

**PENGARUH ALGORITMA LYZENGA DALAM PEMETAAN TERUMBU
KARANG MENGGUNAKAN WORLDVIEW-2,
STUDI KASUS: PERAIRAN PLTU PAITON PROBOLINGGO
(THE EFFECT OF LYZENGA'S ALGORITHM ON CORAL REEF
MAPPING USING WORLDVIEW-2, A CASE STUDY: COASTAL
WATERS OF PAITON PROBOLINGGO)**

Lalu Muhamad Jaelani^{1*}, Nurahida Laili^{*}, Yennie Marini^{}**

**^{*}Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolio, Surabaya 60111**

^{} Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN
Jl. Kalisari No.08 Pekayon Pasar Rebo, Jakarta 13710**

¹e-mail: lmjaelani@geodesy.its.ac.id

Diterima 7 Desember 2015; Dirivisi 26 Desember 2015; Disetujui 29 Desember 2015

ABSTRACT

Mapping the coral reef ecosystems to support the coastal management can be carried out using a high-resolution satellite imagery. Various methods of sea bottom features extraction have been developed and can be implemented to support the mapping process, one of them is Lyzenga's algorithm. This algorithm requires a depth variation of the area. The objective of this research is to investigate the effect of Lyzenga's algorithm on coral reef mapping. In this research, we compared the classification results of coral ecosystem between image with and without Lyzenga's algorithm. The image classification with this algorithm showing the appearance of sea bottom features were more differentiated and turn into Lyzenga index values which have been free from the water column effect. It produced several classes, they were oceans, land, sand, and coral reefs. The estimated area of coral reefs ecosystems in the waters surrounding Paiton based on Worldview-2 classification result was 8.26 ha. Mapping coral reefs ecosystem by using a high-resolution satellite imagery was very helpful giving the visualization of a wider area than the field observations.

Keywords: Coastal, Coral reef, Lyzenga, Worldview-2

ABSTRAK

Peta ekosistem terumbu karang sebagai salah satu data pendukung pengelolaan wilayah pesisir bisa diperoleh dengan memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi. Berbagai metode ekstraksi informasi dasar laut telah dikembangkan dan dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah menggunakan algoritma Lyzenga. Algoritma ini mensyaratkan adanya variasi kedalaman pada wilayah pesisir perairan yang akan dipetakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan algoritma dalam pemetaan ekosistem terumbu karang dengan melakukan perbandingan hasil ekstraksi kenampakan dasar laut antara citra yang diproses menggunakan algoritma Lyzenga dan citra tanpa algoritma Lyzenga. Proses klasifikasi citra dengan algoritma Lyzenga menunjukkan kenampakan obyek di bawah permukaan laut yang lebih mudah dikenali dalam format nilai indeks Lyzenga yang telah terbebas dari pengaruh kedalaman. Dalam penelitian ini dihasilkan beberapa kelas tutupan dasar perairan dangkal di sekitar PLTU Paiton yakni kelas lautan, daratan, pasir, dan terumbu karang. Estimasi luasan tutupan terumbu karang di perairan PLTU Paiton berdasarkan data *Worldview* dua ini adalah 8,26 Ha. Pemetaan terumbu karang dengan memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi sangat membantu memberikan kenampakan mencakup wilayah lebih luas dibandingkan dengan pengamatan langsung di lapangan.

Kata Kunci: *Lyzenga, Pesisir, Terumbu karang, Worldview 2*

1 PENDAHULUAN

Wilayah pesisir perairan memiliki produktivitas paling tinggi, terdapat berbagai spesies ikan dan terumbu karang di wilayah ini. Meski demikian, wilayah ini menjadi wilayah paling rentan dan berpeluang mendapat tekanan dari darat maupun dari laut (Balai Lingkungan Hidup (BLH) provinsi Jawa Timur, 2013). Parameter yang dapat digunakan untuk menilai kualitas lingkungan laut dan wilayah pesisir perairan adalah kelimpahan dan kesehatan terumbu karang dan ikan.

Terumbu karang merupakan organisme yang hidup di dasar perairan dangkal terutama di daerah tropis dan memiliki produktivitas yang tinggi (Pasaribu, 2008). Terumbu karang merupakan asosiasi yang besar dan kompleks dari organisme-organisme yang memiliki sejumlah tipe habitat yang berbeda pada satu waktu bersamaan (James W. Nybakken, 2001). Terumbu karang merupakan rumah bagi lebih dari 76% jenis karang dan 50% jenis ikan karang dan otomatis menjadi penyedia makanan bagi jutaan binatang laut lainnya (Arief, 2008). Ekosistem terumbu karang sangat bermanfaat

untuk kelangsungan hidup manusia, antara lain sebagai penahan gelombang, biotop ikan, makanan ikan, serta pariwisata bahari.

Di antara sekian banyak kekayaan laut Indonesia yang paling terancam adalah terumbu karang (Kunzmann & Efendi, 1994). Terumbu karang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan di sekitarnya, baik oleh faktor alam maupun kegiatan manusia. Maka dari itu, kebijakan pengelolaan yang tepat perlu dilakukan dalam rangka menjaga kelangsungan hidup ekosistem terumbu karang yang selanjutnya akan dapat meningkatkan produktivitas perairan.

Kini dengan berkembangnya teknologi penginderaan jauh, tidak hanya wilayah daratan saja yang dapat dipetakan namun juga wilayah perairan, termasuk terumbu karang (Pasaribu, 2008; Suwargana, 2014; Vincentius P. Siregar, 2010). Metode ini memanfaatkan citra satelit yang direkam oleh wahana luar angkasa. Pemetaan dengan memanfaatkan penginderaan jauh dapat mencakup area yang luas tanpa harus melakukan pengamatan langsung. Penginderaan jauh akan dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan

untuk melakukan pengamatan langsung secara *in situ*. Selain itu, waktu yang dibutuhkan juga akan lebih singkat dan efisien. Hal ini dapat menjadi solusi bagi pemetaan kondisi dan sebaran terumbu karang di perairan Indonesia.

Dalam pengolahan citra satelit untuk pemetaan terumbu karang, terdapat beberapa metode yang bisa digunakan. Salah satunya adalah Algoritma Lyzenga (Lyzenga, 1978, 1981). Metode Lyzenga dikenal dengan nama metode *depth-invariant index* atau metode *water column correction* (koreksi kolom air). Koreksi kolom air bertujuan untuk mengeliminasi kesalahan identifikasi spektral habitat karena faktor kedalaman. Metode ini menghasilkan indeks dasar yang tidak dipengaruhi kedalaman dan berhasil baik pada perairan dangkal yang jernih seperti di wilayah habitat terumbu karang (Maritorea, 1996).

Algoritma Lyzenga telah digunakan pada banyak studi pemetaan habitat karang dengan menggunakan berbagai data satelit (Arief, 2013; Lyons, Phinn, & Roelfsema, 2011; Setiawan, Marini, & Winarso, 2015; Stumpf, Arnone, Gould, Martinolich, & Ransibrahmanakul, 2003). Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dampak penggunaan algoritma lyzenga pada pemetaan ekosistem terumbu karang, yaitu dengan membandingkan hasil antara pengolahan citra dengan dan tanpa menggunakan algoritma tersebut. Pengujian dilakukan di perairan PLTU Paiton menggunakan data satelit penginderaan jauh *Worldview 2* yang direkam pada 2 Agustus 2010.

Unit Pembangkit Listrik Paiton di Kabupaten Probolinggo merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan uap air laut sebagai penggerak dan pendingin turbin, dimana sumber air laut berasal dari perairan di sekitarnya. Air hasil pendinginan turbin yang relatif bersuhu tinggi dialirkan (dibuang) ke perairan sekitarnya. Kegiatan tersebut diduga dapat mempengaruhi kualitas

lingkungan perairan sekitar (PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton, 2010).

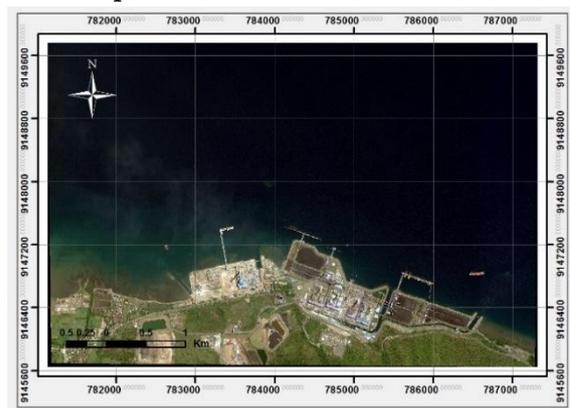
2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Data dan Peralatan

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Satelit *Worldview-2* yang direkam pada 2 Agustus 2010 dan data *in situ* dari Laporan Pemantauan Kondisi Terumbu dan Ikan Karang PLTU Paiton pada 1-3 Juni 2010. Sementara untuk pemrosesan data, sebagian besar menggunakan perangkat lunak Beam-VISAT 5.0 yang diunduh di <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, mulai dari koreksi citra dan pengolahan citra, serta yang terakhir yaitu penentuan pola persebaran ekosistem terumbu karang menggunakan algoritma Lyzenga dan tanpa algoritma Lyzenga. Citra yang digunakan adalah citra resolusi tinggi yang memiliki tutupan awan kurang dari 10% sehingga kenampakan laut dan daratan menjadi cukup baik seperti terlihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Citra Worldview-2 PLTU Paiton

Citra *Worldview-2* yang digunakan memiliki tipe MS-1, yakni citra yang terdiri dari empat kanal Multispektral, kanal *blue*, *green*, *red*, dan NIR1 dengan resolusi spasial untuk semua kanal sebesar 2,0 m. Jumlah kanal telah memenuhi kebutuhan untuk penerapan

algoritma Lyzenga (kanal *blue* dan *green*), dan untuk klasifikasi (kanal NIR1). Citra yang digunakan juga merupakan citra *Worldview-2* level 2-A yang berarti telah terkoreksi geometrik.

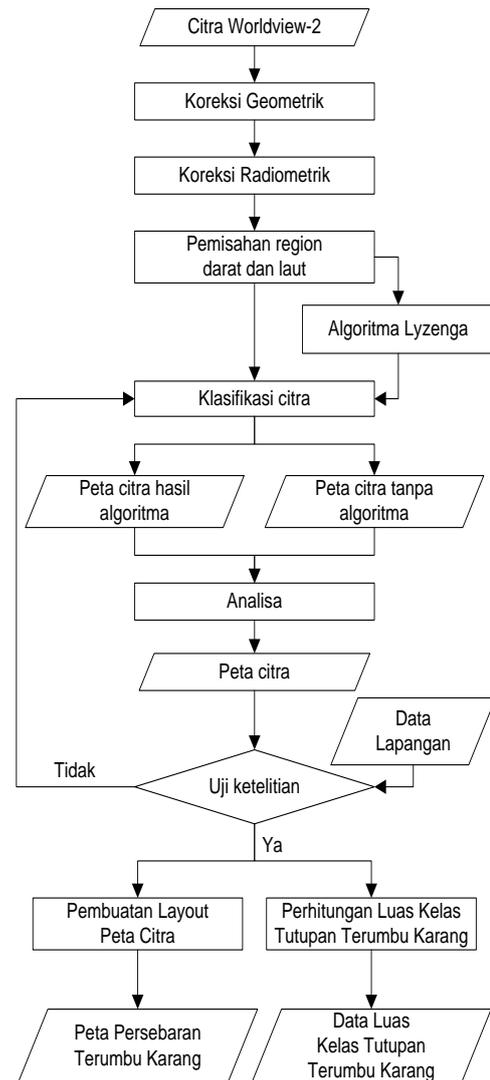
Tahapan penelitian yang dilakukan terangkum dalam diagram alir pada Gambar 2-2. Tahap pertama yang dilakukan yaitu koreksi citra untuk menghilangkan gangguan-gangguan yang terjadi saat perekaman citra. Karena data yang didapatkan sudah dalam level 2A, maka koreksi utama yang diperlukan adalah koreksi radiometrik. Koreksi ini meliputi kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. Tahapan kalibrasi radiometrik dilakukan dengan konversi nilai piksel dari *digital number* (DN) menjadi nilai Radian (L) menggunakan formula di bawah ini (DigitalGlobe, 2010):

$$L_{\lambda Pixel, kanal} = \frac{K_{kanal} \cdot q_{Pixel, kanal}}{\Delta\lambda_{kanal}} \quad (2-1)$$

Dimana, $L_{\lambda Pixel, kanal}$ adalah nilai radian spektral ($Wm^{-2} \cdot sr^{-1} \mu m^{-1}$), dan $q_{Pixel, kanal}$ adalah nilai piksel kanal. K_{kanal} merupakan faktor kalibrasi radiometrik absolut kanal, dan $\Delta\lambda_{kanal}$ adalah lebar pita (*bandwidth*) efektif, kedua nilai ini berbeda untuk setiap Kanal dan dapat dilihat pada metadata citra (*.IMD).

Selanjutnya dilakukan koreksi atmosfer dengan menggunakan perangkat lunak *Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S) vector*. Koreksi citra dengan metode 6S dilakukan melalui situs resmi 6S yakni www.6s.ltdri.org, dengan menggunakan parameter *aerosol* dari Stasiun Cuaca BMKG Juanda, yang diturunkan dari data visibilitas horizontal sebesar 10 km. Koreksi atmosfer diperlukan untuk menghilangkan efek atmosfer yang terekam oleh sensor (Jaelani, Matsushita, Yang, & Fukushima, 2013, 2015). Pada proses ini, nilai L yang dihasilkan oleh proses kalibrasi radiometrik diubah ke dalam nilai reflektan-permukaan ($\rho_{permukaan}$). Nilai $\rho_{permukaan}$ merupakan nilai reflektan saat gelombang mengenai dan meninggalkan obyek. Tidak seperti

ρ_{sensor} yang telah melalui jarak sejauh 770 km sebelum akhirnya mencapai sensor satelit, nilai $\rho_{permukaan}$ ini terbebas dari pengaruh atmosfer. Hal ini dimaksudkan agar informasi dari obyek perairan yang akan diolah merupakan informasi yang terbebas dari efek atmosfer. $\rho_{permukaan}$ selanjutnya menjadi data masukan (*input*) dari algoritma Lyzenga dengan terlebih dahulu memisahkan region daratan dan lautan agar pengolahan hanya diproses pada area lautan saja.



Gambar 2-2: Diagram alir metodologi penelitian

Algoritma Lyzenga yang digunakan adalah (Green, Mumby, Edwards, & Clark, 2000):

$$Y = \ln(L_i) - \left[\left(\frac{ki}{kj} \right) \times \ln(L_j) \right] \quad (2-2)$$

dimana:

L_i = nilai reflektan kanal biru

L_j = nilai reflektan kanal hijau
 k_i/k_j = rasio koefisien atenuasi kanal biru dan hijau

Persamaan (2-2) digunakan untuk ekstraksi informasi dasar perairan (Y). Untuk itu dibutuhkan dua kanal spektral citra serta rasio k_i/k_j yang merupakan rasio koefisien atenuasi antara kedua kanal tersebut, dalam hal ini adalah kanal biru dan kanal hijau. Perhitungan algoritma ini dipengaruhi oleh pasangan kanal i (kanal biru) dan j (kanal hijau) yang digunakan. Panjang gelombang dari kanal yang digunakan akan mempengaruhi seberapa dalam kanal tersebut dapat mendeteksi dasar perairan. Kanal biru dan kanal hijau memiliki panjang gelombang dengan penetrasi paling baik diantara kanal yang lain (Suwargana, 2014).

Koefisien atenuasi (k_i/k_j) dihitung dengan persamaan:

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

Nilai a ditentukan dengan persamaan:

$$a = \frac{(\sigma_{ii} - \sigma_{jj})}{(2 \sigma_{ij})} \quad (2-4)$$

dimana:

σ_{ii} = ragam atau *varian* kanal i
 σ_{jj} = ragam atau *varian* kanal j
 σ_{ij} = peragam atau *covarian* kanal i dan kanal j

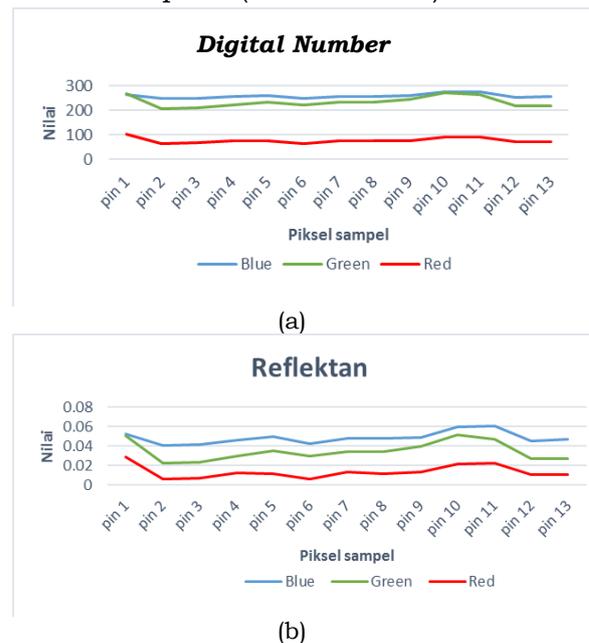
Algoritma Lyzenga dapat diterapkan dengan terlebih dahulu menghitung nilai koefisien atenuasi perairan (k_i/k_j) untuk lokasi penelitian. Dari persamaan di atas, nilai k_i/k_j ditentukan oleh nilai a , nilai a diperoleh dengan mengekstrak nilai-nilai digital pada kanal biru dan kanal hijau pada posisi geografis yang sama melalui pembuatan *training sample area* dalam bentuk poligon. Pada penelitian ini digunakan *training sample area* sebanyak 30 poligon yang diambil di area perairan dangkal. Kemudian

dihitung secara statistik sehingga didapat nilai *varian* (ragam) dan *covarian* (peragam) *training sample area* untuk kanal biru dan kanal hijau sehingga diperoleh nilai a dan rasio koefisien atenuasi (k_i/k_j) berdasarkan persamaan (2-3) dan (2-4). Tahap selanjutnya adalah klasifikasi citra hasil transformasi Lyzenga dan citra tanpa transformasi Lyzenga. Hasil dari keduanya kemudian dibandingkan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Koreksi Radiometrik

Hasil dari koreksi radiometrik dapat terlihat dari nilai piksel yang berubah. Pada awalnya nilai piksel berupa DN dengan rentang antara 0 - 500 (Gambar 3-1a). Setelah dikoreksi radiometrik hasil akhir berupa reflektan-permukaan ($\rho_{permukaan}$) dengan rentang nilai 0 sampai 1 (Gambar 3-1b).



Gambar 3-1: Grafik hasil koreksi radiometrik (a) sebelum; (b) sesudah

3.2 Hasil Pemisahan Region Darat dan Laut

Untuk memudahkan proses transformasi dan klasifikasi, maka perlu dilakukan pemisahan antara *region* darat dan *region* laut. Metode yang dilakukan yaitu dengan melakukan digitasi bagian daratan pada citra. Setelah dilakukan digitasi, maka wilayah

laut dibiarkan tetap membawa nilai $\rho_{permukaan}$ sedangkan wilayah darat dihapus (*null*). Hasil pemisahan dapat dilihat pada Gambar 3-2



Gambar 3-2: Hasil pemisahan *region*

3.3 Hasil Klasifikasi Citra dengan Algoritma Lyzenga

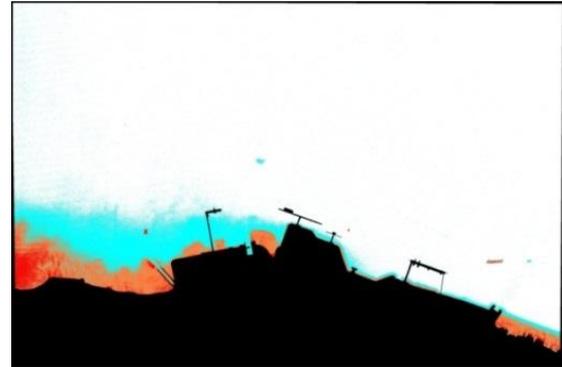
Lyzenga (1978, 1981) menegaskan bahwa untuk mendapatkan korelasi linear yang benar, maka perlu dilakukan *training sample* pada substrat dasar perairan yang homogen pada kedalaman yang berbeda.

Sebelum *training sample* dibuat, citra ditampilkan dalam *true-color* (RGB=321). Kemudian *training sample* mulai dibuat di area dengan warna hijau gelap di dekat daratan. Kanal yang dipilih untuk dihitung rasionya adalah kanal dengan penetrasi ke dalam air yang tertinggi, yakni kanal biru dan hijau. Dari pengambilan *training sample* tersebut maka didapatkan nilai k_i/k_j sebesar 0,93969. Citra tersebut kemudian diklasifikasi dengan metode *Unsupervised Classification*. Hasil klasifikasi ditampilkan pada Gambar 3-3.

3.4 Hasil Klasifikasi Citra tanpa Algoritma Lyzenga

Untuk mendapatkan hasil klasifikasi tanpa algoritma Lyzenga, Citra yang digunakan adalah komposit NIR1- *Green - Blue* (RGB = 421). Saat dibandingkan dengan citra komposit *Red - Green - Blue* (RGB=321), citra komposit 421 (Gambar 3-4) menunjukkan kenampakan dasar laut yang lebih baik, karena kanal NIR memiliki sensitivitas spektral yang baik dalam membedakan

parameter ekologi di ekosistem perairan pesisir (Everitt et al., 1999)



Gambar 3-3: Hasil klasifikasi citra dengan algoritma Lyzenga (Hitam: Daratan, Merah: Pasir, Biru: Karang, Putih: Laut)



(a)



(b)

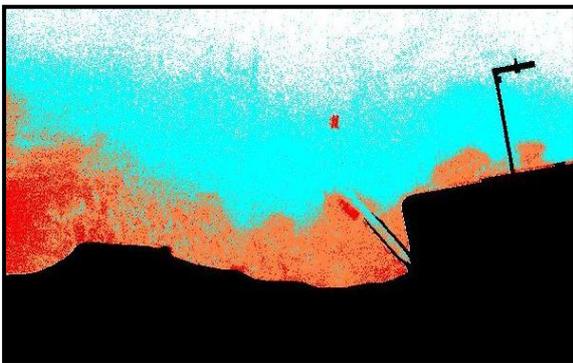
Gambar 3-4: Citra komposit(a) citra komposit 321; (b) citra komposit 421

Citra dengan komposit 421 tersebut selanjutnya diklasifikasi dengan metode yang sama yaitu *Unsupervised Classification*. Selanjutnya, hasil klasifikasi ditunjukkan pada Gambar 3-5. Jika dibandingkan hasil klasifikasi citra dengan algoritma Lyzenga (Gambar 3-3) dan tanpa algoritma Lyzenga (Gambar 3-5), maka penggunaan algoritma Lyzenga memberikan pengaruh signifikan dalam

ekstraksi informasi perairan.



Gambar 3-5: Hasil klasifikasi citra komposit 421 tanpa algoritma Lyzenga



(a)



(b)

Gambar 3-6: Sensitivitas pada objek pasir : (a) Hasil klasifikasi citra dengan algoritma Lyzenga (b) Hasil klasifikasi citra tanpa Lyzenga (Hitam: Daratan, Merah: Pasir, Biru: Karang, Putih: Laut, Kuning: Pasir di atas air)

Hasil klasifikasi citra dengan algoritma Lyzenga memberi kenampakan pada kelas pasir dan juga substrat dasar perairan seperti pada Gambar 3-6a (dikenali dengan objek berwarna merah). Sedangkan hasil klasifikasi citra tanpa Lyzenga menunjukkan kenampakan pasir di area sepanjang PLTU saja seperti pada Gambar 3-6b.

Salah satu syarat penggunaan algoritma Lyzenga adalah adanya variasi kedalaman (Lyzenga, 1978, 1981). Variasi kedalaman yang telah dihilangkan akan membuat nilai pantulan substrat dasar perairan yang dihasilkan merupakan nilai yang terbebas dari efek kedalaman kolom air. Oleh karena itu, terjadi perbedaan ketika proses klasifikasi dilakukan pada dua citra tersebut. Dengan membandingkan kedua hasilnya, maka dapat dipilih hasil klasifikasi yang selanjutnya dijadikan peta, yakni citra dengan algoritma Lyzenga. Citra tersebut terbukti dapat memberikan kenampakan substrat dasar perairan yang lebih baik.

Kelas yang dihasilkan yakni kelas pasir, dan terumbu karang. Terumbu karang hasil klasifikasi tidak dapat dibedakan jenisnya sehingga hanya masuk ke dalam satu kelas saja. Hal ini terjadi akibat kondisi perairan PLTU Paiton yang kurang memiliki variasi kedalaman dan cenderung dalam.

Hasil pada perairan dangkal dengan variasi kedalaman yang tinggi akan menghasilkan kelas-kelas terumbu karang yang beragam pula. Namun ketika area penelitian tersebut memiliki variasi kedalaman yang kurang beragam maka kelas yang dihasilkan sedikit. Jadi pada penelitian ini, algoritma Lyzenga memiliki kinerja terbatas akibat kurangnya variasi kedalaman pada lokasi penelitian.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Perbandingan hasil klasifikasi citra dengan dan tanpa algoritma Lyzenga menunjukkan bahwa algoritma Lyzenga berpengaruh dalam mendeteksi kenampakan dasar perairan yang lebih baik. Kelas yang dihasilkan dari penelitian ini yakni kelas lautan, daratan, pasir, dan terumbu karang.

Kendala yang dihadapi ketika penelitian dilakukan yakni area penelitian yang cenderung curam dengan area pesisir yang sempit. Hal ini mengurangi kinerja algoritma Lyzenga yang sebenarnya mensyaratkan adanya

variasi kedalaman yang cukup beragam.

Untuk penelitian terumbu karang selanjutnya, disarankan untuk melakukan tahap peninjauan ke lapangan terlebih dahulu sebelum tahap pengolahan citra. Hal ini diperlukan agar memudahkan proses interpretasi citra karena akan diperoleh gambaran tentang area penelitian yang akan dipetakan dengan citra tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Paiton dan Dra. Dian Septarini, M.Sc selaku Dosen Jurusan Biologi ITS, atas bantuan dalam pengambilan dan pengolahan data lapangan. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan untuk dua orang penelaah yang telah membantu perbaikan dan penyempurnaan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Arief, M., 2008. *Analisis Penentuan Ekosistem Laut Pulau-Pulau Kecil dengan Menggunakan Data Satelit Resolusi Tinggi Studi Kasus: Pulau Bokor*, Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara, (3), 149-57.
- Arief, M., 2013. *Pengembangan Metode Lyzenga untuk Deteksi Terumbu Karang di Kepulauan Seribu dengan Menggunakan Data Satelit AVNIR-2*, Statistika, 13(2), 55-64.
- Balai Lingkungan Hidup (BLH) Propinsi Jawa Timur, 2013. *Laporan Identifikasi Kerusakan Ekosistem Terumbu Karang*. Surabaya.
- DigitalGlobe, 2010. *Radiometric use of WorldView-2 Imagery Technical Note*.
- Everitt, J. H., Escobar, D. E., Yang, C., Lonard, R. I., Judd, F. W., Alaniz, M. A., ... Hockaday, D. L., 1999. *Distinguishing Ecological Parameters in a Coastal Area Using a Video System with Visible/ Near-Infrared/ Mid-Infrared Sensitivity*. Journal of Coastal Research, 15(4), 1145-1150, Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/4299031>.
- Green, E. P., Mumby, P., Edwards, A. J., & Clark, C. D., 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*, Paris: UNESCO.
- Jaelani, L. M., Matsushita, B., Yang, W., & Fukushima, T., 2013. *Evaluation of Four MERIS Atmospheric Correction Algorithms in Lake Kasumigaura, Japan*, International Journal of Remote Sensing, 34(24), 8967-8985. <http://doi.org/10.1080/01431161.2013.860660>.
- Jaelani, L. M., Matsushita, B., Yang, W., & Fukushima, T., 2015. *An Improved Atmospheric Correction Algorithm for Applying MERIS Data to Very Turbid Inland Waters*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 39, 128-141. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.004>.
- James W. Nybakken, 2001. *Marine Biology: an Ecological Approach* (5th ed.). New York: Benjamin-Cummings Publishing Company.
- Kunzmann, A., & Efendi, Y., 1994. *Kerusakan Terumbu Karang Di Perairan Sepanjang Pantai Sumatera Barat*, Jurnal Pen. Perikanan Laut, (91), 48-56.
- Lyons, M., Phinn, S., & Roelfsema, C., 2011. *Integrating Quickbird Multi-Spectral Satellite and Field Data: Mapping Bathymetry, Seagrass Cover, Seagrass Species and Change in Moreton Bay, Australia in 2004 and 2007*. Remote Sensing, 3(12), 42-64. <http://doi.org/10.3390/rs3010042>.
- Lyzenga, D. R., 1978. *Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features*, Applied Optics, 17(3), 379-83. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20174418>.
- 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. <http://doi.org/10.1080/01431168108948342>.
- Maritorena, S., 1996. *Remote Sensing of the Water Attenuation in Coral Reefs: a Case Study in French Polynesia*, International Journal of Remote

- Sensing, 17(1), 155–166. <http://doi.org/10.1080/01431169608948992>
- Pasaribu, R. A., 2008. *Studi Perubahan Luasan Terumbu Karang Dengan Menggunakan Data Penginderaan Jauh Di Perairan Bagian Barat Daya Pulau Moyo, Sumbawa*. Institut Pertanian Bogor.
- PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton, 2010. *Laporan Pemantauan Kondisi Terumbu dan Ikan Karang PLTU Paiton 1-3 Juni 2010*, Probolinggo.
- Setiawan, K. T., Marini, Y., & Winarso, G., 2015. *Pemetaan Terumbu Karang di Perairan Pulau Tidung Kepulauan Seribu DKI Jakarta dengan Menggunakan Citra Worldvie-2*, in *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan PIT MAPIN XX* (pp. 418–424), Bogor.
- Stumpf, R. P., Arnone, R. A., Gould, R. W., Martinolich, P. M., & Ransibrahmanakul, V., 2003. *A Partially Coupled Ocean-Atmosphere Model for Retrieval of Water-Leaving Radiance from Seawifs in Coastal Waters*, NASA technical memorandum 2003-206892(22), Nasa Technical Memorandum (Vol. 22). Greenbelt, Maryland.
- Suwargana, N., 2014. *Analisis Citra ALOS AVNIR-2 Untuk Pemetaan Terumbu Karang (Studi Kasus: Banyuputih, Kab. Situbondo)*, In *Seminar Nasional Penginderaan Jauh, Deteksi Parameter Geobiofisik Dan Diseminasi Penginderaan Jauh* (pp. 588–9).
- Vincentius P. Siregar, 2010. *Pemetaan Substrat Dasar Perairan Dangkal Karang Congkak dan Lebar Kepulauan Seribu Menggunakan Citra Satelit Quickbird*, *E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(1), 19–30.

