

Analysis of Mangrove Vegetation Index Using Landsat 8 Images in Dodinga Bay, West Halmahera

(Analisis Indeks Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Landsat 8 Di Teluk Dodinga, Halmahera Barat)

Simon I. Patty¹, Doni Nurdiansah¹, Marenda Pandu Rizqi¹, Nebuchadnezzar Akbar², Rikardo Huwae¹

¹ Oceanographic Research Center, National Research and Innovation Agency, Indonesia

² Marine Science Study Program, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Khairun University, Indonesia

e-mail: pattysimon@ymail.com

Manuscript received: 19 Feb. 2025. Revision accepted: 24 Mar. 2025

Abstract

Mangrove vegetation can be easily recognized from remote-sensing satellite images compared to other terrestrial vegetation. The vegetation index is applied to the satellite images to highlight the aspect of vegetation density. This study aims to determine the correlation between the value of the vegetation index and mangrove canopy cover data to achieve a proper vegetation index and estimate the density of the mangrove canopy. The data needed are satellite imagery from Landsat 8 and mangrove canopy cover in sampling locations along the coast of Dodinga Bay, West Halmahera. Image data analysis includes radiometric correction, image sharpening, masking, classification, and accuracy tests. The vegetation index algorithms used were NDVI, GNDVI, and IM, and regression analysis was carried out for correlation tests. The analysis results obtained four different land cover classes with an overall accuracy of 97.70% and a kappa coefficient of 0.9688. The IM vegetation index showed an excellent correlation with mangrove canopy cover compared to GNDVI and NDVI. The determination coefficient (R^2) of the IM is 0.6765; GNDVI (0.4897) and NDVI (0.4825). The IM classification produces four levels of mangrove canopy density, i.e., sparse (7.40 ha), moderate (628.33 ha), dense (921.22 ha), and very dense (16.45 ha).

Keywords: mangrove, Landsat 8 images, vegetation index, Dodinga Bay

Abstrak

Objek vegetasi mangrove paling mudah diidentifikasi dengan menggunakan citra satelit penginderaan jauh dibandingkan objek vegetasi darat lainnya. Indeks vegetasi diterapkan terhadap citra untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi. Penelitian ini bertujuan mengetahui korelasi antara nilai indeks vegetasi dengan data tutupan kanopi mangrove, sehingga didapatkan indeks vegetasi yang sesuai untuk menduga kerapatan kanopi mangrove. Data yang diperlukan yaitu citra Landsat 8 dan tutupan kanopi mangrove di lapangan. Analisis data citra terdiri dari koreksi radiometrik, penajaman citra, masking, klasifikasi dan uji akurasi. Algoritma indeks vegetasi yang digunakan yaitu NDVI, GNDVI dan IM, serta dilakukan analisis regresi untuk uji korelasi. Hasil analisis mendapatkan empat kelas tutupan lahan yang berbeda dengan overall akurasi sebesar 97,70 % dan kappa koefisien sebesar 0,9688. Indeks vegetasi IM menunjukkan korelasi sangat baik dengan tutupan kanopi mangrove dibandingkan GNDVI dan NDVI. Koefisien determinasi (R^2) IM adalah 0,6765; GNDVI (0,4897) dan NDVI (0,4825). Klasifikasi IM menghasilkan empat tingkat kerapatan kanopi mangrove yaitu mangrove jarang (7,40 ha), mangrove sedang (628,33 ha), mangrove lebat (921,22 ha), dan mangrove sangat lebat (16,45 ha).

Kata kunci: mangrove, citra Landsat 8, indeks vegetasi, Teluk Dodinga

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki wilayah pesisir yang sangat luas dengan panjang garis pantai mencapai 95.181 km. Wilayah pesisir merupakan ekosistem transisi yang

dipengaruhi daratan dan lautan yang mencakup beberapa ekosistem, salah satunya hutan mangrove. Hutan mangrove mempunyai banyak manfaat bagi makhluk hidup, baik secara fisik, biologis, ekologis

dan ekonomis (Bengen, 2001). Luas mangrove di Indonesia sekitar 3,2 juta hektar atau mencapai 22,6% dari luasan mangrove dunia (FAO 2007; Giri et al., 2011). Salah satu wilayah pesisir Indonesia yang ditumbuhi mangrove adalah Teluk Dodinga, Halmahera Barat. Mangrove di Teluk Dodinga cukup luas disebabkan lingkungannya mendukung, variabilitas geomorfologi pantai yang beragam dan terlindung sehingga memberikan ruang untuk pertumbuhan mangrove (Nurdiansah dan Dharmawan, 2018). Perubahan luas mangrove dapat terjadi di Teluk Dodinga karena adanya aktivitas manusia yang melakukan pembangunan. Keberadaan penduduk dalam wilayah ini semakin bertambah menyebabkan perubahan antara interaksi penduduk dengan ekosistem mangrove seperti pemanfaatan kayu untuk bahan bakar dan bahan bangunan, konversi lahan untuk area pelabuhan maupun pemukiman (Akbar, 2017). Akibat dari kondisi tersebut ekosistem mangrove menjadi rusak sehingga diperlukan pemantauan yang serius untuk mengetahui luasan area maupun kondisi vegetasinya.

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang banyak digunakan untuk memetakan dan memantau mangrove. Pemantauan vegetasi mangrove dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh didasarkan atas dua sifat penting yaitu bahwa mangrove mempunyai zat hijau daun (klorofil) dan mangrove tumbuh di pesisir. Sifat optik klorofil mangrove sangat khas karena mampu menyerap spektrum sinar merah dan memantulkan kuat spektrum hijau (Susilo, 2000). Nilai spektral pada citra satelit akan memberikan informasi mengenai objek vegetasi mangrove. Indeks vegetasi digunakan sebagai parameter dalam menganalisa keadaan vegetasi dengan cara mengukur tingkat kehijauan (*greenness*) kanopi vegetasi, sifat komposit dari klorofil daun, luas daun, struktur dan tutupan kanopi vegetasi di suatu wilayah (Huete et al., 2011). Beberapa penelitian di Indonesia terkait indeks vegetasi mangrove menggunakan citra satelit penginderaan jauh seperti

Prameswari et al. (2015) menganalisa indeks vegetasi mangrove (NDVI, EVI2 dan SAVI) menggunakan citra satelit Alos Avnir-2 di Estuari Perancak Bali. Analisa perubahan kerapatan mangrove di Pati menggunakan indeks vegetasi NDWI, NDVI dan GNDVI pada citra Sentinel-2 (Prahesti et al., 2021). Selanjutnya Arindi (2018) menganalisa perubahan kerapatan mangrove di Pesisir Utara Surabaya menggunakan indeks vegetasi NDVI dan SAVI pada citra Landsat 8. Selain itu, terdapat penelitian oleh Winarso dan Purwanto (2014) mengenai pendekatan baru indeks kerusakan mangrove menggunakan NDVI dan IM pada citra Landsat 8.

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi, misalnya *biomassa* (Proisy et al., 2007; Satyanarayana et al., 2011), *leaf area index* (Gong et al., 2003) serta konsentrasi klorofil (Huete et al., 2011). Setiap model algoritma memiliki parameter yang berbeda dalam mendeteksi tingkat intensitas kehijauan pada citra satelit. Intensitas kehijauan berkorelasi dengan tingkat kerapatan kanopi vegetasi dan untuk menyajikan tingkat kehijauan vegetasi mangrove dari citra, maka dilakukan transformasi indeks vegetasi. Model algoritma yang dimasukkan pada citra Landsat 8 adalah NDVI, GNDVI dan IM. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi antara nilai indeks vegetasi yang diperoleh dari citra satelit dengan data tutupan kanopi mangrove serta didapatkan indeks vegetasi yang sesuai untuk menduga kerapatan kanopi mangrove.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2021 di Teluk Dodinga, Halmahera Barat. Data spasial yang diperlukan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) yang telah terkoreksi geometri *path/row* 110/59 dengan waktu akuisisi 20 Maret 2021 dan data *ground truth* (survei lapangan). Pengambilan data tutupan kanopi mangrove di lapangan didasarkan pada metode transek kuadrat dan *Hemispherical*

Photography (Dharmawan dan Pramudji, 2014). Posisi pengambilan sampel (disimpan secara otomatis) kedalam risiver GPS. Setiap transek diplot dengan ukuran 15 x 15 meter disesuaikan resolusi spasial citra Landsat yang sudah ditingkatkan resolusi yaitu 15 meter. Dalam setiap plot dilakukan foto kanopi mangrove tegak lurus ke arah langit dan setiap tegakan mangrove diidentifikasi jenisnya. Analisis foto *hemisphere* dengan menggunakan *software Image-J* untuk mengetahui nilai persentase tutupan kanopi mangrove.

Analisis data citra terdiri dari koreksi radiometrik, penajaman citra, *masking* dan klasifikasi serta uji akurasi dilakukan dengan menggunakan *software* ENVI 5.3 dan ArcGIS 10.1 untuk analisis tumpang susun (*overlay*). Koreksi radiometrik dan penajaman citra merupakan tahapan awal dalam pemrosesan citra. Koreksi radiometrik citra dilakukan untuk menghilangkan efek gangguan atmosfer seperti kabut dan awan tipis. Kalibrasi sensor secara otomatis menggunakan *toolbox Radiometric Correction*. Sedangkan penajaman citra atau peningkatan resolusi spasial citra multispektral (band 1 hingga band 7) dari 30 meter menjadi 15 meter, dilakukan dengan menggunakan *NN Diffusi pan-sharpening* pada citra *pankromatik* (band 8). *Masking* dan klasifikasi multi-saluran *maximum likelihood* dilakukan untuk memisahkan fitur mangrove dan non mangrove. Metode klasifikasi ini menggunakan referensi nilai piksel (*Region of interest/ROI*) yang diasumsikan sebagai objek tertentu. Penyusunan sampel ROI berdasarkan data yang diperoleh dari survei lapangan (*ground truth*). Uji akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan menggunakan matriks kesalahan atau *confussion matriks* (Congalton dan Green, 2009).

Algoritma indeks vegetasi yang diuji yaitu NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*), GNDVI (*Green Normalize Difference Vegetation Index*) dan IM (Indeks Mangrove). Analisis regresi digunakan untuk menentukan hubungan antara hasil transformasi indeks vegetasi dengan tutupan kanopi mangrove. Pemilihan korelasi terbaik ditentukan dari

nilai koefisien determinasi (R^2). Klasifikasi saluran tunggal menggunakan metode *density slice* untuk membagi objek kerapatan berdasarkan nilai indeks vegetasi. Algoritma NDVI; GNDVI (Arhatin dan Wahyuningrum, 2013) dan IM (Winarso dan Purwanto, 2014) adalah sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

$$GNDVI = \frac{(NIR - G)}{(NIR + G)}$$

$$IM = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR * SWIR)} * X$$

Dimana:

NIR=Near Infrared (nilai reflektan band 5)

R=red (nilai reflektan band 4)

G=green (nilai reflektan band 3)

SWIR=Short Wavelength Infrared (nilai reflektan band 6)

X=nilai konstanta (merupakan faktor pengali agar nilai indeksnya menjadi -1 sampai 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mangrove lebih mudah dikenali dengan menggunakan komposit *false color* (saluran infra merah) dibanding *true color* (saluran tampak). Penggunaan citra komposit infra merah (NIR, SWIR1 ataupun SWIR2) akan membantu dalam membedakan mangrove dan non-mangrove (Arhatin dan Wahyuningrum, 2013), karena mangrove lebih banyak memantulkan spektrum cahaya infra merah dan hijau. Sedangkan spektrum warna biru dan merah terserap oleh vegetasi dipergunakan untuk aktivitas fotosintesis. Penggunaan citra Landsat 8 komposit RGB 572, RGB 563 dan RGB 564 dapat menampakkan mangrove secara visual (Suyarso, 2019). Komposit warna yang dihasilkan dari nilai reflektan mangrove menunjukkan kontras warna yang berbeda dengan objek lain. Seperti terlihat pada citra hasil koreksi radiometrik (Gambar 1), yaitu delineasi mangrove menggunakan komposit RGB 564 dengan resolusi spasial 15 meter. Dari gambar tersebut nampak jelas vegetasi mangrove berwarna jingga kemerahan, lahan terbangun berwarna biru cyan dan air

berwarna biru tua kehitaman sehingga mudah melakukan *masking* dan klasifikasi.

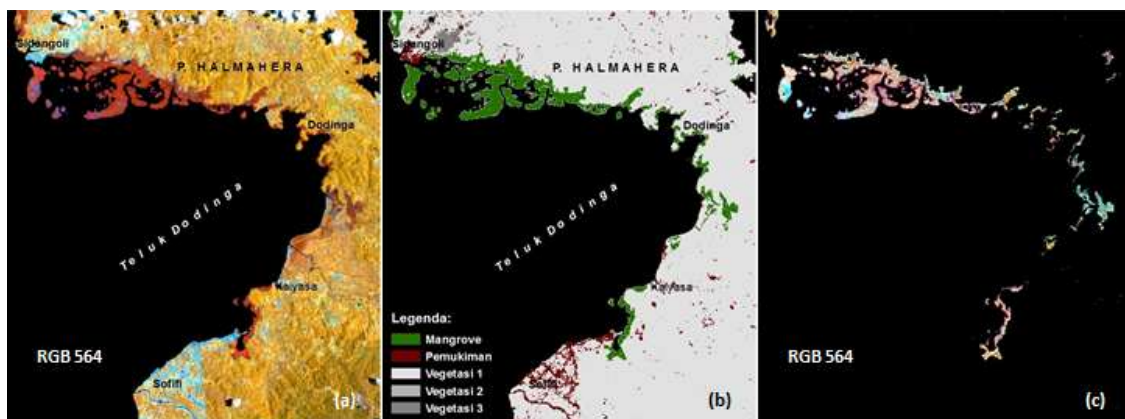


Gambar 1. Delineasi mangrove yang ditampilkan di Teluk Dodinga.

Masking, Klasifikasi dan Uji akurasi

Masking merupakan proses pemisahan objek kajian (mangrove) terhadap objek kajian lain termasuk laut. Nilai indeks reflektan sangat memungkinkan untuk memisahkan antara darat dan laut menggunakan algoritma (Suyarso, 2019). Dalam analisis, area kajian yang difokuskan hanya darat saja sehingga fitur air/laut harus dihilangkan. Algoritma yang digunakan untuk menghilangkan fitur air/laut adalah $((b5/b2)>1)*1$. Hasil eksekusinya

menghasilkan citra 1 band (masker darat) dengan 2 kisaran nilai yakni 1 (putih) adalah mangrove dan daratan; 0 (hitam) adalah air/laut. Selanjutnya proses *masking* dilakukan untuk mendapatkan citra tanpa fitur air/laut sebagai input data adalah citra 7 band (hasil koreksi radiometrik) dan maskernya adalah masker darat. Luaran yang didapatkan adalah citra 7 band yang hanya menggambarkan fitur mangrove dan darat (Gambar 2.a).

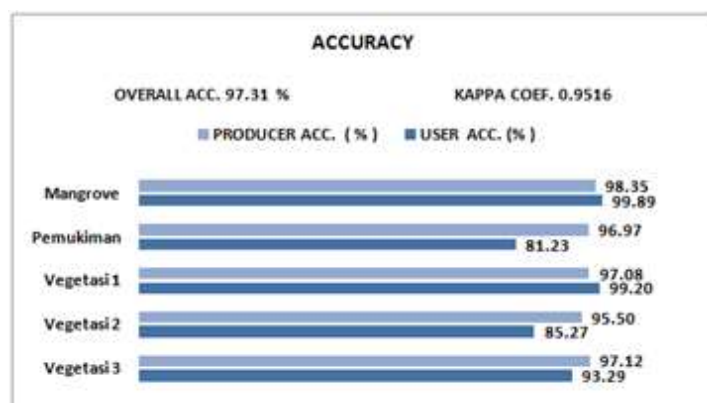


Gambar 2. Citra 7 band yang hanya menggambarkan fitur mangrove/darat (a); citra hasil klasifikasi *maximum likelihood* (b) dan citra mangrove (c).

Setelah fitur air/laut dihilangkan, selanjutnya klasifikasi dilakukan untuk memisahkan fitur mangrove terhadap fitur-fitur lainnya (non-mangrove). Proses ini dilakukan melalui teknik klasifikasi multi-saluran *maximum likelihood* menggunakan referensi nilai piksel (*Region of interest/ROI*). Klasifikasi *maximum likelihood* menggunakan citra 7 band sebagai *input data* dan maskernya adalah citra 1 band dari algoritma $((b5/b2)>1)*1$. Hasil klasifikasi mendapatkan lima kelas tutupan lahan yang berbeda (Gambar 2.b). Tahap selanjutnya menyusun masker mangrove, masker mangrove dibentuk berdasarkan data spasial berformat vektor dari poligon mangrove. Sebagai data masker adalah poligon mangrove yang telah dirasterkan. Masker mangrove

merupakan citra 1 band yang mempunyai nilai digital 1 (putih) adalah mangrove; 0 (hitam) adalah non mangrove. Proses *masking* dilakukan untuk mendapatkan citra mangrove sebagai input data adalah citra 7 band dan maskernya adalah masker mangrove. Luaran proses *masking* adalah citra mangrove terdiri atas 7 band (Gambar 2.c).

Uji akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan di daerah penelitian diperoleh *overall* akurasi sebesar 97,31 % dengan *kappa coefisien* sebesar 0,9516. Klasifikasi citra ini dianggap benar dan sudah memenuhi syarat minimal *overall accuracy* $\geq 80\%$ (Short dalam Nawangwulan, 2013). *User accuracy* dan *producer accuracy* hasil klasifikasi pada kelas mangrove adalah 99,89 % dan 98,35% (Gambar 3).

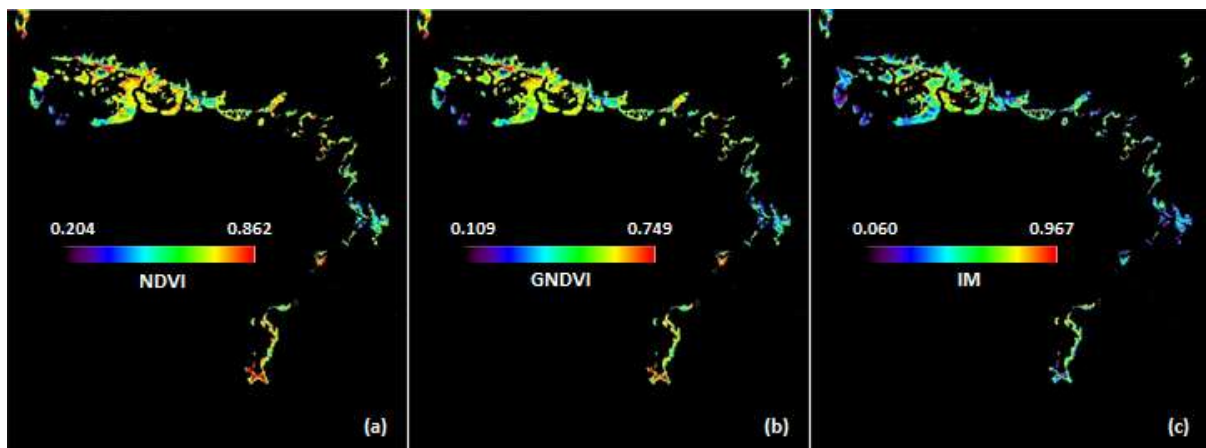


Gambar 3. Nilai *producer accuracy* dan *user accuracy* setiap kelas tutupan lahan.

Transformasi Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan suatu transformasi matematis dari beberapa saluran untuk menghasilkan citra baru yang menyajikan aspek kerapatan atau tingkat kehijauan vegetasi. Nilai indeks vegetasi yang tinggi memberikan gambaran bahwa mangrove di area tersebut mempunyai tingkat kehijauan tinggi (vegetasinya rapat atau lebat), sebaliknya nilai indeks vegetasi rendah menggambarkan tingkat kehijauan rendah (vegetasinya jarang). Hasil analisis menggunakan algoritma NDVI, GNDVI dan IM terhadap citra mangrove (Gambar 4). Nampak jelas pada citra NDVI dan citra GNDVI warna kuning dan merah (nilai

tinggi) lebih dominan menggambarkan tingkat kehijauan tinggi (vegetasinya rapat atau lebat). Sedangkan citra IM didominasi oleh warna biru cyan dan hijau (nilai sedang) atau tingkat kehijauan sedang. Citra hasil transformasi indeks vegetasi NDVI dan GNDVI cenderung serupa karena keduanya tidak menunjukkan perbedaan interval nilai indeks yang berarti yaitu NDVI (0,204-0,862) dan GNDVI (0,109-0,749). Hal ini sesuai dengan Rodriguez et al. (2006) yang mengatakan bahwa NDVI dan GNDVI memiliki kecenderungan yang serupa atau sama. Berbeda dengan IM yang memiliki rentan nilai indeksnya cukup jauh yaitu 0,060-0,967.

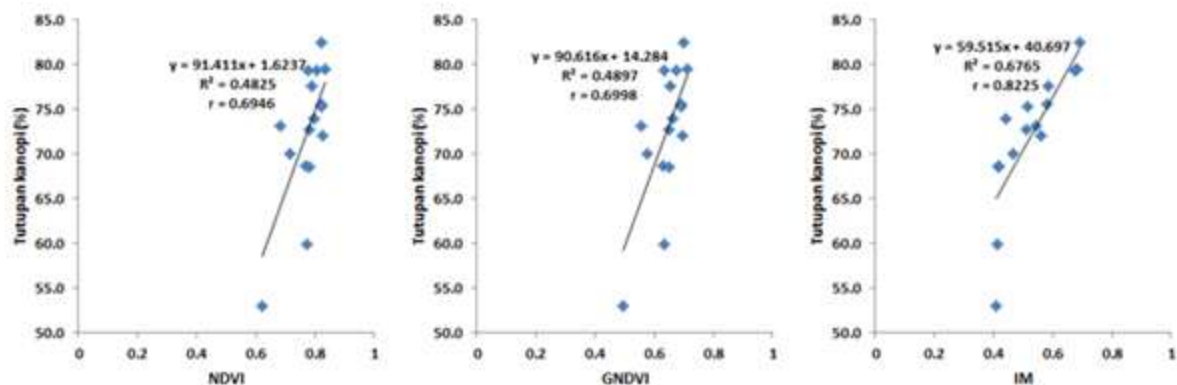


Gambar 4. Citra NDVI (a), GNDVI (b) dan IM (c).

Korelasi antara indeks vegetasi dengan tutupan kanopi mangrove

Validasi data hasil transformasi indeks vegetasi dikorelasikan dengan tutupan kanopi mangrove (Tabel 1) pada titik koordinat yang sama akan menunjukkan kedekatan data hasil transformasi indeks vegetasi dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Hasil analisis regresi antara nilai indeks vegetasi NDVI, GNDVI dan IM dengan tutupan kanopi mangrove pada model persamaan linier ditampilkan pada Gambar 5. Kuatnya hubungan nilai indeks vegetasi dengan

tutupan kanopi mangrove disebabkan citra satelit merekam data pantulan elektromagnetik tutupan objek mangrove di permukaan bumi. Koefisien determinasi (R^2) menandakan adanya keterkaitan antara nilai indeks vegetasi dengan persentase tutupan kanopi mangrove. Koefisien determinasi (R^2) IM 0,6765 lebih tinggi dari GNDVI 0,4897 dan NDVI 0,4825. Nilai ini menunjukkan hubungan IM dengan tutupan kanopi sangat kuat dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,8225.



Gambar 5. Grafik korelasi indeks vegetasi dengan tutupan kanopi mangrove.

Pada beberapa hasil penelitian didapatkan hubungan antara GNDVI dengan tutupan kanopi mangrove lebih baik dibandingkan NDVI; seperti penelitian di Kabupaten Berau yang memperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) GNDVI 0,8331 lebih tinggi dari NDVI 0,8040 (Arhatin dan

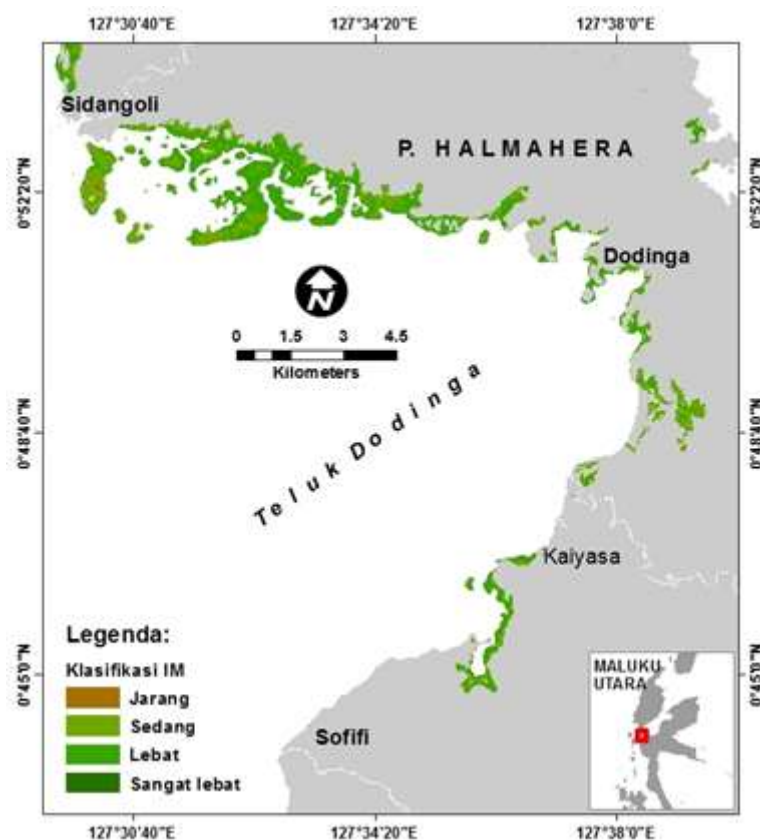
Wahyuningrum, 2013). Demikian juga Gholizadeh *et al.* (2015) mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) GNDVI 0,5184 lebih tinggi dari NDVI 0,2401 yang menunjukkan GNDVI lebih efektif dalam mendeteksi tingkat intensitas kehijauan mangrove dibandingkan NDVI. Terkadang

penggunaan NDVI tidak sesuai dengan keadaan di lapangan jika kawasan mangrove terdegradasi. Seperti ditemukan di kawasan mangrove Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah (Winarso dan

Purwanto, 2014), yang menyimpulkan bahwa penggunaan IM lebih realistis dan sesuai dengan kawasan mangrove terdegradasi dibandingkan dengan NDVI.

Tabel 1. Tutupan kanopi mangrove (%) dan indeks vegetasi pada tiap stasiun.

St.	Lintang	Bujur	Tutupan	NDVI	GNDVI	IM	Dominasi jenis mangrove
1	0.87075	127.50319	73.07	0.682	0.553	0.543	<i>Rhizophora macronata</i>
2	0.88038	127.50089	75.55	0.820	0.690	0.581	<i>Rhizophora apiculata</i>
3	0.88093	127.50089	72.09	0.825	0.694	0.560	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>
4	0.87021	127.50198	53.03	0.623	0.495	0.408	<i>Ceriops tagal</i>
5	0.87943	127.51144	79.31	0.775	0.633	0.673	<i>Rhizophora stylosa</i>
6	0.87848	127.50076	75.26	0.821	0.692	0.515	<i>Sonneratia alba</i>
7	0.86885	127.50130	69.96	0.717	0.574	0.464	<i>Rhizophora apiculata</i>
8	0.86926	127.49982	68.72	0.768	0.628	0.414	<i>Rhizophora macronata</i>
9	0.85086	127.64148	77.53	0.788	0.652	0.582	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>
10	0.85046	127.64094	79.39	0.806	0.675	0.673	<i>Rhizophora macronata</i>
11	0.84951	127.64067	68.55	0.781	0.649	0.416	<i>Sonneratia alba</i>
12	0.84910	127.64094	73.94	0.797	0.661	0.440	<i>Rhizophora apiculata</i>
13	0.78003	127.61239	79.47	0.835	0.712	0.684	<i>Sonneratia alba</i>
14	0.77895	127.61144	72.75	0.781	0.649	0.511	<i>Avicennia marina</i>
15	0.77800	127.60861	59.89	0.773	0.634	0.411	<i>Sonneratia alba</i>
16	0.77894	127.60673	82.48	0.823	0.697	0.691	<i>Rhizophora apiculata</i>



Gambar 6. Peta hasil klasifikasi *density slice* IM

Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) diketahui bahwa IM merupakan transformasi paling efektif untuk menduga kerapatan kanopi mangrove dibandingkan GNDVI dan NDVI. Klasifikasi IM menggunakan *density slice* menghasilkan peta mangrove dengan empat tingkat kerapatan kanopi mangrove yaitu jarang, sedang, lebat dan sangat lebat (Gambar 6). Dari hasil klasifikasi diperoleh luas mangrove Teluk Dodinga adalah 1573,40 ha. luas mangrove dengan kerapatan jarang 7,40 ha, mangrove sedang 628,33 ha, mangrove lebat 921,22 ha dan mangrove sangat lebat 16,45 ha. Menurut Dharmawan dan Pramudji (2014) bahwa tutupan kanopi mangrove dapat menunjukkan tingkat alami ekosistem mangrove dan mendeteksi ancaman antropogenik. Tutupan kanopi mangrove di lapangan berkisar antara 53,03% - 82,48% (Tabel 1). Kisaran nilai ini termasuk kategori sedang ($\geq 50\%$ - $<75\%$) dan padat ($\geq 75\%$) berdasarkan kriteria baku kerusakan mangrove (KepMen LH. No. 201, Tahun 2004) mengindikasikan kondisi mangrove di Teluk Dodinga masih baik.

KESIMPULAN

Nilai indeks vegetasi yang diperoleh dari citra satelit Landsat 8 dapat memberikan informasi mengenai kondisi vegetasi mangrove. Hasil transformasi indeks vegetasi NDVI dan GNDVI cenderung sama yaitu NDVI (0,204-0,862) dan GNDVI (0,109-0,749); berbeda dengan IM yang memiliki rentan nilai indeksnya cukup jauh yaitu 0,060-0,967. Hubungan korelasi antara IM dengan tutupan kanopi mangrove sangat kuat dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,8225. Indeks vegetasi yang paling baik dalam menduga kerapatan kanopi mangrove di Teluk Dodinga adalah IM (Indeks Mangrove).

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, N., I. Marus, I. Haji, S. Abdullah, S. Umalekhoa, F.S. Ibrahim, M. Ahmad, A. Ibrahim, A. Kahar dan I. Tahir, 2017. Struktur komunitas hutan mangrove di Teluk Dodinga, Kabupaten Halmahera Barat, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Enggano*, 2(1):78–89.
- Arhatin, R. E., dan P.I. Wahyuningrum. 2013. Algoritma indeks vegetasi mangrove menggunakan citra landsat ETM+. *Buletin PSP* 21(2):215-227.
- Arindi, Y.N. 2018. Analisis perubahan kerapatan ekosistem mangrove menggunakan algoritma indeks vegetasi NDVI dan SAVI citra satelit multitemporal (studi kasus: pesisir utara Surabaya). Tugas Akhir. Departemen Teknik Geomatika-FTSLK, ITS Surabaya. 101 hal.
- Bengen, D.G. 2001. Pedoman teknis pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor.
- Congalton, R.G., and K. Green. 2009. Thematic and positional accuracy assessment of digital remotely sensed data. *Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. New York (US). 179p.
- Dharmawan, I.W.E., dan Pramudji. 2014. Panduan monitoring status ekosistem mangrove. COREMAP-CTI LIPI, Jakarta. 35 hlm.
- FAO. 2007. *The World's Mangroves 1980-2005*. FAO Forestry Paper 153. Rome.
- Giri, C., E. Ochieng, L. L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek and N. Duke. 2011. Status and Distribution of Mangrove Forests of the World Using Earth Observation Satellite Data. *Global Ecology and Biogeography* 20 (1): 154–59.
- Gholizadeh. H., S.M. Robeson, A.F. Rahman, 2015. Comparing the performance of multispectral vegetation indices and machine learning algorithms for remote estimation of chlorophyll content: a case study in the Sundarbans

- mangrove forest. *International journal of remote sensing* 36(12):3114-3133.
- Gong, P., P.U. Ruiliang, G.S. Biging, M.R. Larraieu, 2003. Estimation of Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived From Hyperion Hyperspectral Data. *Journal of IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- Huete, A., K. Didan, W.V. Leeuwen, T. Miura, and E. Glenn. 2011. MODIS vegetation indices. *Land remote sensing and global environmental change*, 26:579-602. doi: 10.1007/978-1-4419-6749-7_26.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Jakarta.
- Nawangwulan, N.H. 2013. Analisis Pengaruh Perubahan Lahan terhadap Hasil Produksi Tanaman Pangan di Kabupaten Pati Tahun 2001- 2011. *Jurnal Geodesi Undip*. 2(2):127-140.
- Nurdiansah, D. dan , I.W.E., Dharmawan, 2018. Komunitas mangrove di wilayah pesisir pulau Tidore dan sekitarnya. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi*, 3(1):1–9.
- Prahesti, T., N. Bashit dan Y. Wahyuddin, 2021. Analisis perubahan kerapatan tanaman mangrove terhadap perubahan garis pantai di Kabupaten Pati tahun 2017-2020 dengan metode penginderaan jauh dan aplikasi digital shoreline analysis system (DSAS). *Jurnal Geodesi, UNDIP*. 10(1):143–152.
- Prameswari, A.A.S.R., T. Hariyanto dan F. Sidik, 2015. Analisis indeks vegetasi mangrove menggunakan citra satelit Alos Avnir-2 di Estuari Perancak Bali, *Jurnal Geold*, 11(1):40-45.
- Proisy, C., P. Coueron, F. Fromard, 2007. Predicting and Mapping Mangrove Biomass from Canopy Grain Analysis Using Fourier-Based Textural Ordination of IKONOS Images Original Research Article. *Remote Sensing of Environment*. 109: 379–392.
- Rodriguez MG, Estrada JAE, Gonzales MTR, Reynolds MP. 2006. Canopy reflectance indices and their relationship with yield in common bean plants with phosphorus supply. *International Journal of Agriculture and Biology* 8(2):203-207
- Satyanarayana, B., I.F. Idris, M. Husain, F. Dahdouh-Guebas, 2011. Assessment of Mangrove Vegetation Based on Remote Sensing and Ground-truth Measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Remote Sensing*. 32(6):1635–1650.
- Susilo, S.B. 2000. *Penginderaan Jauh Terapan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Suyarso. 2019. *Teknik Eksplorasi Sumber Daya Pesisir (Terumbu Karang dan Mangrove) Berbasis Geospasial*. Penerbit ANDI: Yogyakarta.
- Winarso, G. dan A.D. Purwanto, 2014. Pendekatan baru indeks kerusakan mangrove menggunakan data penginderaan jauh. *Seminar nasional penginderaan jauh. Deteksi parameter geobiofisik dan diseminasi penginderaan jauh*, 368–379.