adalah 100 meter, namun nilai *Digital Number* dilakukan resampling menjadi 30 meter. Level produk yang digunakan adalah Level 1T, dimana produk telah terkoreksi geometrik berdasarkan *Terrain Data* (hasil *mosaics* produk landsat sebelumnya). Sentinel-2 merupakan satelit pemantau muka bumi yang diluncurkan oleh badan Eropa, *European Space Agency* (ESA). Satelit dengan 13 kanal spektral yang digunakan pada Sentinel-2 memiliki 3 resolusi berbeda, yakni 10 meter, 20 meter, dan 60 meter, seperti yang dijabarkan pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Panjang gelombang multispektral sensor citra Landsat-8.

Kanal	Nomor Sensor	Resolusi (m)	Titik Tengah Panjang Gelombang (λ)
			Kanal
Ultra Biru (Coastal/Aerosol)	1	30	430 – 450 nm
Biru	2	30	450 – 510 nm
Hijau	3	30	530 – 590 nm
Merah	4	30	640 – 670 nm
NIR	5	30	850 – 880 nm
SWIR-1	6	30	1570 – 1650 nm
SWIR-2	7	30	2110 – 2290 nm
Pan Cirrus	8	15	500-680 nm
	9	30	1360 – 1380 nm
TIR-1 (Thermal)	10	100* (30)	10600 – 11190 nm
TIR-2 (Thermal)	11	100* (30)	11500 – 12510 nm

Sumber: United States Geological Survey (USGS)

Tabel 3. Panjang gelombang multispektral sensor citra Sentinel-2.

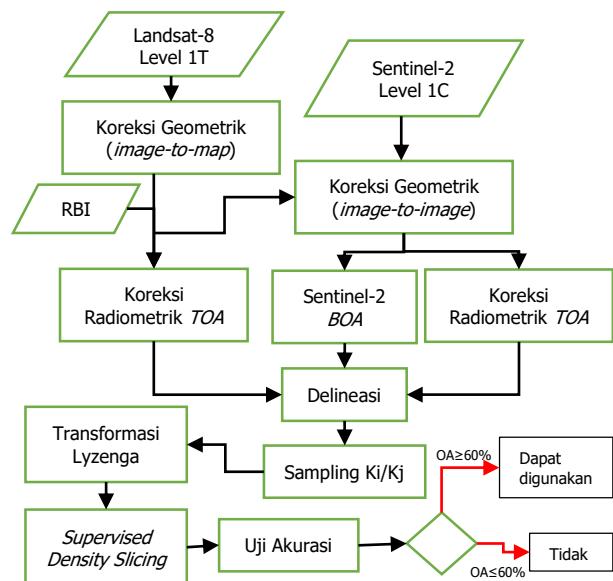
Kanal	Nomor Sensor	Resolusi (m)	Titik Tengah Panjang Gelombang (λ)
			Kanal
Coastal / Aerosol	1	60	443,9 nm
Biru	2	10	496,6 nm
Hijau	3	10	560,0 nm
Merah	4	10	664,5 nm
Veg. Red Edge	5	20	703,9 nm
Veg. Red Edge	6	20	740,2 nm
Veg. Red Edge	7	20	782,5 nm
Inframerah dekta (NIR)	8	10	835,1 nm
Veg. Red Edge	8a	20	864,8 nm
Water	9	60	945,0 nm
Vapour			
SWIR / Cirrus	10	60	1373,5 nm
SWIR	11	20	1613,7 nm
SWIR	12	20	2202,4 nm

Sumber: European Space Agency (ESA)

Fungsi dari Satelit Sentinel-2 adalah serupa dengan Satelit Landsat, yakni untuk pembuatan desain tematik berkenaan dengan tata ruang, ekosistem, hingga perubahan tampak muka bumi (*European Space Agency* (ESA), 2017). Satelit Sentinel-2 memiliki 2 jenis satelit yang identik, yaitu sentinel 2A yang diluncurkan pada tanggal 23 Juni 2015 dan Sentinel 2B pada tanggal 7 Maret 2017, masing-masing mengitari daerah ekuator dan memiliki resolusi temporal hingga 5 hari. Selain itu waktu perekaman Sentinel-2 berdekatan dengan satelit Landsat. Level produk Sentinel-2 yang tersedia adalah Level 1C, dimana produk telah terkoreksi secara geometrik dan radiometrik (*Surface Reflectance*).

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan sejak bulan Maret 2017 hingga Juni 2017. Lokasi penelitian ini berada di wilayah perairan pesisir di Bali, yakni pada seluruh wilayah pesisir Sanur yang terbentang antara $115^{\circ}15'11''$ – $115^{\circ}15'56''$ Bujur Timur dan $08^{\circ}40'21''$ – $08^{\circ}42'59''$ Lintang Selatan. Digunakan metode pengolahan citra satelit dengan memanfaatkan kanal cahaya tampak, yakni menggunakan metode Lyzenga 1978. Metode yang diterapkan menggunakan tahapan *supervised density slicing* sehingga diperoleh empat kelas yang sesuai dengan kondisi lapangan. Pengolahan citra satelit yang dilakukan adalah dengan menggunakan ArcMap 10.1, ENVI 4.7, dan SNAP Desktop.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah : Data identifikasi substrat perairan pesisir Sanur, Denpasar Selatan, Bali berupa 71 titik koordinat objek lamun, 35 titik koordinat objek substrat pasir, dan 7 titik koordinat objek alga, yang tersebar di seluruh wilayah perairan pesisir Sanur pada Maret 2017 hingga pertengahan April 2017; Peta RBI wilayah Bali tahun 2015 yang merupakan data terbaru dengan skala 1:50.000; Citra Satelit Sentinel-2 Level 1C dengan tanggal perekaman 24 November 2016; dan Citra Satelit Landsat-8 OLI/TIRS Level 1T dengan tanggal perekaman 23 Agustus 2016.

Berdasarkan data yang diolah dari data citra satelit yang ada, kemudian dilakukan pengujian tingkat akurasi pengolahan dengan data lapangan yang telah diperoleh sebelumnya untuk mendapatkan tingkat keakuratan pengolahan pada masing-masing citra. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *soft classification matrix*. Secara garis besar penelitian ini dirangkum ke dalam alur penelitian seperti **Gambar 3**. Kesimpulan yang ditarik adalah berdasarkan nilai akurasi hasil pengolahan yang diterapkan dari setiap data yang digunakan.

Pengolahan Dasar Citra

Data-data citra satelit yang dimiliki pertama-tama perlu mengalami pengolahan dasar. Pengolahan dasar tersebut meliputi proses koreksi geometrik citra dan koreksi radiometrik citra. Proses koreksi geometrik yang dipilih adalah menggunakan proses *image-to-image rectification* dengan resampling berupa *Nearest Neighbour Resample*. Titik kontrol tanah (TKT) yang digunakan untuk mengoreksi citra secara geometrik dibuat berbeda antara data olahan citra sehingga memenuhi syarat koreksi yang benar. Untuk koreksi radiometrik, dilakukanlah koreksi *noise* pada citra dengan

mengubah nilai digital (DN) pada citra menjadi nilai pantulan. Pengubahan nilai pada piksel citra menjadi nilai pantulan dilakukan untuk memenuhi kebutuhan terapan algoritma Lyzenga.

Salah satu bentuk koreksi radiometrik adalah menghilangkan *noise* yang diakibatkan oleh nilai pada atmosfer (Beisl et al., 2008). Pada citra Landsat, koreksi untuk mendapatkan nilai pantulan atmosferik (*Top of the atmosphere* /ToA) meliputi koreksi pantulan awal dan koreksi sudut matahari (*United States Geological Survey*, 2017). Kedua koreksi ToA tersebut dilakukan secara matematis dengan persamaan-persamaan 1 dan 2:

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A\rho \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

$\rho\lambda'$ = ToA Reflectant, tanpa koreksi untuk sudut matahari

$M\rho$ = Reflectance_Mult_Band_x, dimana x adalah nomor kanal

$A\rho$ = Reflectance_Add_Band_x, dimana x adalah nomor kanal

Q_{cal} = Nilai digital number (DN)

Persamaan (1) merupakan tahap pengolahan awal untuk koreksi nilai digital yang diterapkan pada masing-masing kanal pada citra, khususnya pada kanal merah, biru, dan hijau (RGB). Setelah koreksi ini dilakukan, maka dilakukanlah koreksi menggunakan persamaan (2) untuk didapatkan nilai ToA Pantulan yang benar.

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / (\cos(\theta SZ)) = \rho\lambda' / (\sin(\theta SE)) \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

$\rho\lambda$ = ToA Reflectant

θSE = sudut dari nilai elevasi matahari

θSZ = sudut zenith matahari, $\theta SZ = 90^\circ - \theta SE$

Sedangkan untuk data Sentinel-2, data yang digunakan adalah data Level 1C yang memiliki ukuran 100x100 km². Nilai piksel Level 1C telah di ortho rektifikasi dengan data DEM dan nilai piksel adalah nilai pantulan permukaan (karena terdapat proses penghilangan nilai atmosfer pada citra ditahap ini). Untuk mendapatkan nilai atmosferik dari data Level 1C Sentinel-2, maka dapat digunakan persamaan (3). Dan nilai pada komponen $d(t)$ merupakan hasil dari persamaan (4).

$$\rho_k(i,j) = \frac{\pi \times CN_{k,NTDI}(i,j)}{A_{k,NTDI} \times E_s \times d(t) \times \cos(\theta_s(i,j))} \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

ρ = ToA reflectant

CN = Nilai piksel

(i,j) = kolom dan baris piksel

K = spectral band

E_s = equivalent extra-terrestrial solar spectrum

θ_s = zenith angle
 A_k = absolute calibration

$$d(t) = \frac{1}{(1 - 0.01673 X \cos(0.0172 X (t-2)))^2} \dots \dots \dots (4)$$

Variabel t dalam persamaan (4) merupakan data waktu akuisisi dalam bentuk Julian day. Koreksi atmosferik pada Sentinel-2 memanfaatkan *tools* Sen2Cor, yakni untuk mengoreksi *cirrus* dan *water vapor*. Koreksi atmosferik yang dilakukan adalah untuk mengubah nilai piksel pantulan permukaan *Bottom of Atmosphere Reflectance* (BoA) menjadi *Top of Atmosphere Reflectance* (ToA). Perubahan ini yang nantinya akan dihilang perbedaannya dalam mengidentifikasi objek pada perairan.

Setelah koreksi dasar citra dilakukan, maka citra kemudian diolah untuk mendapatkan profil delineasi. Profil delineasi dapat dibuat dengan beberapa metode, salah satu caranya adalah dengan menegaskan nilai perairan pada citra (Rokni *et al.*, 2014). Ekstraksi nilai perairan dapat dilakukan dengan menerapkan algoritma *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Algoritma NDWI ini memanfaatkan nilai kanal hijau dan infra merah dekat (NIR) untuk memunculkan nilai air sebagai *value* positif (McFeeters 1996 dalam Rokni *et al.*, 2014), yakni dengan persamaan sebagai berikut:

Delineasi perairan tersebut kemudian dilanjutkan dengan membuat pemotongan lokasi kajian berdasarkan batas visual yang dapat terinterpretasikan, yakni batas antara perairan dangkal dan perairan dalam. Pembuatan batas visual tersebut diperoleh dengan melakukan pengaturan tampilan citra komposit RGB sehingga batas yang diinginkan dapat dilihat (Perairan dangkal memiliki warna yang relatif lebih terang bila dibandingkan dengan perairan dalam).

Identifikasi Objek Dasar Perairan

Proses delineasi dilakukan untuk mengurangi kesalahan yang akan timbul pada proses ekstraksi pada tahapan ini. Proses kesalahan dimungkinkan timbul dari nilai piksel yang terlalu luas, sehingga dipotong sesuai dengan wilayah kajiannya saja. Dengan memanfaatkan informasi nilai dari pantulan dasar perairan, model Pengurangan Eksponensial oleh Lyzenga 1978 digunakan sebagai dasar dari perhitungan, yakni dengan persamaan 6 (Lyzenga 1978 dalam Suwargana, 2014).

$$Li = Li^{\sim} + (0,54 \text{ Lib} - Li^{\sim})^{exp-2 \text{ kiz}} \dots \dots \dots (6)$$

Li = Pantulan pada kanal i
 \bar{L}_i = Rata-rata nilai pantulan pada perairan laut dalam
 L_{ib} = *Reflectant* dasar perairan (0 m), kanal i
 Z = Kedalaman perairan
 k_i = Koefesien atenuasi pada kanal i.

Ada beberapa parameter yang tidak diketahui dengan menggunakan persamaan 6, seperti nilai pantulan, atenuasi, dan kedalaman setiap piksel data. Perumusan tersebut kemudian mengalami penurunan dan pengembangan, yakni dengan memanfaatkan nilai dari kanal tampak berupa warna biru dan hijau, sehingga persamaan 6 berubah menjadi persamaan 7. Menggunakan persamaan 7, maka nilai setiap piksel dapat diubah menjadi indeks dasar perairan tanpa nilai-nilai pengganggu yang telah dijelaskan. Hasil piksel dari algoritma Lyzenga dapat digunakan untuk identifikasi objek perairan dangkal (Suwargana, 2014).

dimana:

Y = Ekstraksi informasi dasar perairan
blue = Nilai pantulan kanal biru
green = Nilai pantulan kanal hijau
 ki/kj = Rasio koefesien kanal biru dan kanal
 hijau. ($ki/kj = a + \sqrt{(a^2 + 1)}$)
 a = $(\text{var}(\text{blue}) - \text{var}(\text{green})) / (2 \text{ cov}(\text{blue}, \text{green}))$.

Penggunaan metode Lyzenga, sensor kanal pada citra tidak digunakan secara keseluruhan melainkan hanya kanal biru dan hijau saja, seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4**. Nilai informasi kanal yang terdapat di dalam gambar citra didapatkan dari proses pengambilan sampel informasi berupa luasan. Penentuan sampel didasarkan pada data lapangan yang telah diperoleh dan tampilan citra yang seragam dengan titik data lapangan tersebut. Hasil dari algoritma Lyzenga akan berbentuk sebuah rentangan nilai yang belum menunjukkan habitat perairan yang ada. Untuk itu diperlukan proses klasifikasi objek, yakni dengan membagi rentangan nilai tersebut ke dalam beberapa kelas sesuai dengan data temuan lapangan, yakni menggunakan metode *supervised density slicing*.

Tabel 4. Karakteristik sensor kanal yang digunakan.

Citra Satelit	Kanal	Nomor Sensor Kanal
Sentinel 2B	Biru	2
	Hijau	3
	NIR	8
Landsat-8 OLI/TIRS	Biru	2
	Hijau	3
	NIR	5

Uji Akurasi Pengolahan Informasi Citra

Uji akurasi hasil pengolahan citra diperlukan untuk menghasilkan informasi yang sesuai dengan kondisi yang seharusnya. Proses tersebut dilangsungkan akibat adanya potensi kesalahan pada proses-proses sebelumnya yang kemudian dapat menggeser informasi yang ada menjadi kurang tepat. Keakuratan hasil metode Lyzenga yang diaplikasikan kemudian diuji menggunakan *soft classification matrix*, seperti pada **Tabel 5**, hal tersebut berguna dalam mengkoreksi hasil interpretasi dan klasifikasi pada citra dengan kondisi referensi/data lapangan yang seharusnya (Gu *et al.*, 2015).

Nilai yang dihitung merupakan nilai diagonal pertemuan masing-masing data matriks yang berkesesuaian. Nilai tersebut kemudian dimasukkan kedalam rumusan perhitungan OA (persamaan 8). Nilai maksimal dari OA adalah 100%, dimana semakin mendekati nilai maksimalnya maka hasil klasifikasi yang dilakukan adalah semakin benar.

dimana:

$$P_{ii} = \sum P_{class}$$

n = Total jumlah sampel

Nilai OA yang diperoleh merupakan gambaran tingkat kesalahan pengolahan data citra yang diterapkan, dimana semakin mendekati nilai maksimal dari OA maka *error* data yang dihasilkan akan semakin minimum (Gu *et al.*, 2015). Penelitian ini menggunakan tiga jenis data citra satelit yaitu, citra satelit Landsat-8 dengan koreksi *Top of Atmosphere*, citra satelit Sentinel-2 dengan koreksi *Bottom of Atmosphere*, dan citra satelit Sentinel-2 dengan koreksi *Top of Atmosphere*.

Tabel 5. Matriks uji akurasi pengolahan informasi citra.

Klasifikasi	Referensi			Total	
	Class 1	Class 2	...	Class k	
Class 1	P11	P12	...	P1k	P1+
Class 2	P21	P22	...	P2k	P2+
...
Class k	Pk1	Pk2	...	Pkk	Pk+
Total	P+1	P+2	...	P+k	

Sumber: Gu et al., 2015

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Proses koreksi geometrik yang diaplikasikan pada pengolahan dasar menghasilkan pergeseran piksel citra. Pergeseran yang terjadi adalah bergantung pada posisi perekaman citra satelit. Kedua citra diproses sesuai dengan syarat koreksi geometrik menggunakan TKT, dimana pergeseran citra tetap mempertahankan profil *orthorectified image* yang ada. Perbedaan nilai pergeseran piksel yang diterapkan dalam koreksi citra Satelit Landsat-8 dan Sentinel-2 ditunjukkan pada **Tabel 6**. Nilai RMSE yang diperoleh dari koreksi geometrik berkisar $<0,1$. Nilai tersebut muncul dikarenakan produk yang digunakan telah terkoreksi geometrik oleh penyedia produk citra, sehingga proses koreksi yang dilakukan dalam penelitian ini lebih mengarah pada proses *re-adjustment* saja.

Pergeseran piksel citra dari proses rektifikasi diikuti dengan proses *resampling*, sehingga informasi dalam piksel juga mengikuti posisi yang sebenarnya. Proses *resampling* yang diaplikasikan pada kedua citra satelit adalah *Nearest Neighbor Resampling*. Pemilihan metode ini adalah berkenaan dengan kebutuhan kalkulasi luasan data yang lebih dari 100 Km^2 . Proses komputasi yang lebih sederhana pada metode *Nearest Neighbor Resampling* menjadi alasan dari pemilihan metode ini, yakni karena data yang diolah merupakan data besar. Selain dari pada itu, informasi yang terkandung dalam masing-masing piksel sangat diperlukan dalam pengolahan ekosistem lamun sehingga metode ini lebih dipilih dibandingkan metode *Bilinear Interpolation Resampling* maupun *Cubic Convolution Resampling*.

Tabel 6. Pergeseran piksel pada proses koreksi geometrik citra dengan transformasi 1^{st} Order Polynomial (Affine)

Citra Satelit		Landsat-8 OLI/TIRS		Sentinel-2	
		meter	piksel	meter	piksel
Per-gesera-n	Min	8,5725	0,286	1,4469	0,145
	Max	8,7765	0,293	53,9820	5,398
	Avg	8,7382	0,291	16,1018	1,61
Per-gesera-n	Min	7,1438	0,236	0,4423	0,044
	Max	6,9894	0,233	39,2541	3,925
	Avg	7,0722	0,236	11,6145	1,161
Jumlah Titik Kontrol		14		27	
Nilai RMSE		0,0536099		0,000162032	
Proses Rektifikasi		<i>Image-to-map rectification</i>		<i>Image-to-image rectification</i>	
Referensi		Data RBI		Landsat-8 terkoreksi	



Gambar 4. *Training samples* untuk mengekstrak informasi nilai kanal pada citra.

Setelah proses pengolahan dasar citra menggunakan penginderaan jauh dilakukan, yakni koreksi geometrik dan koreksi radiometrik, maka citra mengalami pemotongan sesuai dengan area kajian yang diinginkan. Batas wilayah kajian kemudian ditegaskan dengan proses deliniasi menggunakan NDWI. Proses ini dilanjutkan dengan pembuatan wilayah kajian khusus (*Area of Interest / AOI*) berupa *polygon* pemotong yang dilakukan dengan berdasarkan interpretasi batas perairan dangkal wilayah pesisir secara visual.

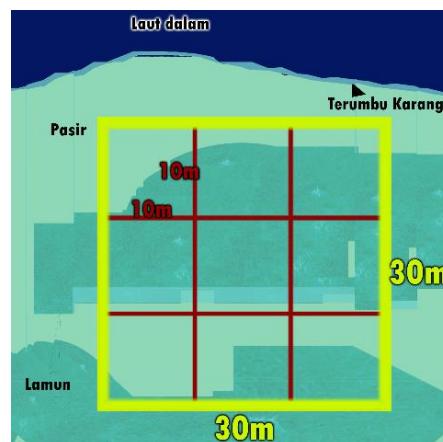
Luas AOI yang dibuat adalah $\pm 4 \text{ Km}^2$ yang mencakup semua perairan dangkal di pesisir Sanur, yang secara visual terlihat melalui komposit RGB. Pembuatan AOI dilakukan untuk mengurangi *error* pada informasi yang *tersampling*, sehingga informasi dalam setiap piksel dapat dikontrol. Pentingnya AOI ini digunakan dalam perolehan nilai k_i/k_j yang secara fokus dikondisikan hanya di wilayah yang hendak dikaji, yakni untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien yang nantinya digunakan untuk penerapan algoritma Lyzenga pada masing-masing data citra.

AOI pada setiap data citra satelit dipersiapkan ke dalam proses pengolahan indentitas substrat dasar perairan. Untuk mendapatkan nilai pantulan yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan algoritma, dilakukanlah pengambilan sampel wilayah (*Training Samples*) yang akan mewakili identitas objek-objek yang ditemui di lapangan. Diambilah 18 *Training Samples* berdasarkan data lapangan sebagai perwakilan sampel identitas yang mewakili identitas lamun, makro alga, dan substrat pasir yang tampak pada **Gambar 4**. *Training Samples* yang digunakan merupakan contoh kelas-kelas yang teridentifikasi di lapangan, dan digunakan untuk mengambil nilai pantulan objek pada setiap sensor kanal satelit. Setiap *training sample* terdiri dari 2-14 piksel dalam resolusi 30m, atau 15-129 piksel dalam resolusi 10m, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Jumlah sample piksel yang digunakan.

Data Citra Satelit	Landsat-8 OLI/TIRS	Sentinel-2
Sampel Teridentifikasi	Jumlah	
Pasir	± 44 piksel	± 342 piksel
Lamun	± 43 piksel	± 394 piksel
Makro Alga	± 6 piksel	± 61 piksel
Luas total sampel (Km²)	$\pm 0,0837$	$\pm 0,0797$

Training Samples diterapkan secara sama pada kedua citra. Informasi mengenai identitas objek yang ada dalam citra dipengaruhi oleh resolusi spasial pada masing-masing satelit yang ditunjukkan **Gambar 5**. Objek yang teridentifikasi dalam citra Landsat akan sedikitnya berbeda dengan yang terekam pada citra Sentinel-2. Oleh karena adanya perbedaan resolusi spasial menyebabkan 1 piksel pada citra Landsat dengan resolusi 30m akan terbaca menjadi 9 piksel pada citra Sentinel-2 dengan resolusi 10m. Hal tersebut menyebabkan jumlah piksel teridentifikasi pada citra Sentinel-2 akan lebih banyak dibandingkan pada Landsat-8, seperti pada **Tabel 8**. Jumlah piksel Sentinel-2 tidak akan tepat $9 \times$ jumlah piksel Landsat-8, hal tersebut dimungkinkan karena area pada sudut citra yang terpotong oleh *polygon* yang dibuat sebagai AOI. Dari 18 data nilai pantulan yang diperoleh dari proses sampling *Training Samples*, dilakukanlah perhitungan nilai *variance* dan *covariance* pada masing-masing kanal pada citra, terkhususnya dalam hal ini adalah kanal biru dan hijau (yang akan digunakan dalam perhitungan algoritma atenuansi dan Lyzenga). Nilai *variance* dan *covariance* inilah yang nantinya akan dipakai kedalam rumusan Lyzenga sesuai dengan persamaan 6.



Sumber: Perbandingan resolusi dari USGS dan ESA

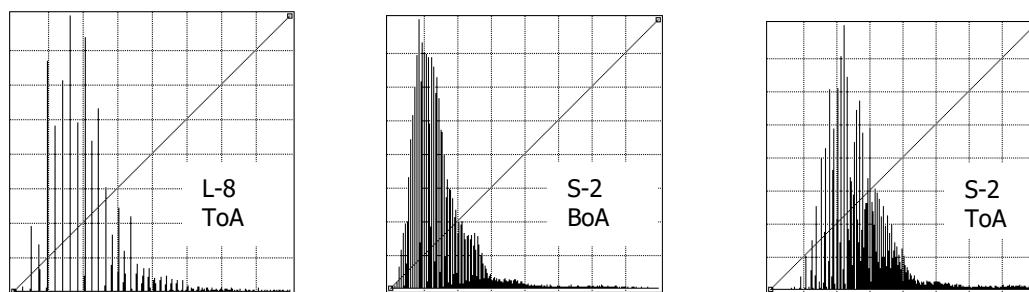
Gambar 5. Ilustrasi pengenalan objek berdasarkan resolusi citra Landsat-8 dan Sentinel-2.

Tabel 8. Hasil perhitungan nilai Atenuasi dan rentangan Lyzenga.

Data Citra Satelit	Nilai Atenuasi	Rentang -an Lyzenga	Piksel Teridentifikasi
Landsat-8		5,46332	
OLI/TIRS	-0,2532	s.d. 6,79733	4.495
ToA			
Corrected			
Sentinel-2		7,2227	
BoA	-0,2360	s.d. 9,2090	40.074
Corrected			
Sentinel-2		3,60233	
ToA	0,2547	s.d. 11,0617	40.074
Corrected			

Nilai atenuasi yang dihasilkan dari perhitungan pada masing-masing citra memiliki perbedaan,

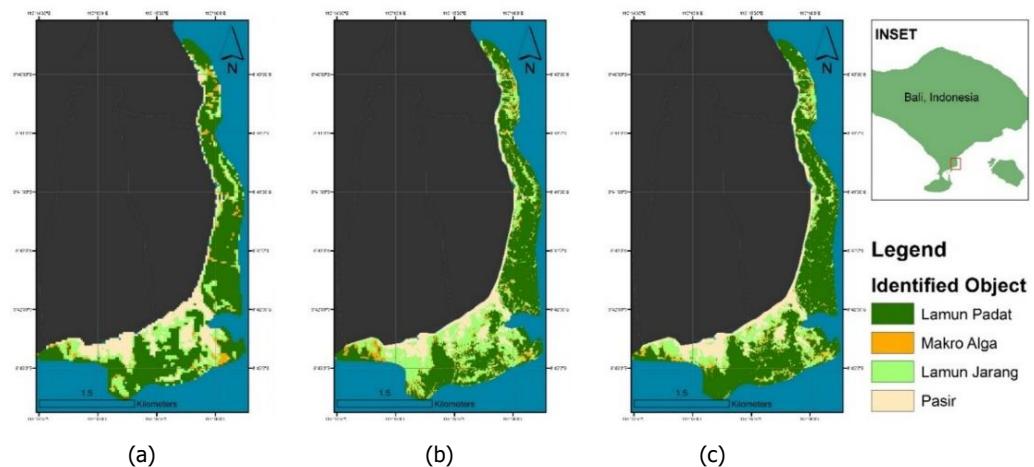
dimana perbedaan tersebut akan menghasilkan rentangan Lyzenga yang berbeda pula sesuai yang terlihat pada **Tabel 8**. Masing-masing data memiliki pola kerapatan yang berbeda dari hasil Lyzenga yang terolah, namun ada keserupaan pola yang muncul dari antara tiga data tersebut (**Gambar 6**). Pola yang muncul adalah tingginya nilai yang teridentifikasi pada hasil Lyzenga pada rentangan rendah (mendekati rentang minimum masing-masing hasil). Objek yang teridentifikasi kedalam hasil algoritma Lyzenga ini adalah representasi dari nilai pantulan masing-masing objek di dalamnya, dimana objek yang rapat akan memiliki nilai pantulan yang rendah (Suwargana, 2014). Hasil Lyzenga tersebut kemudian diklasifikasikan menggunakan metode *Supervised Density Slicing Method* untuk menunjukkan identitas objek pada wilayah kajian.

**Gambar 6.** Pola histogram hasil Lyzenga pada masing-masing data citra.

Pembagian kelas dari setiap histogram didasarkan pada objek teridentifikasi pada saat observasi lapangan berlangsung. Ada sekurangnya 4 kelas yang didapat berada pada wilayah kajian, yakni substrat pasir, komunitas lamun yang rimbuh/rapat, komunitas lamun yang tumbuh jarang, dan makro alga. Setiap objek lapangan dijadikan acuan pemotongan, dan berdasarkan interpretasi yang dilakukan maka pemotongan tingkat kerapatan pada histogram tersebut akan berurutan, yakni 1. Lamun yang tumbuh rapat, 2. Makro alga, 3. Lamun yang berasosiasi dengan Substrat pasir, dan 4. Substrat pasir.

Pembagian urutan pemotongan tersebut adalah berdasarkan nilai pantulan masing-masing obyek yang ada. Hasil dari kelas-kelas yang terbentuk dari metode *Supervised Density Slicing* ini memiliki keseragaman apabila dilihat pada hasil peta yang terbentuk, pada **Gambar 7**. Pola yang serupa dari hasil produk pemotongan tersebut, pada masing-masing data citra, menunjukkan adanya kesamaan sebaran dari nilai histogram Lyzenga. Hasil klasifikasi setiap data citra tersebut kemudian dihitung tingkat akurasinya menggunakan metode matriks uji akurasi. Tahapan uji akurasi ini digunakan untuk melihat nilai akurasi dari

penerapan *Supervised Density Slicing* setiap data citra terhadap data lapangan yang telah diperoleh sebelumnya. Uji akurasi hasil klasifikasi Lyzenga dilakukan sebanyak dua kali, yakni menggunakan titik acuan akurasi dengan jarak minimum antar titik sejauh 30 meter (sejumlah 74 titik acuan), dan titik acuan akurasi dengan jarak minimum antar titik sejauh 10 meter (sejumlah 113 titik acuan). Nilai akurasi dari kedua pengujian ini menghasilkan tingkat akurasi yang berbeda dari antara masing-masing data citra, diduga nilai-nilai akurasi tersebut dipengaruhi oleh jarak dari titik acuan yang digunakan. Pada **Tabel 9** dan **Tabel 10** ditunjukkan bahwa terjadi perbedaan akurasi pada masing-masing hasil pengujian citra. Meskipun nilai akurasi yang dihasilkan dari perhitungan matriks berbeda, namun terdapat sebuah kesamaan yang terdeteksi dari kedua pengujian tersebut. Nilai akurasi yang dimiliki oleh data citra satelit Sentinel-2 dengan koreksi menggunakan nilai *Bottom of Atmosphere* merupakan nilai akurasi yang relatif selalu rendah. Hal ini menunjukkan kemampuan identifikasi obyek pada dasar perairan dangkal sulit atau bahkan tidak dapat diperoleh menggunakan nilai pantulan dari koreksi *Bottom of Atmosphere*.



Gambar 7. Klasifikasi obyek dasar perairan dangkal di pesisir Sanur menunjukkan:
(a) Landsat-8 ToA Corrected, (b) Sentinel-2 BoA Corrected, dan (c) Sentinel-2 ToA Corrected.

Tabel 9. Hasil matriks akurasi dengan jarak acuan minimum 30 meter.

Data	Landsat-8 ToA Corrected				Sentinel-2 BoA Corrected				Sentinel-2 ToA Corrected						
	Klasifikasi	Referensi			Total	Referensi	Total	Referensi	Total	Referensi	Total				
		K1	K2	K3		K1	K2	K3		K1	K2	K3			
Kelas 1	28	0	3	8	39	17	2	3	5	27	26	0	4	6	36
Kelas 2	0	2	0	0	2	8	1	1	2	12	0	1	1	1	3
Kelas 3	1	0	3	3	7	5	1	2	5	13	7	3	2	3	15
Kelas 4	9	5	0	12	26	8	3	0	11	22	4	3	0	13	20
Total	38	7	6	23	74	38	7	6	23	74	37	7	7	23	74
Nilai OA					60,81%	Nilai OA				41,89%	Nilai OA				56,76%

Tabel 10. Hasil matriks akurasi dengan jarak acuan minimum 10 meter.

Data	Landsat-8 ToA Corrected				Sentinel-2 BoA Corrected				Sentinel-2 ToA Corrected						
	Klasifikasi	Referensi			Total	Referensi	Total	Referensi	Total	Referensi	Total				
		K1	K2	K3		K1	K2	K3		K1	K2	K3			
Kelas 1	36	0	6	10	52	34	1	1	7	43	43	0	3	9	55
Kelas 2	2	2	0	0	4	7	1	0	3	11	3	1	1	1	6
Kelas 3	7	0	2	6	15	17	4	6	10	37	14	3	2	3	22
Kelas 4	19	5	1	15	40	6	1	0	15	22	4	3	1	22	30
Total	64	7	9	31	111	64	7	7	35	113	64	7	7	35	113
Nilai OA					49,55%	Nilai OA				49,56%	Nilai OA				60,18%

Nilai akurasi dari klasifikasi yang diterapkan sangat bergantung proses pembuatan wilayah kajian (AOI), *training samples* yang diterapkan, perhitungan *variance* dan *covariance*, serta perhitungan menggunakan algoritma Lyzenga yang ada. Kesalahan yang timbul pada rentangan Lyzenga terhitung sebagai *producer error* atau kesalahan yang diakibatkan oleh proses komputasi (yakni kesalahan dalam algoritma nilai reflektan citra). Sedangkan kesalahan-kesalahan lain yang berupa proses input ataupun kalkulasi terhitung sebagai kesalahan *user*.

Selain daripada proses koreksi dan resolusi spasial dari citra satelit yang menjadi faktor penentu akurasi citra adapun faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi, yakni diantaranya akurasi GPS yang digunakan dan metode *Density Slicing* yang diterapkan. Adanya potensi *error* yang timbul dari titik koordinat sampel yang terekam oleh GPS yang digunakan sebagai titik acuan akurasi dapat menyebabkan *error* dari segi analisis yang dilakukan oleh *user*. Hal tersebut sama halnya dengan

kesalahan pemotongan kelas yang dilakukan dalam *Density Slicing* yang terhitung sebagai kesalahan *user*.

Dari hasil perhitungan yang ada pada **Tabel 9** dan **Tabel 10**, didapatkan bahwa citra satelit Landsat-8 dengan koreksi *Top of Atmosphere* berpotensi digunakan dalam pengamatan ekosistem lamun pesisir. Namun, yang menjadi kendala adalah diperlukan titik acuan dengan jarak minimum 30 meter, serta diperlukan identitas obyek secara rerataan. Pengambilan titik acuan yang hendak dipakai pada citra Landsat-8 harusnya mengacu pada ukuran resolusi spasialnya, yakni 30m x 30m, dimana identitas obyek ditentukan berdasarkan rerataan obyek dalam skop luasan tersebut.

Berbeda dengan hal tersebut, citra Sentinel-2 dengan koreksi *Top of Atmosphere* memiliki potensi yang lebih tinggi dalam hal analisis identitas obyek dasar perairan dangkal, terkhususnya lamun. Namun, yang menjadi kendala adalah diperlukannya proses konversi nilai BoA menuju nilai ToA. Nilai akurasi yang dimunculkan dalam ke

dua tabel menunjukkan bahwa data Sentinel-2 BoA selalu lebih rendah apabila dibandingkan dengan Sentinel-2 ToA, dengan selisih $OA \pm 10-14\%$. Selisih yang timbul dari ke dua model koreksi, yakni BoA dan ToA, menunjukkan bahwa pengamatan objek di bawah permukaan air dengan menggunakan algoritma cahaya tampak merupakan pemanfaatan dari nilai pantulan yang terkoreksi secara atmosferik.

KESIMPULAN

Pengamatan ekosistem lamun dapat dilakukan dengan memanfaatkan pengineraan jauh. Beberapa faktor yang berperan dalam proses pengamatan ekosistem lamun, seperti ketersediaan data, khususnya keterbatasan resolusi spasial dan waktu data yang diinginkan. Pengolahan citra untuk penelitian seperti ini tidak lepas dari koreksi dasar yang harus dilakukan, yakni koreksi geometrik dan radiometrik. Perbedaan penerapan koreksi radiometrik, seperti koreksi nilai pantulan permukaan (BoA) dan pantulan atmosferik (ToA), dapat mempengaruhi akurasi hasil analisis.

Parameter yang diterapkan, seperti titik kontrol dan sampel data, dibuat sama untuk ke tiga data citra penelitian yang kemudian masing-masing diuji ketepatan hasil pengolahannya. *Error* dari proses *resampling*, penerapan algoritma, dan pengelasan menggunakan metode *Supervised Density Slicing* telah diminimalisir. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, citra satelit Landsat-8 memiliki kemampuan agar dapat dimanfaatkan dengan catatan khusus, yakni diperlukan beberapa data acuan dengan jarak masing-masing titik sejauh minimal 30 meter.

Akurasi yang dihasilkan dari penerapan algoritma Lyzenga pada data Landsat-8 terhadap sampel berjarak 30 meter adalah 60,81%. Berbeda dengan Landsat-8, akurasi data Sentinel-2 menunjukkan bahwa satelit tersebut memiliki kemampuan yang sama dan mungkin lebih baik dibandingkan dengan Landsat-8, yakni dengan jarak acuan 10 meter. Namun yang perlu diingat adalah perlunya terlebih dahulu pengubahan nilai piksel Sentinel-2 menjadi nilai pantulan atmosferik sebelum kemudian diolah menggunakan algoritma Lyzenga.

Nilai akurasi dari citra Sentinel-2 terhadap titik acuan berjarak 10 meter dan Landsat-8 terhadap titik acuan berjarak 30 meter, yang telah terkoreksi atmosferik, menunjukkan kedua citra memiliki kemampuan yang sama untuk pemetaan objek bawah perairan dengan kriteria acuan yang berbeda. Oleh sebab itu, penggunaan kedua satelit tersebut dalam identifikasi objek bawah perairan adalah memungkinkan, namun penggunaannya harus disesuaikan dengan luasan wilayah yang hendak dikaji.

Akurasi klasifikasi pada wilayah penelitian dapat ditingkatkan lagi dengan menambah beberapa titik acuan sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan masing-masing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak dapat terselesaikan apabila tidak mendapatkan bantuan dari beberapa pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Balai Penelitian dan Observasi Laut (BPOL) yang berlokasi di Kabupaten Jembrana, Bali sebagai penyedia informasi-informasi berkenaan dengan lokasi persebaran lamun yang ada di Bali.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, W. (2015). *Kajian Perubahan Luasan Padang Lamun dengan Penginderaan Jauh di Pulau Lepar Provinsi Kepulauan Bangka Belitung*. Maspuri Journal, 71-78.
- Al-Doski, J., Mansor, S., & Shafri, H. (2013). *Image Classification in Remote Sensing*. *Journal of Environment and Earth Science*, ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online), Vol. 3, No.10, 141-147.
- Baboo, S., & Devi, R. (2010). *An Analysis of Different Resampling Methods in Coimbatore, District*. Global Journal of Computer Science and Technology Vol. 10 Issue 15 (Ver. 1.0) December 2010 , 61-66.
- Beisl, U., Telaar, J., & Schönermark, M. v. (2008). *Atmospheric Correction, Reflectance Calibration And Brdf Correction For Ads40 Image Data*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7., 7-12.
- Blakey, T., Melesse, A., & Hall, M. (2015). *Supervised Classification of Benthic Reflectance in Shallow Subtropical Waters Using a Generalized Pixel-Based Classifier across a Time Series*. *Remote Sensing* (ISSN 2072-4292), 5098-5116.
- EPA (Environment Protection Agency). (1998). *Changes in Seagrass Coverage and Links to Water Quality off the Adelaide Metropolitan Coastline*. Adelaide South Australia: Environment Protection Agency.
- European Space Agency (ESA). (2017). *Sentinel-2 - ESA Operational EO Missions*. Retrieved from ESA EarthOnline: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-2>
- Gu, J., Congalton, R., & Pan, Y. (2015). *The Impact of Positional Errors on Soft Classification Accuracy Assessment: A Simulation Analysis*. *Remote Sensing* (ISSN 2072-4292), 579-599.
- Hedley, J., Russell, B., Randolph, K., & Dierssen, H. (2016). *A physics-based method for the remote sensing of seagrasses*. Elsevier: *Remote Sensing of Environment* 174, 134-147.
- Jan, A. (1993). *Fundamental of Photointerpretation and Photogrammetry*. Peshawar: Pictorial Printers (Pvt) Ltd.
- Kawaroe, M., Nugraha, A. H., Juraij, & Tasabaramo, I. A. (2016). *Seagrass Biodiversity at three Marine Ecoregions of Indonesia: Sunda Shelf, Sulawesi*

- and Banda Sea. Biodiversitas Vol.17 No.2, 575-591.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup) Kota Denpasar. (2008). *Status Lingkungan Hidup Kota Denpasar Tahun 2008*. Denpasar: Pemerintah Kota Denpasar.
- Kurniawan, A., Taufik, M., & Yudha, I. (2015). Pengaruh Jumlah Dan Sebaran Gcp Pada Proses Rektifikasi Citra Worldview Ii (Studi Kasus : Kota Kediri, Jawa Timur). Geoid Vol. 11 No. 01, 67-74.
- LAPAN. (2015). *Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat-8 untuk MPT*. Jakarta: Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- McKenzie, L., & Yoshida, R. (2009). *Seagrass-Watch: Proceedings of a Workshop for Monitoring Seagrass Habitats in Indonesia*. The Nature Conservancy, Coral Triangle Center, Sanur, Bali, 9th May 2009. 56pp. Cairns: Seagrass-Watch HQ.
- McKenzie, L., Yoshida, R., Unsworth, R., & Coler, R. (2013). Seagrass-Watch Magazine. (Issue 47, March 2013), 52p. Cairns: Seagrass-Watch HQ.
- Prayuda, B. (2014). *Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal*. Jakarta: CRITC COREMAP II LIPI.
- Rahayu, & Candra, D. (2014). *Koreksi Radiometrik Citra Landsat-8 Kanal Multispektral Menggunakan Top of Atmosphere (ToA) untuk Mendukung Klasifikasi Penutupan Lahan*. Seminar Nasional Penginderaan Jauh: Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh, 762-767.
- Rauf, A., & Yusuf, M. (2004). *Studi Distribusi dan Kondisi Terumbu Karang dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh di Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan*. Ilmu Kelautan (ISSN 0853 - 7291). Juni 2004. Vol. 9 (2) , 74-81.
- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., & Hazini, S. (2014). *Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery*. Remote Sensing (ISSN 2072-4292), 4173-4189.
- Sagawa, T., Komatsu, T., Boisnier, E., Mustapha, K., Hattour, A., Kosaka, N., & Miyazaki, S. (2011, Mei 2). *Satellite Derived Bathymetry and Water Column Correction*. Retrieved from Sagawa-et-al.188 (A New Application Method For Lyzenga's Optical Model): <http://www.watercolumncorrection.com/documents/Sagawa-et-al.188.pdf>
- Supriatna, W., & Sukartono. (2002). *Teknik Perbaikan Data Digital (Koreksi dan Penajaman) Citra Satelit*. Buletin Teknik Pertanian Vol. 7 Nomor 1, 4-6.
- Suwargana, N. (2014). *Analisis Citra Alos Avnir-2 untuk Pemetaan Terumbu Karang (Studi Kasus: Banyuputih, Kabupaten Situbondo). Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh*, 588-596.
- United Stats Geological Survey. (2017). *Landsat Missions: Using the USGS Landsat 8 Product*. Retrieved July 19, 2017, from <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>
- USGS EROS. (2012). *Landsat—A Global Land-Imaging Mission*. South Dakota: USGS EROS.

PENDEKATAN METODE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) DAN LYZENGA UNTUK PEMETAAN SEBARAN EKOSISTEM PERAIRAN DI KAWASAN PESISIR TELUK BENOA-BALI

(Approach of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Lyzenga Method for Waters Ecosystem Distribution Mapping in the Coastal Region of Benoa Bay-Bali)

Aprizon Putra^{1, 3}, Try Al Tanto¹, Aulia Riza Farhan², Semeidi Husrin², Widodo S Pranowo²

¹Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM KP

²Pusat Riset dan Pengembangan Sumberdaya Pesisir dan Laut, BRSDM KP

³Jurusan Geografi, FIS-Universitas Negeri Padang

Jl. Raya Padang-Painan, Sumatera Barat, Indonesia

E-mail: aprizonputra@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan luasan pada ekosistem perairan di kawasan Teluk Benoa-Bali seperti tutupan mangrove yang berubah menjadi lahan untuk lahan tambak, pelabuhan, dan permukiman. Sedangkan perubahan luasan terumbu karang terjadi akibat pembangunan tol laut, dan reklamasi pulau (Serangan). Perubahan luasan tersebut menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan seperti sedimentasi, intrusi air laut, dan banjir pasang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sebaran ekosistem pesisir seperti mangrove dan terumbu karang menggunakan citra SPOT-6 tahun 2006, 2012 dan 2015 and citra Landsat 7 ETM+ tahun 1997. Metode untuk laju perubahan didapat dari analisis secara tumpang susun (*overlay*) menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan pendekatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk membedakan objek mangrove dengan non-mangrove, sedangkan perubahan luasan terumbu karang diperoleh dengan persamaan algoritma Lyzenga untuk informasi dasar perairan. Hasil analisis data menunjukkan perubahan luasan tutupan mangrove yaitu tahun 2006 ke tahun 2012 dengan perubahan -89,98 ha; dan tahun 2012 ke tahun 2015 dengan perubahan -60,62 ha, penurunan luasan tutupan mangrove disebabkan karena alih fungsi lahan untuk tambak dan zona terbangun. Sedangkan perubahan luasan terumbu karang yaitu tahun 1997 ke tahun 2006 dengan perubahan -69,07 ha; tahun 2006 ke tahun 2012 dengan perubahan -90,51 ha; dan tahun 2012 ke tahun 2015 dengan perubahan 112,47 ha, meningkatnya luasan terumbu karang umumnya terdeteksi di luar Kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya.

Kata kunci: perubahan, ekosistem pesisir, NDVI, lyzenga, teluk benoa

ABSTRACT

Changes in the area of the water's ecosystem in a coastal region of Benoa-Bali Bay such as mangrove cover has already changed into land for pond land, port, and settlement. Whereas changes the area of coral cover in the waters occurred due to the construction of sea tolls, and reclamation of the island (Serangan). This changes in the area cause environmental degradation such as sedimentation, seawater intrusion, and flood tide. The method for the area changes is obtained from overlay analysis using Geographic Information System (GIS) with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) approach to distinguish mangrove object with non-mangrove, whereas changes in the area of coral reef were with obtained by the Lyzenga algorithm equation for information of base waters. The results of data analysis show the area of mangrove cover changes that is the year 2006 to the year 2012 with change -89,98 ha; and the year 2012 to the year 2015 with change -60.62 ha, the decrease in the area of mangrove cover caused due to land conversion for pond land and awakened zones. Whereas changes of the area of coral reef that is the year 1997 to the year 2006 with change -69,07 ha; the year 2006 to the year 2012 with change -90,51 ha; and the year 2012 to the year 2015 with change 112,47 ha, the increasing in the area of coral reef areas is generally detected outside the coastal region of Benoa Bay and surrounding.

Keywords: change, coastal ecosystem, NDVI, lyzenga, benoa bay

PENDAHULUAN

Bali terkenal dengan keindahan panorama alamnya yang alami nan eksotis. Selain itu pulau Bali merupakan cerminan dari warisan budaya

Hindu yang amat kental. Tidak heran apabila pulau Bali dijuluki sebagai "surga pariwisata". Anggapan tersebut dibangun atas wacana orientalis yang ingin melihat Bali sebagai "museum hidup" budaya Hindu di tengah negeri Islam terbesar di dunia (Picard,

2006). Tidak dapat dipungkiri bahwa pariwisata menjadi jalan untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat Bali tanpa merombak pola hidup tradisional mereka.

Berbagai permasalahan lingkungan telah menyita perhatian sejumlah masyarakat Bali, salah satunya mengenai reklamasi di kawasan Teluk Benoa. Secara teori, reklamasi berarti suatu upaya untuk membentuk dataran baru dalam rangka memenuhi kebutuhan lahan dengan cara menimbun kawasan perairan laut (Tanto *et al*, 2017). Asbullah (2002) menjelaskan bahwa reklamasi merupakan suatu langkah pemekaran kota dan juga buatan manusia sehingga perlu memperhitungkan naiknya permukaan air laut akibat perubahan iklim pada kawasan pesisir dan laut. (Oktavia *et al*, 2014) menambahkan dalam melakukan reklamasi tentu banyak aspek yang mesti diperhatikan. Mengingat kawasan pantai dan laut adalah kawasan yang seharusnya bisa dinikmati oleh seluruh lapisan masyarakat. Apabila pantai di reklamasi tentu saja fungsi pantai sebagai *public space* bagi suatu masyarakat/kota tidak dapat berjalan seperti sediakala. Kawasan yang telah di reklamasi seakan-akan telah berubah menjadi milik pribadi. Investor yang melakukan pengurukan lahan rawa atau laut akan merasa memiliki. Jika sudah begitu maka masyarakat akan merasa dirugikan. Belum lagi timbulnya kekhawatiran akan bencana laut.

Reklamasi memiliki tujuan efektif untuk meningkatkan lahan produktif. Sebagai campur tangan manusia, reklamasi laut pasti memiliki efek yang besar pada semua aspek dari sistem pesisir serta dampak lingkungan secara bertahap. Dampak tersebut adalah kerusakan parah pada lingkungan ekologi seperti: penurunan jumlah spesies biota dan kerusakan pada sumberdaya perikanan (tempat pembibitan), maupun tempat migrasi beberapa spesies bahkan sampai menyebabkan beberapa spesies mati, hal ini terjadi selama kegiatan konstruksi (Baolei, 2012).

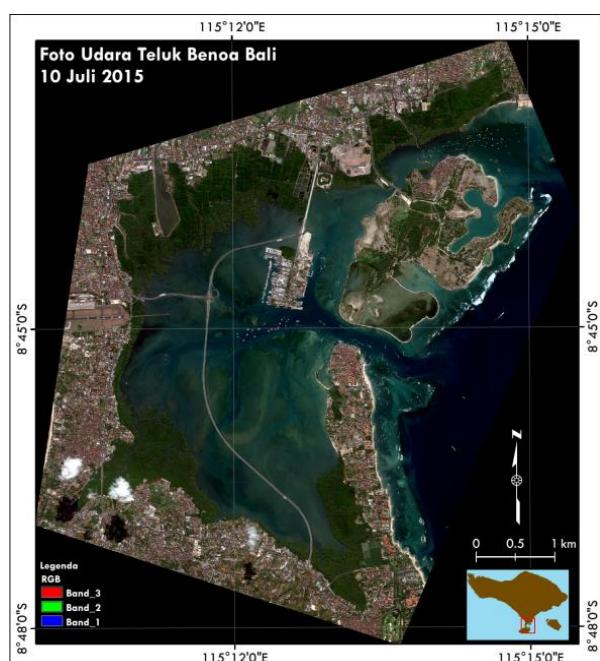
Kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya merupakan muara dari 7 tukad/sungai, yaitu: Tukad Punggawa, Tukad Balian, Tukad Badung, Tukad Mati, Tukad Soma, Tukad Mumbul dan Tukad Bualu menciptakan estuari dan tipologi yang berbeda dengan perairan pantai dangkal lainnya. Dimana hidup sejumlah komunitas strategis, khususnya komunitas mangrove, lamun, rumput laut, terumbu karang, dan *makrozoobenthos* dengan kelimpahan dan keanekaragaman yang tinggi. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan luas sebaran ekosistem pesisir seperti mangrove dan terumbu karang di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya.

METODE

Secara administrasi kawasan pesisir Teluk Benoa terletak di perairan lintas Kabupaten/Kota, yaitu Kota Denpasar dan Kabupaten Badung. Lokasi pesisir Teluk Benoa berada pada koordinat $08^{\circ}35'31''-08^{\circ}44'49''$ LS dan $115^{\circ}10'23''-115^{\circ}16'27''$ BT dengan luas lokasi pemetaan menggunakan citra SPOT-6 dan citra Landsat 7 ETM+ seluas 7.528,55 ha. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini berupa citra SPOT-6 tahun 2006, 2012 dan 2015, citra Landsat 7 ETM+ tahun 1997, peta sebaran terumbu karang Bali yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (BPSPL) Denpasar, dan Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) Lembar 1707-09 Benoa, Skala 1:50.000 Edisi I-1993 dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Sedangkan *software* yang digunakan untuk pengolahan data yaitu ER-MAPPER 7.1 untuk transformasi NDVI, analisis algoritma Lyzenga, serta melihat nilai spektral dari garis pengamatan (*transect line*) (Arief, 2013) dan ARC GIS 10.2 untuk analisis luasan dan penggabungan data.

Analisis perubahan luasan sebaran ekosistem pesisir (mangrove dan terumbu karang) menggunakan lebih dari satu metode. Pemilihan metode ini dilakukan karena beberapa metode salah mendeteksi objek akibat dari kenampakan objek yang cukup bervariasi dan respon spektral nilai band yang saling mendekati, maka akan memberikan peluang kesalahan pada saat melakukan klasifikasi pada citra. Kondisi ini berbeda apabila menggunakan citra beresolusi tinggi dengan metode klasifikasi berbasis objek (Tanto *et al*, 2018).



Gambar 1. Lokasi penelitian menggunakan citra SPOT-6 (band 321) di kawasan Teluk Benoa.

Dalam membedakan objek vegetasi mangrove dengan vegetasi jenis lain (non-mangrove) digunakan analisis NDVI. Dengan transformasi NDVI vegetasi mangrove akan terlihat lebih kontras dengan proporsi tingkat kecerahan yang lebih tinggi (Reddy, 2008). Ini dikarenakan dalam pemanfaatan NDVI menggunakan gelombang sinar inframerah dekat (NIR) dan gelombang merah (R), yang mana gelombang NIR sangat peka akan klorofil pada vegetasi.

Tahap pengolahan data yang dilakukan pertama yaitu: Tahap Pra Pengolahan Data, yang meliputi proses *cropping* atau pemotongan citra yang dilakukan untuk membatasi daerah penelitian dan meringankan proses pengolahan data. Selanjutnya dilakukan proses koreksi radiometri bertujuan untuk memperbaiki nilai piksel dengan mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Efek atmosfer menyebabkan nilai pantulan objek dipermukaan bumi yang terekam oleh *sensor* menjadi bukan merupakan nilai aslinya (Weng, 2011).

Untuk melakukan koreksi pada tahap ini digunakan metode penyesuaian histogram (*histogram adjustment*). Obyek yang memberikan respon *spektral* yang paling rendah seharusnya bernilai 0, apabila nilai ini ternyata melebihi angka 0 maka nilai tersebut dihitung sebagai bias dan koreksi dilakukan dengan mengurangi seluruh nilai pada saluran tersebut. Sedangkan proses koreksi geometri pada citra SPOT-6 dan citra Landsat 7 ETM+ dilakukan untuk mereduksi kesalahan geometri yang terjadi pada citra, sehingga dihasilkan citra terkoreksi geometri. Dimana koreksi geometri merupakan prosedur menyamakan koordinat antara koordinat citra dengan koordinat pada peta (Weng, 2011).

Lyzenga (1981); Jaelani *et al* (2015) menjelaskan bahwa pengolahan citra dengan mentransformasikan citra *digital number* (band 1 dan band 2) menggunakan fungsi *Depth Invariant Index* menjadi citra satu band. Citra tersebut dianalisis dan diklasifikasikan dengan menggunakan metode *thresholding* serta dilakukan perhitungan luasannya. Hasil klasifikasi tersebut dilakukan dengan pengecekan lapangan.

Pada tahap kedua yaitu: Tahap Pengolahan Data, dilakukan dengan transformasi NDVI. Franklin (2001) menjelaskan dengan transformasi NDVI setiap kerapatan vegetasi ditemukan kumpulan dari individu-individu tumbuhan bervariasi yang menutupi permukaan tanah. Adapun formula NDVI dijelaskan pada **Persamaan 1** berikut.

$$NDVI = Nir - \frac{R}{Nir} + r \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*
 NIR = Sinar Inframerah dekat
 R = Sinar merah (Franklin, 2001).

Dari hasil transformasi NDVI dapat dilakukan delineasi batas mangrove yang merupakan vegetasi yang mayoritas pada lokasi penelitian, dengan vegetasi minoritas yaitu hutan kota dan rerumputan. Dengan demikian data dapat dipilah dan dilakukan penyesuaian. Keterbatasan transformasi NDVI adalah sulitnya menentukan *future space* transisi antara lahan terbuka, vegetasi dan lahan terbangun untuk citra beresolusi tinggi, maka dilakukan penyempurnaan dengan menggunakan klasifikasi *Unsupervised Classification* (Reddy, 2008).

Hasil transformasi NDVI akan menghasilkan nilai -1 sampai dengan 1 (Franklin, 2001). Pada tahap ini dilakukan validasi dengan nilai kerapatan vegetasi (mangrove) di lapangan. Sehingga menghasilkan nilai korelasi antara NDVI pada citra SPOT-6 dengan nilai kerapatannya. Kemudian dilakukan klasifikasi yang tersedia dengan memasukan nilai (Panjang gelombang/ μm) NDVI seperti pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Nilai NDVI dengan kerapatan vegetasi.

Kerapatan vegetasi	Nilai NDVI (μm)
Sangat baik	0,72-0,92
Baik	0,42-0,72
Normal	0,22-0,42
Buruk	0,12-0,22
Sangat buruk	-0,1-0,22

Sumber: Franklin, 2001.

Citra SPOT-6 yang digunakan memiliki tipe MS-1, yakni citra yang terdiri dari 4 kanal multispektral, yaitu kanal *blue*, *green*, *red*, dan NIR (Weng, 2011). Jumlah kanal yang memenuhi kebutuhan untuk penerapan algoritma Lyzenga yaitu *blue*, *green*, dan NIR dengan citra yang digunakan adalah citra SPOT-6 level 2-A. Adapun formula untuk deteksi keberadaan sebaran terumbu karang menggunakan algoritma Lyzenga dijelaskan pada **Persamaan 2**, **Persamaan 3**, dan **Persamaan 4** berikut.

$$Y = In TM 1 + \frac{k_i}{k_j} In TM2 \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{k_i}{k_j} = a + \sqrt{(a^2 + 1)} \dots \dots \dots (3)$$

$$a = \frac{(var TM1 - var TM2)}{2 * covar TM1 TM2} \dots \dots \dots (4)$$

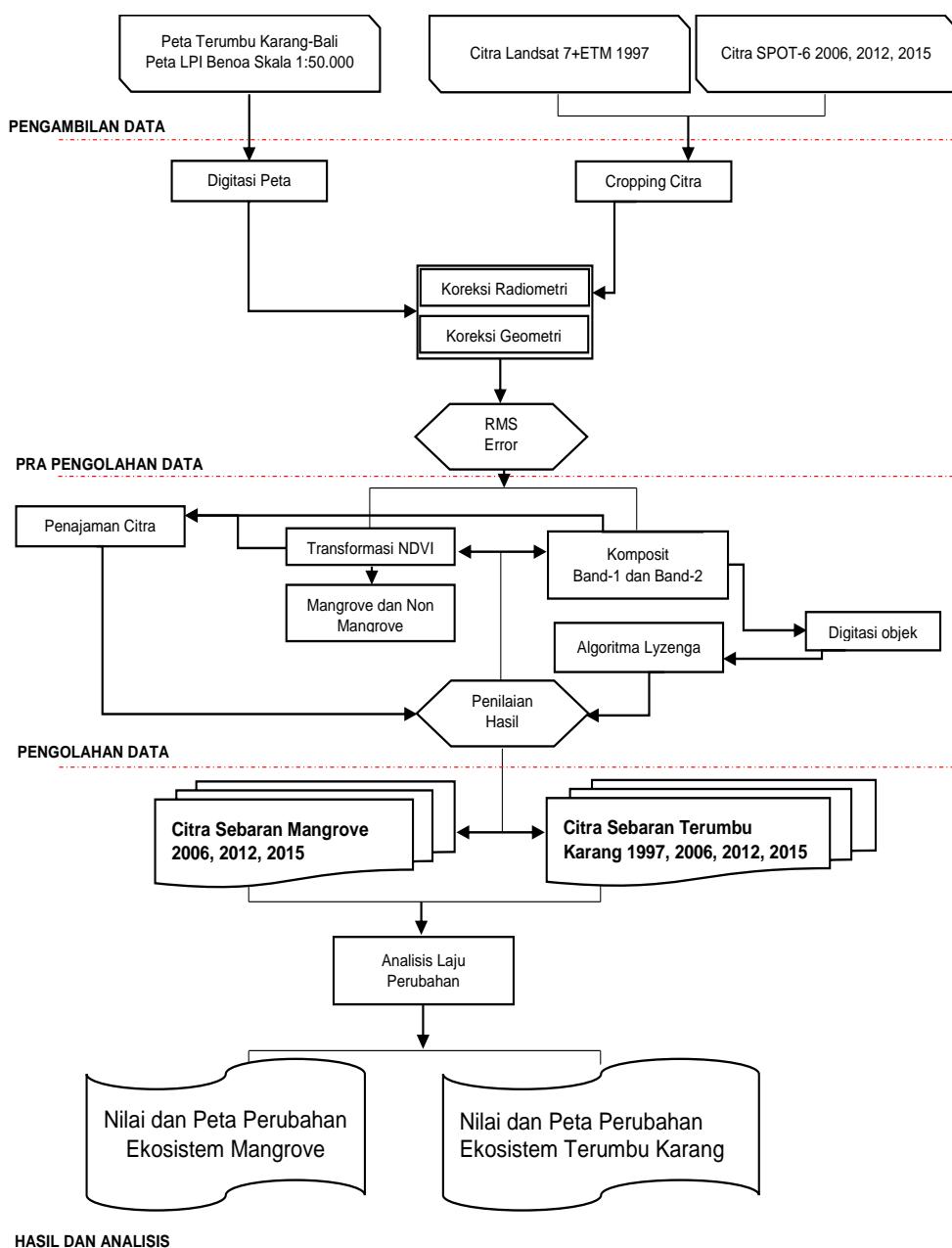
Perhitungan algoritma ini dipengaruhi oleh pasangan kanal *i* (kanal *blue*) dan *j* (kanal *green*) yang digunakan. Lyzenga (1981); Jaelani *et al*, (2015) menambahkan kanal *blue* dan *green* memiliki panjang gelombang dengan penetrasi paling baik diantara kanal yang lain. Berdasarkan penelitian Arief (2012) algoritma Lyzenga dapat diterapkan terlebih dahulu dengan menghitung nilai koefisien perairan (k_i/k_j). Dari Persamaan di atas, nilai k_i/k_j ditentukan oleh nilai *a*, nilai *a* diperoleh dengan mengekstrak nilai-nilai digital pada kanal

blue dan *green* pada posisi geografis yang sama pada lokasi penelitian dalam bentuk *polygon area* yang diambil pada area perairan dangkal, kemudian dihitung secara statistik untuk mendapatkan nilai *varian* (ragam) dan *covarian* (peragam) untuk kanal *blue* dan *green* sehingga diperoleh nilai *a* dan rasio koefisien (*k_i/k_j*) berdasarkan Persamaan (2, 3, 4) di atas. Pada tahap akhir yaitu: Tahap Hasil dan Analisis, dilakukan dengan menganalisis laju perubahan yang diperoleh secara *overlay* (Richards, 1999; Putra *et al*, 2014; Putra *et al*, 2015; Putra *et al*, 2017) terhadap nilai luasan tutupan mangrove dan terumbu karang pada kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya. Adapun formula untuk menganalisis laju perubahan dijelaskan pada **Persamaan 5** berikut.

Keterangan:

Noterangan...
 V = laju perubahan (%)
 N1 = luas tahun pertama (ha)
 N2 = luas tahun ke -n (ha).

Adapun diagram alir penelitian yang dilakukan untuk tahapan pengolahan data dari tahap awal (pengumpulan data) sampai tahap hasil analisis, sehingga menghasilkan informasi sebaran mangrove dan terumbu karang di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut.



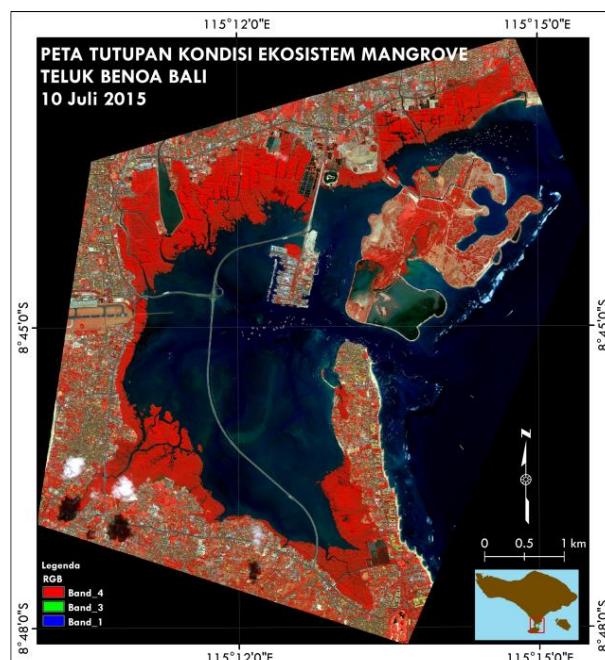
Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Tutupan Mangrove

Penentuan luasan tutupan mangrove dilakukan dengan analisis visual pada perbedaan warna citra dengan kombinasi band 421 pada citra SPOT-6 **Gambar 3**. Tutupan mangrove berdasarkan informasi di lapangan merupakan zona rehabilitasi khususnya di Kelurahan Pedungan, dimana sebagian besar kenampakkan masih berupa tambak dan hutan kota. Mangrove merupakan kelas tutupan lahan yang memiliki warna berbeda dengan kelas-kelas tutupan lahan lainnya. Berdasarkan hasil survei lapangan terdapat 16 jenis mangrove di dalam kawasan Teluk Benoa, yaitu: jenis *Sonneratia alba*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina*, *Xylocarpus granatum*, *Excoecaria agallocha*, *Avicennia lanata*, *Ceriops tagal*, *Aegiceras corniculatum*, *Avicennia officinalis*, *Bruguiera cylindrical*, *Sonneratia caseolaris*, *Lumnitzera racemosa*, *Ceriops decandra* dan *Phemphis acidula*. Semua jenis mangrove ini adalah jenis mangrove sejati (*true mangrove*).

Pada citra SPOT-6 kombinasi band 421 memperlihatkan warna merah cerah **Gambar 3** dan pada kombinasi band 321 memperlihatkan warna hijau tua **Gambar 1**. Berdasarkan penelitian Kontgis *et al*, (2015) kenampakan warna yang berbeda ini disebabkan adanya variasi tegakan, dominasi jenis dan umur vegetasi sehingga menyebabkan perbedaan proporsi pantulan obyek. Sedangkan warna hijau muda menunjukkan sebaran hutan kota dan semak belukar/rerumputan.



Gambar 3. Citra SPOT-6 kombinasi band 421 di Kawasan Teluk Benoa.

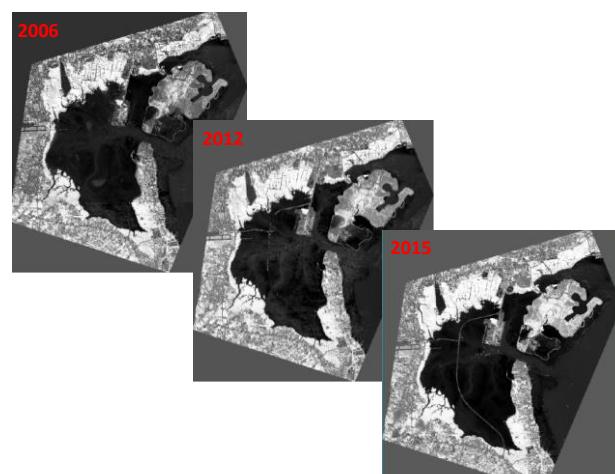
Hasil klasifikasi untuk tutupan mangrove menggunakan kombinasi band 421 **Gambar 3** menunjukkan jangkauan band 4 pada inframerah gelombang pendek (*Short Wave Infrared*) 1,58-1,75 μm , band 3 pada 0,78-0,89 μm , dan band 1 pada jangkauan 0,50-0,59 μm .

Berdasarkan kenampakan secara visual dari gabungan kombinasi band tersebut, terlihat warna merah pada vegetasi mangrove sangat nampak mulai dari merah terang sampai merah gelap, sehingga objek-objek yang lain ditampilkan dalam warna yang berbeda. Kombinasi band 421 dari citra SPOT-6 yang sesuai dengan batas lokasi penelitian dikonversi ke dalam format *ers (Kaliraj *et al*, 2017). Kemudian diolah dengan transformasi NDVI yang bertujuan agar dapat memperoleh proporsi tutupan mangrove yang lebih baik. Hasil analisis NDVI menunjukkan proporsi tutupan mangrove menampilkan tingkatan proporsi yang lebih optimal dalam kenampakan citra *grayscale*. Burel & Baudry (2004) menjelaskan dengan menggunakan metode ini, perbedaan antara mangrove dan non-mangrove menunjukkan kenampakan yang cukup baik (**Tabel 2** dan **Gambar 3**). Adapun sebaran luasan perubahan tutupan mangrove di kawasan Teluk Benoa menggunakan analisis citra Spot-6 dapat dilihat pada pada **Tabel 3** dan **Gambar 5** berikut.

Tabel 2. Nilai Citra Tunggal NDVI.

Tahun	Nilai Pantul (μm)	
	Min	Max
2006	-0,4222	0,8252
2012	-0,6140	0,8513
2015	-0,6203	0,8695

Sumber: Analisis data, 2017.

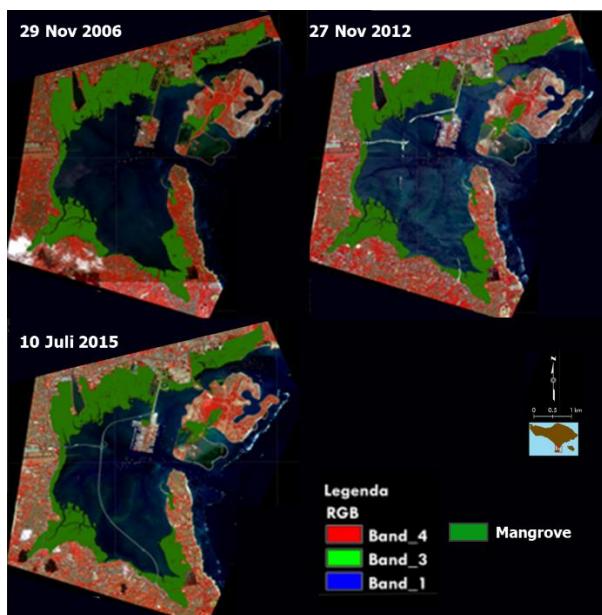


Gambar 4. Kenampakkan tutupan mangrove dalam citra *grayscale* di kawasan Teluk Benoa.

Tabel 3. Luas perubahan tutupan mangrove.

Ekosistem	Tahun (ha)		
	2006	2012	2015
Mangrove	1.095,89	1.005,91	1.066,53

Sumber: Analisis data, 2017.



Gambar 5. Peta sebaran perubahan tutupan mangrove.

Tabel 4. Luas perubahan tutupan mangrove.

Tahun	Perubahan	Laju (%)
2006	2012	(ha)
1095,89 ha	1005,91 ha	-89,98
		-9
Tahun		
2012	2015	
1005,91 ha	1066,53 ha	60,62
		6

Sumber: Analisis data, 2017.

Laju perubahan tutupan mangrove yang diperoleh dari data tahun awal, kedua, dan ketiga (**Tabel 4**) yaitu: tahun 2006 ke tahun 2012 nilai laju tutupan mangrove -9 % dengan perubahan -89,98 ha; dan Pada tahun 2012 ke tahun 2015 nilai laju tutupan mangrove 6% dengan perubahan -60,62 ha. Ketujuh Tukad/sungai yang bermuara kedalam Kawasan Teluk Benoa secara tidak langsung sangat berpengaruh terhadap kondisi lingkungan perairan. Tukad tersebut banyak ragam fungsinya yang dapat dimanfaatkan untuk menyokong kehidupan masyarakat. Salah satu fungsinya adalah sebagai penyuplai air tawar dan sebagai pengatur mutu air (salinitas) bagi budidaya tambak (Putra & Husrin, 2017).

Dilihat dari analisis data citra SPOT-6, tutupan lahan yang tumbuh di pinggiran pesisir kawasan Teluk Benoa dominan adalah tutupan mangrove. Bentuk lahan/geomorfologi kawasan yang datar menunjukkan bahwa lahan tersebut merupakan tempat yang berpotensi untuk pertumbuhan mangrove (Putra *et al*, 2013), sehingga hasil penajaman citra nampak jelas bahwa obyek mangrove pada garis pantai yaitu dengan warna merah kegelapan dan bentuk rona halus, bergerombol dan banyak tumbuh lebat di sekitar pinggiran sungai. Selain pada sebaran tutupan mangrove, nampak pula lahan tambak, dimana di area lahan tambak (jarang) ditumbuh mangrove.

Perubahan Terumbu Karang

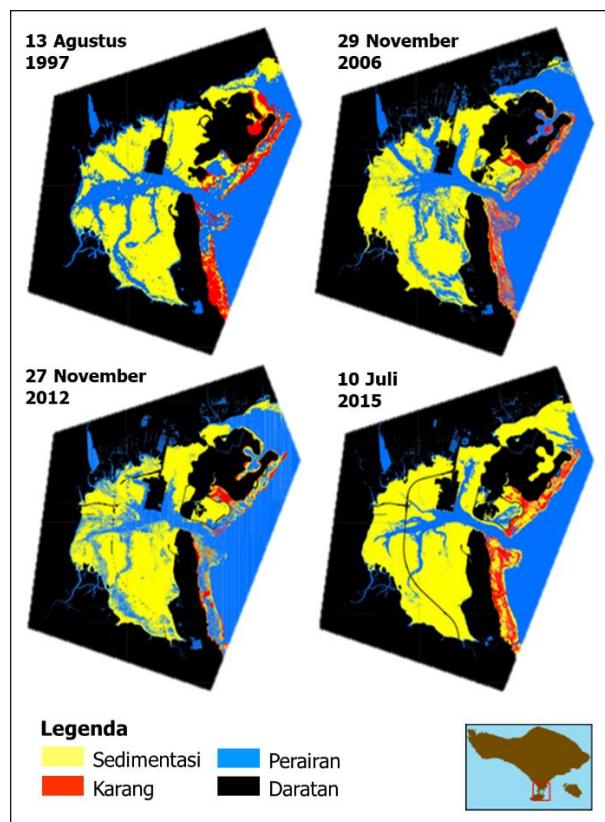
Identifikasi substrat dasar perairan di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya menggunakan algoritma Lyzenga terlebih dahulu dilakukan dengan perhitungan nilai koefisien perairan (ki/kj). Nilai ki/kj ini diperoleh dari nilai piksel spektral dengan membuat *polygon*, serta mempertimbangkan kondisi kedalaman perairan dan jenis obyek dasar perairan. Dari analisis algoritma Lyzenga diperoleh nilai ki/kj sebesar 0,7607 tahun 2015; 0,8762 tahun 2012; 0,7981 tahun 2006, dan 0,6712 tahun 1997 menggunakan Landsat 7 ETM+. Kombinasi band yang digunakan pada citra SPOT-6 adalah 421 dan 521 pada citra Landsat 7 ETM+. (Lyzenga, 1981; Jaelani *et al*, 2015) menjelaskan kombinasi band tersebut menunjukkan kenampakan dasar perairan yang lebih baik, karena kanal NIR memiliki sensitivitas spektral yang baik dalam membedakan parameter ekosistem pesisir, dan untuk mendapatkan korelasi linear yang benar, maka perlu dilakukan pembatasan pada lokasi penelitian untuk substrat dasar perairan yang homogen menggunakan citra satelit yang sudah memiliki nilai radiometri dan geometri.

Kanal yang dipilih untuk dihitung rasionalnya adalah kanal dengan penetrasi ke dalam air yang tertinggi, yakni kanal *blue* dan *green*. Hasil algoritma Lyzenga menggunakan *palette* warna *rainbow* dengan *software* ER-MAPPER 7.1 menampilkan hasil transformasi Lyzenga cukup jelas untuk perbedaan pola dari tipe substrat dasar perairan antara karang dan sedimen. Selanjutnya tampilan obyek dasar perairan dapat dilihat dengan mengatur dan mempertajam nilai histogramnya sesuai dengan nilai koefisien ki/kj yang dicari. Kenampakan sebaran terumbu karang yang terdeteksi oleh sensor citra SPOT-6 terdapat pada spektral *visible* (sinar biru) dengan panjang gelombang 0,42-0,50 μm . Sensor citra SPOT-6 pada kanal biru mampu mendeteksi pantulan air dengan panjang gelombang 0,45 μm . Keberadaan terumbu karang (warna merah) (**Gambar 6**), menempati mulut teluk sampai sisi batas pasir ke arah laut dalam (bentuk tidak beraturan), dimana obyek dasar perairan yang kenampakan yang tidak beraturan harus di edit. Pada proses selanjutnya setiap kelompok nilai piksel pada data hasil transformasi Lyzenga diklasifikasikan dengan metode *Unsupervised Classification*. Kemudian dilakukan verifikasi untuk membedakan kelas menjadi lebih spesifik. Adapun hasil analisis luasan terumbu karang di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 6** berikut.

Tabel 5. Luas perubahan sebaran terumbu karang.

Tutupan Perairan	1997	2006	2012	2015	Tahun (ha)
Terumbu Karang	274,7	205,63	115,12	227,59	

Sumber: Analisis data, 2017.



Gambar 6. Peta hasil klasifikasi untuk sebaran terumbu karang di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya.

Tabel 6. Laju perubahan sebaran terumbu karang.

Tahun (ha)	Rata-rata (ha)	Sta. Deviasi	Perubahan (ha)	Laju (%)
1997 2006	205,63	240,165	34,535	-69,07
Tahun				
2006 2012	115,12	160,375	45,255	-90,51
Tahun				
2012 2015	115,12	227,59	171,355	56,235
			112,47	97,70

Sumber: Analisis data, 2017.

Laju perubahan kondisi terumbu karang yang diperoleh dari data tahun awal, kedua, ketiga dan keempat (**Tabel 6**) yaitu pada tahun 1997 ke tahun 2006 nilai laju sebaran terumbu karang -25,14% dengan perubahan -69,07 ha; tahun 2006 ke tahun 2012 nilai laju sebaran terumbu karang -44,02% dengan perubahan -90,51 ha; sementara tahun 2012 ke tahun 2015 nilai laju sebaran terumbu karang 97,70% dengan perubahan 112,47 ha. Berdasarkan analisis dengan pendekatan algoritma Lyzenga, menunjukkan sebaran terumbu karang tumbuh dan berkembang di sepanjang mulut kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya (warna merah). Terumbu karang yang berada di perairan dangkal dan umumnya didominasi karang hidup, karang mati, dan pecahan material beton hasil reklamasi Pulau Serangan dan pembangunan tol laut yang mengendap diperairan dangkal dengan membentuk formasi terumbu penghalang

(barrier reef). Secara fisik, terumbu karang penghalang ini merupakan benteng perlindungan pantai dari ancaman erosi/abrsi yang disebabkan oleh gelombang dan arus laut selat Badung.

Sudiarta *et al*, (2013) menambahkan ekosistem terumbu karang di kawasan perairan Teluk Benoa dan sekitarnya kaya akan organisme foram (*foramenifera*) dengan sumber pasir putih. Oleh karena itu, ekosistem terumbu karang di kawasan ini merupakan pabrik alam pasir putih yang mensuplai pasir putih di pantai-pantai wisata yang indah di Pantai Sanur, Tanjung Benoa, Nusa Dua dan kawasan sekitarnya. Terbentuknya Tanjung Benoa, Pulau Serangan dan pantai-pantai sekitarnya juga merupakan hasil kerja terumbu karang bersama-sama proses-proses morfologi marine lainnya.

Ditinjau dari aspek perikanan, ekosistem terumbu karang di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya merupakan "ladang" yang menopang mata pencarian nelayan tradisional melalui kegiatan penangkapan ikan konsumsi dan ikan hias yang produktivitasnya didukung baik langsung maupun tidak langsung oleh keberadaan ekosistem tersebut. Sedangkan ditinjau dari aspek rekreasi dan pariwisata, ekosistem terumbu karang di kawasan sekitar Teluk Benoa (Sanur, Serangan, Tanjung Benoa, Nusa Dua dan sekitarnya) merupakan daya tarik wisata yang menopang industri wisata *diving* (*scuba diving* dan *snorkeling*). Industri wisata *diving* ini mengalami perkembangan yang pesat dalam beberapa tahun terakhir dan menjadi salah satu usaha wisata andalan dan sumber daya saing destinasi pariwisata (Putra & Husrin, 2017). *Hermatifik*, dan *Terora* 126 jenis. Ekosistem terumbu karang ini menjadi habitat bagi 290 jenis ikan karang. Hal ini menunjukkan bahwa terumbu karang berperan penting dalam pengawetan keanekaragaman hayati laut. Ekosistem terumbu karang di kawasan Teluk Benoa dan sekitarnya merupakan lokasi yang memiliki kekayaan jenis karang yang relatif tinggi dan pusat keanekaragaman jenis karang di belahan pesisir Bali bagian Selatan. Hasil penelitian BPSPL Denpasar (2014) menunjukkan di perairan pantai Sanur tercatat 133 jenis karang.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis citra SPOT-6 tahun 2006 kondisi mangrove relatif sangat baik dengan luas 1.095,89 ha, tetapi pada tahun 2012 keberadaannya berkurang menjadi 1.005,91 ha, hal ini disebabkan karena sebagian telah ditebang dijadikan lahan tambak dan alih fungsi lahan seperti di Kelurahan Pedungan dan reklamasi Pulau Serangan. Dengan demikian kondisi mangrove dari tahun 2006-2015 menunjukkan sudah terdegradasi. Hal tersebut menyebabkan fungsi mangrove sebagai perlindungan biota perairan sudah

menurun, sehingga menyebabkan penurunan hasil penangkapan ikan bagi nelayan. Sedangkan hasil analisis algoritma Lyzenga menunjukkan terumbu karang dominan berada di luar teluk. Dengan perubahan luasan pada tahun 1997-2006 seluas -69,07 ha, serta tahun 2006-2012 seluas -90,51 ha dan tahun 2012-2015 seluas 112,47 ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kepala Loka Penelitian Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM KP Bungus Kota Padang, yang telah memberikan dukungan bagi kami dalam melaksanakan penelitian ini. Kami juga menghaturkan banyak terima kasih bagi semua pihak yang telah membantu proses administrasi dan juga pihak yang membantu kami di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asbullah, R. (2002). Hubungan Reklamasi Pantai dengan Komponen Perkembangan Kawasan. [Tesis]. Yogyakarta: Master of Urban and Regional Planning Universitas Gadjah Mada.
- Arief, M. (2012). Aplikasi Data Satelit SPOT-4 Untuk Mendeteksi Terumbu Karang: Studi Kasus Di Pulau Pari. *Majalah Ilmiah Globe*. 14 (1). 1-6.
- Arief, M. 2013. Metode Deteksi Terumbu Karang dengan Menggunakan Data Satelit SPOT dan Pengukuran SPEKTROFOTOMETER Studi Kasus: Perairan Pantai Ringgung. Kabupaten Pesawaran. *J. Penginderaan Jauh*, 10(2). 71-82.
- Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut [BPSPL] (2014). Penyusunan Paket Sumberdaya Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Provinsi Bali. Denpasar: Laporan Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Baolei, Z. (2012). China. Environmental impacts of sea reclamation in Jiaozhou Gulf, Shandong province of China. *J. Natural Hazards*. 63(2). 1269-1272.
- Burel, F and J. Baudry. (2004). *Landscape Ecology Concepts, Methods and Application*. United States of America: Science Publishers.
- Franklin, S.E. (2001). *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Florida: CRC Press LLC.
- Husrin, S., U.J. Wisha., R. Prasetyo., A. Putra and A. Attamimi. (2017). Characteristics of Marine Litters in the West Coast of Bali. *J. Segara*. 13(2). 129-140.
- Jaelani, M.L., N. Lalli dan Y. Marini. (2015). Pengaruh Algoritma Lyzenga dalam Pemetaan Terumbu Karang Menggunakan Worldview - 2, Studi Kasus: Perairan PLTU Paiton Probolinggo. *J. Penginderaan Jauh*. 12(2). 123-132.
- Kaliraj, S., N. Chandrasekar and K.K. Ramachandran. (2017). Mapping of coastal landforms and volumetric change analysis in the south west coast of Kanyakumari, South India using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 20. 265-282.
- Kontgis, C., A. Schneider and M. Ozdogan. (2015). Mapping rice paddy extent and intensification in the Vietnamese Mekong River Delta with dense time stacks of Landsat data. *Remote Sensing of Environment*. 169. 255-269.
- Lyzenga, D. R., 1981. *Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data*, *International Journal of Remote Sensing*, 2(1), 71-82.
- Oktavia, A.R., F. Fauzia., C. Irma dan N. Kusumawardani. (2014). Analisis Peraturan Presiden No. 51 tahun 2014 mengenai Reklamasi Teluk Benoa. *Makalah Politik Kebijakan Publik*. Depok. FISIP Universitas Indonesia.
- Picard, M. (2006). Bali: Pariwisata Budaya dan Budaya Pariwisata. Kepustakaan Populer Gramedia (KPG) bekerjasama dengan Forum Jakarta-Paris dan Ecole francaise d'Extreme-Orient.
- Putra, A., S. Husrin dan Triyatno. 2013. Analisa Bencana Banjir di Kota Padang (Studi Kasus Intensitas Curah Hujan Kota Padang 1980-2009 dan Aspek Geomorfologi). Prosiding Seminar Sains Atmosfer 2013. Bandung 28 Agustus 2013. 24-33.
- Putra, A., S. Husrin dan N.N. Ridwan. 2014. Analisa Perubahan Garis Pantai di Pesisir Timur Laut Bali Dengan Menggunakan Dataset Penginderaan Jauh. Studi kasus Lokasi Situs Kapal Uset Liberty Tulamben. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan*. Denpasar 14 Oktober 2014. 143-59.
- Putra, A., S. Husrin dan J. Kelvin. 2015. Identifikasi Perubahan Luasan Greenbelt di Kabupaten Pangandaran - Jawa Barat Menggunakan Citra Landsat. *J. Akuatika* 2(1). 39 - 67.
- Putra, A dan S. Husrin. (2017). Kualitas Perairan Pasca Cemaran Sampah Laut di Pantai Kuta Bali. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 9(1). 57-66.
- Putra, A., U.J. Wisha and G. Kusumah. (2017). Spatial Analysis of River Line and Land Cover Changes in Kampar River Estuary: The Influence of Tidal Bore Bono Phenomenon. *Forum Geografi*. 31(2). 220-231.
- Reddy, M. A. (2008). *Remote Sensing and Geographical Information Systems Third Edition*. Hyderabad: BS Publications.
- Richards, J. A. (1999). *Remote Sensing Digital Imagery Analysis*, Berlin: Springer-Verlag.
- Sudiarta, K., I.G. Hendrawan., K.S. Putra dan I.M.I. Dewantama. (2013). *Kajian Modeling Dampak Perubahan Fungsi Teluk Benoa untuk Sistem Pendukung Keputusan (Decision Support System) dalam Jejaring KKP Bali*. Jakarta. Laporan Conservation International Indonesia (CII).
- Tanto, T.A., U.J. Wisha., G. Kusumah., W.S. Pranowo., S. Husrin., Ilham dan A. Putra. (2017). Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa-Bali. *J. Geomtika*. 23(1). 37-48.
- Tanto, T.A., A. Putra., G. Kusumah., A.R. Farhan., W.S. Pranowo., S. Husrin dan Ilham. (2018). Pendugaan Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa-Bali Berdasarkan Citra Satelit. *J. Kelautan Nasional*. 12(3). 101-107.
- Weng, Q. 2011. *Advances in Environmental Remote Sensing Sensors, Algorithms and Applications*. New York. CRC Press of the Taylor & Francis Group.

INDEKS

A

Admiral Musa Julius, 65
Agus Marsono, 65
analisis spasial, 9, 19
Anggi Afif Muzaki, 75
anomali gayaberat, 65, 66, 67, 68, 73
Aprizon Putra, 37
arus laut, 37, 38, 39, 44, 45
arus pasang surut, 37, 38, 42

B

Benoa Bay, 37, 48
brebes, 9

C

cartometric construction of marine allocation boundaries, 17
change, 10, 12, 14, 57
characteristics of ocean current, 37
chlorophyll-a, 57
citra Landsat, 50, 51, 75, 78, 79, 82, 84
citra Sentinel-2, 75, 78, 82, 84, 85
coastal, 1, 9, 10, 12, 13, 75

D

Damianus Tri Heryanto, 65
digital signal processing, 27

E

ekosistem lamun, 75, 76, 77, 81, 84, 85

F

Fahrul Hidayat, 17
Florence Elfriede S. Silalahi, 17
fresh swampland, 49

G

Garis batas KPWL provinsi, 17
genangan, 49, 50, 51, 52, 54, 55
GNSS CORS, 27, 28, 29, 35, 36
gravity anomaly, 65
Gunardi Kusumah, 37

I

Ilham, 37
Indian Ocean Dipole, 57, 63, 64
inundation, 49
Isna Uswatun Khasanah, 1

J

Julanda Novita Yenni, 1

K

karakteristik arus laut, 37
kecepatan pergerakan, 27, 34, 35
kenaikan muka air laut, 1, 2, 3, 6, 7, 8
ketebalan sedimen, 65, 73
klorofil-a, 57, 58, 59, 60, 61, 63
konstruksi garis batas laut secara kartometrik, 17
kualitas air, 9

L

linear regression, 1
Lyzenga, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

M

Mahmud Yusuf, 65
Martono, 50, 56, 57
Mawardi, 49
Mila Apriani, 65
Muchamad Wahyu Trinugroho, 49

N

North Maluku, 17

O

ocean current, 37

P

pemrosesan data digital, 27
pencemaran, 9
penginderaan jauh, 49, 50, 55, 75, 76, 82
perairan Sumatera Barat, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8
perhitungan akurasi, 75
perubahan, 2, 5, 7, 9, 23, 28, 30, 38, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 67, 76, 78
pesisir, 1, 2, 3, 9, 47, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 84
power spectral, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 73
Provinces KPWL boundaries, 17
Provinsi Maluku Utara, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Provinsi Papua Barat, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25

R

rawa lebak, 49, 50, 51, 55
regresi linier, 1, 6, 7
remote sensing, 49, 75, 85
Resha Chistian Yanuar, 75
Rizki Hanintyo, 75

S

satelit Jason-2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
satellite Jason-2, 1
sea level rise, 1
sea surface height, 57, 63
sediment thickness, 65
Semeidi Husrin, 37
spatial analysis, 9, 10, 16

T

Teluk Benoa, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

the Provinces of West Papua and North Maluku, 17
tidal current, 14, 37
tinggi muka laut, 6, 43, 57, 58, 59, 60, 61, 63
Try Al Tanto, 37

U

Ulung Jantama Wisha, 9, 37

V

velocity rate, 27

W

water quality, 9, 10, 11, 15
Waters Bodies of West Sumatera, 1
West Papua, 17
Widodo S. Pranowo, 37
Wisnu Arya Gemilang, 9

p-ISSN 0854-2759



Sekretariat

Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong
Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia
Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064
e-mail: jurnalgeomatika@gmail.com
Homepage: jurnal.big.go.id/index.php/GM