

Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Ekstraksi Habitat Perairan Laut Dangkal di Pantai Pemuteran, Bali, Indonesia

Anang Dwi Purwanto*, Kuncoro Teguh Setiawan dan Devica Natalia Br. Ginting

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Kalisari No.8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur Indonesia
Email: anang_depe@yahoo.com

Abstract

The Data Utilization of Remote Sensing for Habitat Extraction on Shallow Water in Pemuteran Beach, Bali, Indonesia

Indonesia had a large diversity of coastal ecosystems. One part of the them is the coral reef. The concept of mapping coral reef ecosystems has been outlined in the RSNi document about the mapping of shallow marine waters. The aim of this study is to map shallow marine waters using the 1981 and 2006 Lyzenga methods. The mapping was made based on three classes including coral reef, mixed seagrass and macroalgae, and substrate. The location of the study was conducted at Pemuteran Beach, Bali. The data used were Landsat 8 imagery acquisition on 14 April 2018. Stages of data processing include atmospheric correction, radiometric correction, pansharpening, masking, cropping, and water column correction and classification. Water column correction used the Lyzenga 1981 and 2006. Classification methods to distinguish objects of shallow marine waters using the unsupervised method. The results showed differences in the results of extraction of shallow marine waters information using the Lyzenga 1981 with the 2006 Lyzenga method. The extraction results with the Lyzenga 2006 method provide more detailed information in identifying the three classes of shallow marine waters.

Keywords : Coral Reef; Lyzenga; Pemuteran; Unsupervised Classification

Abstrak

Indonesia memiliki keanekaragaman ekosistem pesisir yang cukup besar. Salah satu bagian dari ekosistem tersebut adalah ekosistem terumbu karang. Konsep pemetaan ekosistem terumbu karang telah dituangkan dalam RSNi tentang pemetaan habitat dasar perairan laut dangkal. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan pemetaan habitat perairan laut dangkal dengan menggunakan metode Lyzenga 1981 dan 2006. Pemetaan tersebut dibuat berdasarkan tiga kelas diantaranya: kelas terumbu karang, kelas campuran padang lamun dan makro alga, serta kelas substrat dasar. Lokasi penelitian dilaksanakan di Pantai Pemuteran, Bali. Data yang digunakan adalah citra Landsat 8 akuisisi 14 April 2018. Tahapan pengolahan data meliputi, koreksi atmosferik, koreksi radiometrik, proses pansharpening, proses masking darat air, cropping, serta koreksi kolom air serta klasifikasi. Koreksi kolom air menggunakan metode Lyzenga 1981 dan 2006. Klasifikasi untuk membedakan obyek habitat perairan laut dangkal menggunakan metode *unsupervised*. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan hasil ekstraksi informasi habitat perairan laut dangkal menggunakan metode Lyzenga 1981 dengan metode Lyzenga 2006. Hasil ekstraksi dengan metode Lyzenga 2006 memberikan informasi yang lebih detail dalam mengidentifikasi tiga kelas habitat perairan laut dangkal tersebut.

Kata kunci: Terumbu Karang; Lyzenga; Pemuteran; Klasifikasi *Unsupervised*.

PENDAHULUAN

Terumbu karang adalah bagian dari habitat dasar perairan laut dangkal yang menjadi salah satu sumber daya alam laut yang sangat menarik dan dinamik. Hochberg dan Atkinson, (2002) adalah terumbu karang merupakan ekosistem kompleks laut yang kehadirannya mempengaruhi banyak aspek seperti perekonomian (Johns *et al.*, 2001; White, *et al.*, 2000), dan tempat keanekaragaman hayati (Bellwood dan Hughes, 2001). Berdasarkan rilis resmi dari kebijakan satu peta (*one map policy*) menyebutkan luas terumbu karang di Indonesia berdasarkan citra satelit adalah sekitar 2,5 juta hektar (LIPI, 2017).

Mengingat banyaknya manfaat yang diberikan dari keberadaan terumbu karang maka diperlukan upaya pengelolaan yang baik dimana salah satunya adalah dengan melakukan monitoring kondisi luasan dan kesehatan dari ekosistem terumbu karang tersebut. LIPI (2018) menyebutkan kondisi terkini dari terumbu karang di Indonesia secara umum sedikit mengalami perubahan dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Lubin *et al.*, (2001) menunjukkan adanya kerusakan terumbu karang akibat dari aktivitas manusia baik secara langsung dan tidak langsung yang akan mengganggu ekosistem pesisir (Dustan and Halas, 1987; Hughes, 1994; Hatzios *et al.*, 1998). Untuk mengetahui kondisi terumbu karang diperlukan monitoring yang berkelanjutan. Penginderaan jauh merupakan salah satu alat yang efektif dan efisien dalam memetakan ekosistem dari terumbu karang tersebut.

Dalam upaya monitoring kondisi luasan terumbu karang dapat digunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) karena sangat efektif dan efisien baik dari aspek waktu maupun biaya (Green *et al.*, 2000). Penelitian mengenai terumbu karang menggunakan penginderaan jauh telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti. Lubin *et al.* (2001) dengan menggunakan model transfer radiasi pada data Landsat-TM menunjukkan kemampuan untuk membedakan pasir, alga coralline,

makroalga hijau, alga rumput, dan species terumbu karang lainnya. Andrefouet *et al.* (2000) mengatakan bahwa Landsat-ETM+ mampu membedakan 3 hal yaitu, pasir karbonat, terumbu karang hidup dan makroalga. Mumby, *et al.*, (1998) dengan menggunakan algoritma menunjukkan perbandingan estimasi terumbu karang menggunakan satelit Landsat TM dan citra dari *spectrometer airborne* memiliki akurasi keseluruhan 75%. Arief (2013) menjelaskan bahwa dalam pemetaan terumbu karang, radiansi yang diterima sensor dipengaruhi oleh sifat pantulan dari obyek di dasar dan air di atasnya. Algoritma Lyzenga dapat memudahkan dalam menunjukkan kenampakan obyek di bawah permukaan laut karena telah terbebas dari pengaruh kedalaman (Jaelani *et al.*, 2015).

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya terlihat semakin banyak band tampak (*visible*) yang digunakan untuk koreksi kolom air maka hasil identifikasi habitat perairan laut dangkal akan semakin optimal. Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data Landsat 8 yang memiliki jumlah band lebih banyak dan panjang gelombang yang lebih bervariasi dibandingkan produk Landsat sebelumnya diharapkan mampu memetakan habitat perairan laut dangkal dalam skala resolusi menengah dengan lebih akurat. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan pemetaan habitat perairan laut dangkal dengan menggunakan metode lyzenga 1981 dan 2006 menggunakan data citra Landsat 8 di wilayah Pantai Pemuteran, Bali. Pemetaan tersebut dibuat dalam skala resolusi menengah berdasarkan tiga kelas yaitu kelas terumbu karang, kelas campuran antara lamun dengan makroalga dan kelas substrat dasar.

MATERI DAN METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI hasil (path/row: 117/066). Lokasi penelitian dilakukan di Pantai Pemuteran, Bali (Gambar 1). Pemilihan tanggal citra disesuaikan atau berdekatan dengan waktu pelaksanaan survei lapangan.

Proses pengolahan data diawali dengan pengolahan awal diantaranya

koreksi atmosferik, koreksi radiometrik, proses *pansharpening*, *masking* darat dan air, serta *cropping* (pemotongan). Koreksi atmosferik adalah suatu proses untuk menghilangkan atau mengurangi efek atmosfer terhadap data yang dihasilkan oleh sensor satelit sehingga data piksel yang diterima sensor tersebut merupakan hasil pantulan dari masing-masing obyek. Koreksi radiometrik dilakukan untuk memberikan kestabilan nilai pantulan setiap band dari masing-masing obyek. Proses *pansharpening* merupakan teknik penajaman resolusi citra satelit menggunakan input citra multispektral dan citra pankromatik untuk mendapatkan resolusi spasial yang lebih tinggi. Proses *pansharpening* menggunakan metode *gram-schmidt* yang terdapat pada software *Envi 5.1*. *Cropping* dilakukan untuk memfokuskan lokasi penelitian sehingga dapat mempercepat proses pengolahan data analisanya.

Setelah tahapan *pre-processing* data, kemudian dilakukan koreksi kolom air dengan menggunakan metode *Lyzenga 1981* dan *Lyzenga 2006*. Algoritma *Lyzenga* pada dasarnya adalah suatu metode koreksi kolom air yang digunakan untuk menghilangkan efek dari suatu kolom air yang mempengaruhi terhadap nilai pantulan suatu obyek yang diterima sensor. Oleh karena itu setelah proses koreksi kolom air dilakukan nilai pantulan yang diterima oleh sensor merupakan hasil dari reflektansi dari setiap obyek yang ada dibawah air. Penelitian *Nurlidiasari dan Budiman (2005)*

menunjukkan metode koreksi kolom air memiliki akurasi lebih baik dibandingkan tanpa koreksi kolom air. Koreksi kolom air menggunakan metode empirikal dari *Lyzenga* mudah untuk diaplikasikan pada perairan dangkal dengan ekosistem terumbu karang.

Dalam metode koreksi *Lyzenga 1981*, hamburan permukaan laut atau hamburan atmosfer secara implisit diasumsikan homogen pada area target. Untuk perairan laut dalam, pancaran spektral yang diamati diasumsikan tidak termasuk reflektansi dasar, sehingga kedalaman air hanya terdiri dari informasi yang berkaitan dengan refleksi eksternal dari permukaan air dan hamburan atmosfer. Oleh karena itu efek dari hamburan permukaan laut atau hamburan atmosfer dapat dihilangkan dengan mengurangi rata-rata nilai hamburan pada laut dalam (*Lyzenga, 1981*).

Dalam koreksi kolom air menggunakan metode *Lyzenga 2006*, hamburan permukaan laut atau hamburan atmosfer tidak dianggap homogen di atas area obyek tertentu; nilai hamburan tersebut bervariasi setiap pikselnya. Variasi nilai hamburan tersebut diregersikan secara linear dengan nilai panjang gelombang band NIR. Jadi metode tersebut merupakan metode koreksi menghilangkan variasi pixel dari hamburan permukaan laut atau hamburan atmosfer dengan menggunakan band NIR (*Lyzenga, 1978*) dimodifikasi oleh (*Kanno, 2011*).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Hasil dari proses koreksi kolom air kemudian diklasifikasi menggunakan metode klasifikasi *unsupervised* untuk memisahkan kelas-kelas habitat dasar perairan laut dangkal. Teknik klasifikasi *unsupervised* pernah digunakan oleh Green *et al.* (2000) untuk memetakan habitat terumbu karang. Teknik klasifikasi ini berbasis komputer dan atau pengetahuan lokal habitat serta pengalaman di lapangan dengan menggunakan data posisi yang telah diketahui. Mishra *et al.* (2006) juga menggunakan algoritma ISODATA untuk memetakan habitat bentik perairan dangkal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

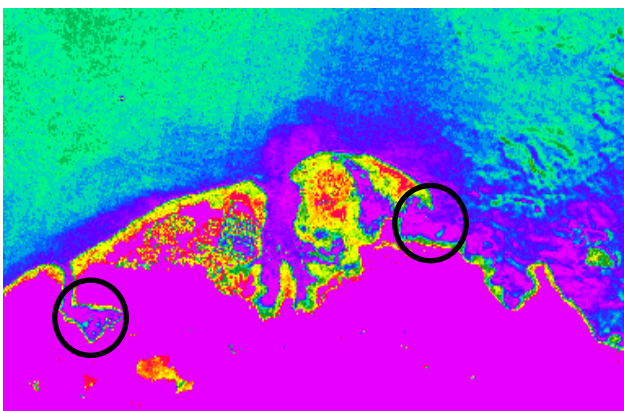
Dalam identifikasi suatu obyek yang berada di bawah perairan sangat diperlukan sebuah proses koreksi kolom air. Kondisi atmosfer dan kolom air sangat berpengaruh dalam pemetaan habitat dasar perairan laut dangkal berdasarkan citra satelit. Radiasi yang dipancarkan oleh sensor melalui 2 (dua) media perantara yaitu atmosfer dan air yang nantinya akan dipantulkan oleh obyek dasar perairan dan direkam kembali oleh sensor sehingga sangat diperlukan koreksi atmosferik dan kolom air untuk mengetahui pantulan dasar perairan.

Pada penelitian ini, proses koreksi kolom air dilakukan dengan menggunakan metode Lyzenga 1981 dan Lyzenga 2006. Berdasarkan hasil pengolahan menunjukkan kedua metode lyzenga tersebut

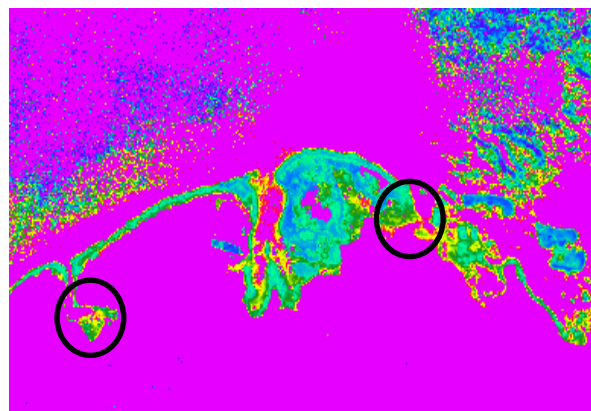
menghasilkan beberapa perbedaan dalam hal mengekstraksi obyek habitat perairan laut dangkal. Metode Lyzenga 2006 terlihat memiliki kemampuan yang lebih baik dalam membedakan obyek perairan laut dangkal dibandingkan dengan metode Lyzenga 1981 seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Obyek yang mampu dikenali dengan metode Lyzenga 2006 lebih banyak dan lebih bervariasi dibandingkan dengan metode Lyzenga 1981.

Kedua algoritma Lyzenga menghasilkan identifikasi obyek dibawah air dalam 3 kelas yaitu kelas substrat, kelas campuran antara lamun dan makroalga serta kelas terumbu karang. Kedua algoritma dapat mengekstraksi obyek dibawah air dengan baik. Proses klasifikasi dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised*). Hasil dari klasifikasi tersebut selanjutnya dilakukan proses reklasifikasi yang hasil akhirnya dikelaskan menjadi 3 kelas tersebut. Hasil proses klasifikasi memberikan gambaran adanya perbedaan hasil ekstraksi dengan lebih jelas.

Hasil klasifikasi identifikasi habitat perairan laut dangkal dari algoritma Lyzenga 1981 dan Lyzenga 2006 ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Berdasarkan Gambar 4 terlihat sebaran karang hampir merata di sepanjang lokasi penelitian, kemudian sebaran kelas lamun dan makroalga banyak dijumpai pada bagian tengah dan barat lokasi penelitian. Sedangkan kelas substrat banyak dijumpai pada bagian tengah dari lokasi penelitian.



Lyzenga 1981



Lyzenga 2006

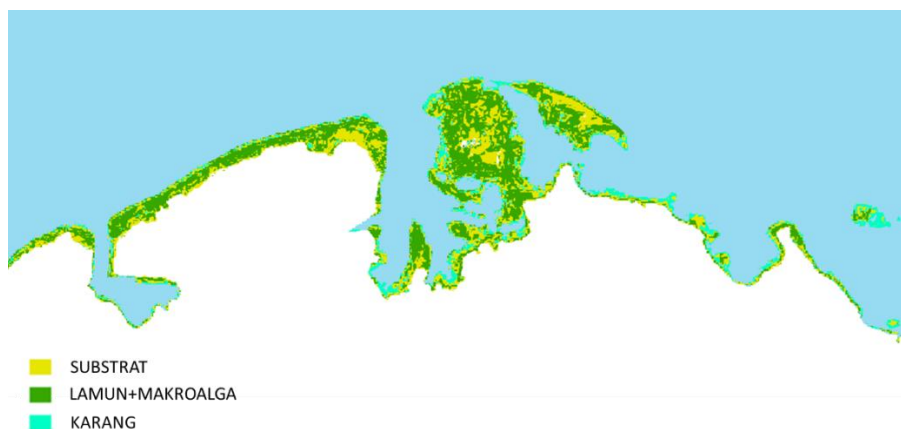
Gambar 3. Hasil Koreksi Kolom air dengan

Hasil perhitungan luasan hasil klasifikasi ekosistem terumbu karang menggunakan metode Lyzenga 1981 ditampilkan pada Tabel 1 dimana kelas lamun dan makroalga memiliki luasan tertinggi sebesar 264.75 Ha, kemudian diikuti kelas substrat dan karang masing-masing memiliki luasan sebesar 194.80 Ha dan 89.47 Ha.

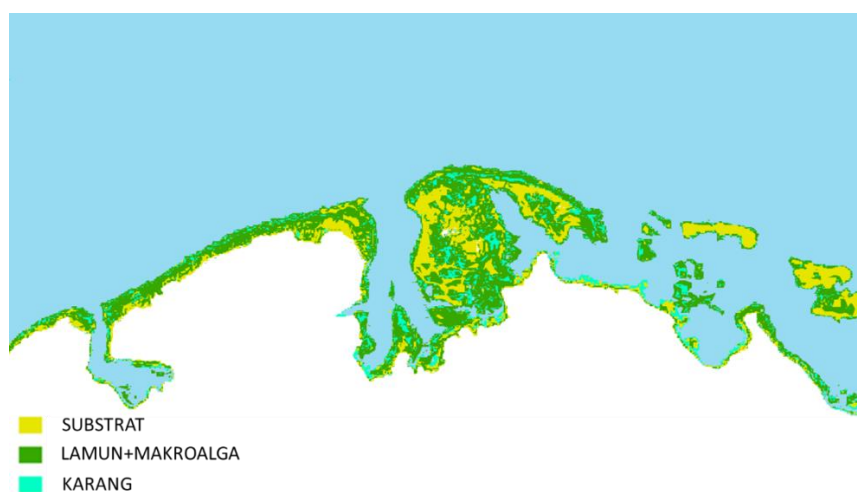
Dari Gambar 5 terlihat sebaran kelas lamun&makroalga mendominasi di area tengah dan barat dari lokasi penelitian, sedangkan sebaran kelas substrat juga terlihat cukup luas di bagian tengah dan timur dari lokasi penelitian. Untuk sebaran kelas terumbu karang sebarannya terlihat tidak terlalu luas dan relatif hampir merata di sepanjang lokasi penelitian. Hasil perhitungan luasan hasil klasifikasi menggunakan metode Lyzenga 2006 ditampilkan pada Tabel 1 dimana kelas lamun dan makroalga memiliki luasan

tertinggi sebesar 365.54 Ha, kemudian diikuti kelas substrat dan karang masing-masing memiliki luasan sebesar 134.79 Ha dan 78.79 Ha.

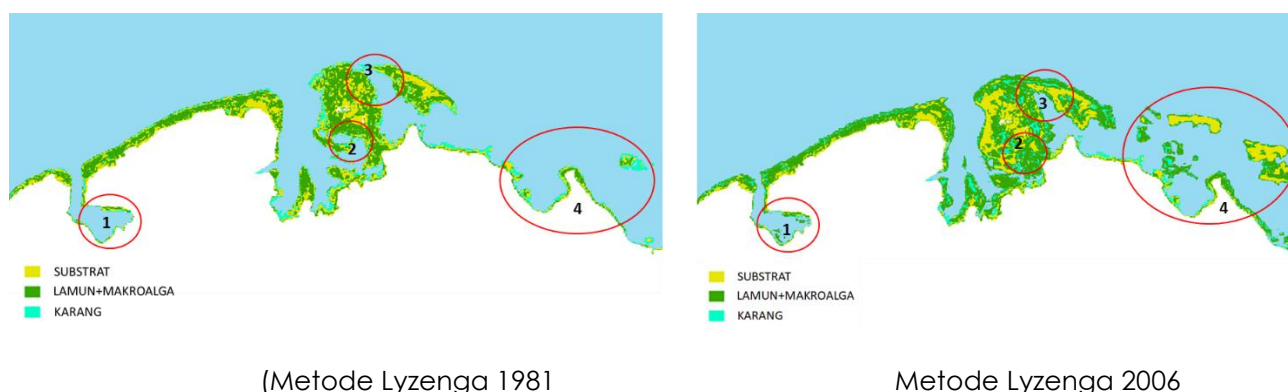
Perbedaan hasil identifikasi dengan menggunakan algoritma Lyzenga 1981 dan 2006 dapat dilihat pada Gambar 6 yang ditunjukkan pada nomor 1, 2, 3 dan 4. Kedua algoritma tersebut memiliki perbedaan dalam mengidentifikasi obyek. Ada obyek yang mampu diidentifikasi oleh algoritma Lyzenga 1981 akan tetapi tidak mampu diidentifikasi oleh algoritma Lyzenga 2006. Begitu juga dengan sebaliknya ada obyek yang mampu diidentifikasi oleh algoritma Lyzenga 2006 namun tidak mampu diidentifikasi oleh algoritma Lyzenga 1981. Pada Tabel 1 ditampilkan hasil perhitungan luasan hasil klasifikasi ekstraksi informasi ekosistem terumbu karang berdasarkan metode Lyzenga 1981 dan 2006.



Gambar 4. Hasil Klasifikasi Menggunakan Lyzenga 1981



Gambar 5. Hasil Klasifikasi Menggunakan Lyzenga 2006



Gambar 6. Perbandingan Hasil Klasifikasi

Tabel 1. Hasil Perhitungan Luasan Kedua Algoritma

No	Kelas	Luas (Ha)	
		Lyzenga (1981)	Lyzenga (2006)
1.	Terumbu Karang	89.47	78.79
2.	Lamun & Makroalga	264.75	365.54
3.	Substrat	194.80	134.79

Berdasarkan Tabel 1 tersebut terlihat luasan kelas terumbu karang memiliki luasan yang relatif sama sehingga dapat dikatakan kedua metode yang digunakan mampu memisahkan obyek terumbu karang dengan baik. Untuk hasil perhitungan luasan kelas lamun & makroalga dengan metode lyzenga 2006 memiliki luasan yang relatif lebih tinggi dibanding metode lyzenga 1981, sedangkan hasil perhitungan luasan kelas substrat dengan metode lyzenga 1981 memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding dengan metode lyzenga 2006. Hal ini menunjukkan untuk kedua metode koreksi kolom air yang digunakan (Lyzenga 1981 dan 2006) memiliki kendala dalam membedakan obyek lamun&makroalga dan substrat.

Lyzenga (1981) membuat metode untuk mengkoreksi kolom air menggunakan rasio pantulan dari dasar perairan pada dua kanal yang berbeda, dengan asumsi bahwa nilai rasio tersebut akan sama untuk berbagai macam substrat dasar perairan terutama substrat yang lebih dalam memiliki nilai indeks yang lebih tinggi (Budhiman, 2013). Penelitian Manessa (2014) dengan menggunakan 6 (enam) band dari citra worldview 2 dan metode koreksi kolom air Lyzenga 2006 memberikan hasil dan akurasi

yang lebih baik. Winarso (2016) menyebutkan akurasi terbaik diperoleh dari koreksi kolom air Lyzenga 2006 dan dengan metode klasifikasi Maximum Likelihood yang berbeda sedikit dengan *Random Forest*. Selain itu pengaruh kondisi lokasi menjadi faktor yang dominan yang mempengaruhi total akurasi.

Hasil ekstraksi dengan menggunakan metode lyzenga 1981 dan lyzenga 2006 menunjukkan beberapa perbedaan terutama dalam mendeteksi obyek di bagian timur dari lokasi penelitian dimana dengan menggunakan metode lyzenga 2006 menunjukkan informasi yang lebih detail. Adanya perbedaan luasan karena adanya perbedaan hasil ekstraksi yang dihasilkan dari kedua algoritma yang digunakan. Kedua algoritma mempunyai perbedaan dalam kemampuan identifikasi habitat perairan laut dangkal, ada obyek yang mampu diidentifikasi oleh hasil algoritma Lyzenga 1981 namun tidak teridentifikasi di algoritma Lyzenga 2006 begitu pula sebaliknya.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan hasil ekstraksi informasi habitat

perairan laut dangkal menggunakan metode Lyzenga 1981 dengan metode Lyzenga 2006. Hasil ekstraksi dengan metode Lyzenga 2006 memberikan informasi yang lebih detail dalam mengidentifikasi tiga kelas habitat perairan laut dangkal yaitu kelas terumbu karang kelas campuran lamun dengan makroalga dan kelas substrat dasar. Hasil penelitian diharapkan dapat memberi masukan dalam klasifikasi habitat perairan laut dangkal terutama untuk mendapatkan tingkatan kelas yang lebih spesifik dengan menggunakan data citra satelit resolusi menengah. Tantangan utama dalam identifikasi habitat perairan laut dangkal adalah membedakan obyek makroalga dengan obyek pesisir lainnya terutama obyek lamun.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrefouet, S., Roux, L., Chancerelle, Y. & Bonneville, A., 2000. A fuzzy-possibilistic scheme of study for objects with indeterminate boundaries: application to French Polynesian reefs. *IEEE Trans. Geosci. Remot. Sens.*, 38(1):257-270. doi: 10.1109/36.823918
- Arief, M. 2013. Metode Lyzenga untuk Deteksi Terumbu Karang di Kepulauan Seribu dengan Menggunakan Data Satelit AVNIR-2. *J. Statistika*, 13(2):55 – 64
- Budhiman, S., Winarso, G. & Asriningrum, W. 2013. Pengaruh Pengambilan Training Sample Substrat Dasar Berbeda Pada Koreksi Kolom Air Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *Jurnal Penginderaan Jauh*. LAPAN
- Bellwood, D. & Hughes, T. 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *J. Science*, 292:1532–1534
- Dustan, P. & Halas, J. 1987. Changes in the reef-coral population of Carysfort Reef, Key Largo, Florida, 1975–1982. *J. Coral Reefs* 6:91–106
- Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J. & Clark, C.D. 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Paris: UNESCO
- Hatzios, M., Hooten, A.J. & Fodor, M. 1998. *Coral Reefs: Challenges and Opportunities for Sustainable Management*. The World Bank, Washington, DC
- Hochberg, E.J. & Atkinson, M.J. 2002. Capabilities of remote sensors to classify coral, algae, and sand as pure and mixed spectra. Hawaii Institute of Marine Biology, School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophic phase shifts and large scale degradation of a Caribbean coral reef. *J. Science* 265: 1547–1551
- Jaelani, L.M., Laili, N. & Marini, Y. 2015. Pengaruh Algoritma Lyzenga Dalam Pemetaan Terumbu Karang Menggunakan Worldview-2, Studi Kasus: Perairan PLTU Paiton Probolinggo. *J. Penginderaan Jauh*, 12(2):123-132
- Johns, G.M., Leeworthy, V.R., Bell, F.W. & Bonn, M.A. 2001. Socioeconomic study of reefs in Southeast Florida (Final report). Hollywood, FL: Hazen and Sawyer, Environmental Engineers and Scientists, 348 pp
- Kanno, A. & Tanaka, Y. 2011. Modified Lyzenga's Method for Estimating Generalizes Coefficients of Satellite-based Prediction of Shallow Water Depth. *IEEE Geosci. Remot. Sens. Lett.*, 9(4):715-719
- LAPAN. 2014. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Ekstraksi Informasi Terumbu Karang. Buku Laporan Akhir Kegiatan 2014. Jakarta
- LIPI. 2017. Status Terumbu Karang Indonesia 2017. Jakarta
- LIPI. 2018. Status Terumbu Karang Indonesia 2018. Jakarta
- Lubin, D., Li, W., Dustan, P., Mazel, C. H. & Stamnes, K. 2001. Spectral signatures of coral reefs: features from space. *J. Remot. Sens. Environ.*, 75:127–137
- Lyzenga, D.R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom feature. *J. App. Optics*, 17(3):379-383.
- Lyzenga, D.R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and landsat data. *Int. J. Remot. Sens.*, 2(1):71-82.
- Manessa, M.D.M., Widagti, N., Kanno, A., Sekine, M., Ampou, E.E. & As-syakur, A.R.

2014. Shallow-Water Benthic Identification Using Multispectral Satellite Imagery: Investigation on the Effects of Improving Noise Correction Method and Spectral Cover. *Remot. Sens. J.*, 4454-4472; doi:10.3390/rs6054454
- Mishra, D., Narumalani, S., Rundquist, D. & Lawson, M. 2006. Benthic Habitat Mapping in Tropical Marine Environments Using Quickbird Multispectral Data. *J. Photogram. Eng. Remot. Sens.*, 72(9):1037-1048
- Mumby, P.J., Green, E.P., Clark, C.D. & Edwards, A.J. 1998. Digital analysis of multispectral airborne imagery of coral reefs. *J. Coral Reefs* 17:59-69
- Nurlidiasari, M., & Budhiman, S. 2005. Mapping coral reef habitat with and without water column correction using Quickbird image. *Int. J. Remote Sens. Earth Sci.*, 2:45-56
- White, A., Vogt, H., & Arin, T. 2000. Philippine coral reefs under threat: the economic losses caused by reef destruction. *Mar. Poll. Bull.*, 40:598-605
- Winarso, G., Manessa, M.D.M., Budhiman, S. & Kanno, A. 2016. Pemetaan Terumbu Karang di Indonesia: Komparasi 7 Metode Klasifikasi Terawasi dan Pengaruh Lokasi yang Berbeda. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh – 2016. LAPAN
- Wouthuyzen, S., Herandarudewi, S.M.C. & Komatsu, T. 2015. Stock assessment of brown seaweeds (Phaeophyceae) along the Bitung-Bentena Coast, North Sulawesi Province, Indonesia for alginate product using satellite remote sensing. UPT LPKSDMO Pulau Pari, Coremap – LIPI. The 2nd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite for Food Security and Environmental Monitoring 2015, LISAT-FSEM 2015