

Mapping Benthic Habitat Distribution and Coral Reef Health Index in Ternate Island and Tidore Island, North Maluku

(Pemetaan Sebaran Habitat Bentik dan Indeks Kesehatan Terumbu Karang di Pulau Ternate dan Pulau Tidore, Maluku Utara)

Simon I. Patty*, Jemmy Souhoka, Petrus C. Makatipu, Marendra Pandu Rizqi

Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset Dan Inovasi Nasional
e-mail: pattysimon@gmail.com

Manuscript received: 12 Jan 2024. Revision accepted: 28 Jan. 2024

Abstract

Coral reefs are underwater marine organisms whose coverage can be identified using remote sensing technology utilizing satellite imagery. The benthic habitats classification and coral reef health index analysis were carried out on the Ternate and Tidore islands in June 2021. This study aims to map the distribution of benthic habitat as well as calculate the value of the coral reef health index. The processing of satellite imagery data from Landsat 8, using ENVI 5.3 and ArcGIS 10.1 software. The "depth invariant index" algorithm is used in the image sharpening process (Lyzenga, 1981). The maximum likelihood classification technique is used to identify substrate type, with a confusion matrix used to test its accuracy. The coral reef health index assessment is based on the condition of live coral cover, resilience level, and reef fish biomass. The results from water column image classification showed that there were four classes of habitat, i.e. coral, seagrass, sand, and rubble with an overall accuracy value of 85.86% and kappa coefficient of 0.80605. The total area of classified coral reefs is 1152.85 hectares. The coral reef health index values ranged from 2 to 8 with an average of 5, which translates to a moderate percentage of live coral cover, high resilience, and low fish biomass.

Keywords: coral reefs, benthic habitat, health index, Landsat 8 images.

Abstrak

Terumbu karang merupakan objek tutupan bawah air laut yang dapat diidentifikasi menggunakan teknologi penginderaan jauh yakni memanfaatkan citra satelit. Klasifikasi habitat bentik dan analisis indeks kesehatan terumbu karang telah dilakukan di pulau Ternate dan pulau Tidore pada bulan Juni 2021. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran habitat bentik serta mengetahui nilai indeks kesehatan terumbu karang. Pengolahan data citra Landsat 8 dengan perangkat lunak ENVI 5.3 dan ArcGIS 10.1. Proses penajaman citra menggunakan algoritma "depth invariant index" (Lyzenga, 1981). Teknik klasifikasi *maximum likelihood* digunakan untuk identifikasi objek dasar perairan dan uji akurasi menggunakan *confusion matrix*. Penilaian indeks kesehatan terumbu karang berdasarkan kondisi tutupan karang hidup, tingkat resiliensi dan biomassa ikan karang. Hasil klasifikasi citra kolom air mendapatkan empat kelas habitat yaitu karang, lamun, pasir dan pecahan karang mati (*rubble*) dengan nilai akurasi keseluruhan sebesar 85,86 % dan koefisien kappa sebesar 0,80605. Total luasan area terumbu karang hasil klasifikasi adalah 1152,85 ha. Nilai indeks kesehatan terumbu karang berkisar antara 2 sampai 8, dengan rata-rata 5 yang menggambarkan persentase tutupan karang hidup sedang, tingkat resiliensi tinggi dan biomassa ikan rendah.

Kata kunci: terumbu karang, habitat bentik, indeks kesehatan, citra Landsat 8.

PENDAHULUAN

Ekosistem perairan tropis yang sangat bermanfaat adalah terumbu karang, diantaranya menstabilkan kondisi ekologi laut seperti sebagai habitat, tempat memijah, mencari makan dan tempat berlindung bagi berbagai jenis hewan dan sebagai pencegah abrasi dari

hantaman ombak (Burke et al., 2012). Selain itu terumbu karang memiliki nilai ekonomis karena dapat menjadi area penangkapan ikan, sebagai tempat budidaya, penelitian dan pariwisata. Namun disisi lain terumbu karang sangat sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan yang diakibatkan baik bersifat fisik (dinamika perairan laut dan pantai),

aktivitas biologis maupun pencemaran bahan kimia akibat aktivitas manusia (Burke et al., 2002; Dahuri, 2003). Perubahan kondisi lingkungan oleh kejadian alam maupun dari berbagai aktivitas manusia telah memberikan dampak bagi pertumbuhan terumbu karang. Secara alami terumbu karang berusaha untuk bertahan hidup terhadap perubahan lingkungan dan menunjukkan gejala pemulihan (resiliensi) namun jika tekanan lingkungan terjadi terus-menerus maka terumbu karang akan menjadi rapuh dan rusak.

Pulau Ternate dan pulau Tidore merupakan bagian dari wilayah *coral triangle* yang memiliki sebaran terumbu karang cukup luas, tercatat 144 jenis karang dan di dalamnya hidup berbagai jenis biota laut (Giyanto et al., 2012a). Potensi terumbu karang yang sangat tinggi ini merupakan sumber pendapatan bagi masyarakat pesisir, terutama untuk kegiatan wisata bahari, budidaya dan penangkapan ikan. Semua kegiatan yang dilakukan tentu akan bersentuhan langsung dengan ekosistem tersebut karena itu cara pengelolaan sangat diperlukan untuk mengatur aktivitas manusia serta mengurangi dan memantau pemanfaatan yang merusak. Keberadaan terumbu karang mengalami kerusakan bila semua aktivitas yang dilakukan tidak ramah lingkungan, seperti penangkapan ikan dengan menggunakan bahan peledak/bom, alat tangkap bius atau racun sianida. Burke et al. (2012) mengatakan bahwa penyebab utama terjadinya kerusakan pada terumbu karang dikarenakan oleh pemanfaatan yang berlebihan dan pencemaran lingkungan (antropogenik).

Salah satu cara yang dilakukan untuk menilai kondisi terumbu karang adalah dengan kegiatan survei lapangan, yaitu melalui pengamatan komponen bentik terumbu karang dan komponen ikan terumbu karang (Giyanto, 2017) serta memetakan tutupan habitat bentik dengan penggunaan teknologi penginderaan jauh (Hamyton, 2017; Hedley et al., 2016; Mumby et al., 2004). Sensor satelit penginderaan jauh mampu mendeteksi

berbagai fitur pada ekosistem perairan yang salah satunya adalah objek tutupan bawah air (Siregar, 2010) dengan menggunakan citra Landsat 8 yaitu pada saluran tampak dan infra merah dekat. Algoritma indeks atenuasi kolom air "*depth invariant index*" digunakan untuk mengurangi gangguan kolom air, sehingga objek tutupan bawah air laut seperti karang, lamun dan substrat dasar dapat teridentifikasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan sebaran habitat bentik serta mengetahui nilai indeks kesehatan terumbu karang di pulau Ternate dan pulau Tidore.

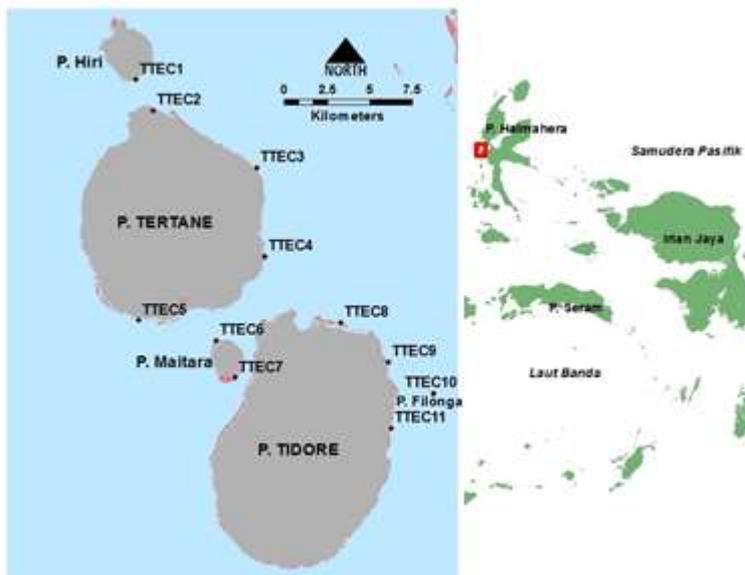
METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2021 di pulau Ternate dan pulau Tidore, Maluku Utara (Gambar 1). Data yang digunakan 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*, bentik terumbu karang dan ikan terumbu karang). Citra Landsat 8 memiliki 11 sensor atau band dengan resolusi spasial yang berbeda-beda. Peningkatan resolusi spasial citra multispektral (band 1 hingga band 7) dari 30 meter menjadi 15 meter dilakukan secara otomatis menggunakan *NN Diffusi pan-sharpening* pada citra *pankromatik* (band 8). Saluran band multispektral yaitu Band 2 (*blue*), band 3 (*green*) dan band 4 (*red*) merupakan band sinar tampak (*visible*) serta band 5 (NIR), digunakan untuk pemetaan terumbu karang. Pengolahan data citra menyangkut tahap koreksi citra (reflektan, *sunlint* dan atenuasi kolom air), masking dan klasifikasi serta uji akurasi. Data citra diolah dengan menggunakan *software* ENVI 5.3 dan ArcGIS 10.1 untuk analisis tumpang susun (*overlay*).

Koreksi reflektan dilakukan untuk menghilangkan efek gangguan atmosfer yang menyebabkan nilai *digital number* (DN) minimum tidak bernilai "0" pada objek tergelap seperti bayangan awan dan laut dalam. Apabila nilai DN minimumnya nol

pada liputan citra maka dipastikan citra tersebut tidak mengalami gangguan atmosfer (LIPI, 2014). Koreksi reflektan dilakukan secara otomatis dengan software ENVI 5.3 menggunakan toolbox *Radiometric Correction: Radiometric Calibration type reflectance*, selanjutnya

proses *toolbox Dark Object Subtraction (DOS)* pada toolbox *Radiometric Correction: Dark Subtraction*. Citra hasil koreksi reflektan (Gambar 3.a) secara visual terlihat lebih jelas terutama pada wilayah daratan dan perairan laut dangkal.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Koreksi *sunglint* menggunakan data masukan saluran-saluran baru hasil koreksi reflektan, dengan cara memilih pixel-pixel sebagai sampel pada setiap variasi kenampakan *sunglint* di setiap saluran (band biru, band hijau, band merah, dan band inframerah dekat/NIR). Persamaan yang digunakan untuk koreksi *sunglint* adalah *de-glint* (Hedley et al., 2005):

$$b_{ij} = b_{ij} - (a_{ij}) \cdot (bNIR - bNIR_{min}),$$

dimana:

- b_{ij} = nilai reflektan band_{ij}
- a_{ij} = nilai slope regresi band_{ij}
- $bNIR$ = nilai reflektan band NIR
- $bNIR_{min}$ = nilai minimum reflektan band NIR.

Selanjutnya saluran-saluran baru hasil koreksi *sunglint*, digunakan untuk koreksi kolom air. Transformasi citra menggunakan metode algoritma indeks atenuasi kolom air "*Depth Invariant Index (DII)*" (Lyzenga, 1978), dengan persamaan sebagai berikut (Suyarso, 2019):

$$DII = \ln(L_i) - (k_i/k_j) \cdot \ln(L_j),$$

dimana:

- $k_i/k_j = a + \sqrt{a^2 + 1}$ dan
- $a = (\text{var}_i - \text{var}_j) / 2 \cdot \text{covar}_{ij}$
- L_i = nilai digital pada band i
- L_j = nilai digital pada band j
- K_i/k_j = rasio koefisien atenuasi pada pasangan band i dan band j

Citra hasil koreksi kolom air, selanjutnya diklasifikasi menggunakan pendekatan klasifikasi terbimbing *maximum likelihood* yaitu mengelaskan nilai pixel berdasarkan probabilitas suatu nilai pixel terhadap kelas tertentu dalam sampel pixel (BIG, 2014). Klasifikasi *maximum likelihood* dilakukan berdasarkan identifikasi objek pada titik pengambilan sampel (*ground truth*). Setiap posisi pengambilan data direkam menggunakan Garmin *handportable* GPS Map 60 CSx. Pengumpulan data dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual dan mendeskripsikan objek dasar perairan yang diamati. Objek yang

dipetakan mengacu kepada SNI 7716:2011 tentang pemetaan habitat dasar perairan laut dangkal (LIPI, 2014). Metode klasifikasi ini menggunakan referensi nilai piksel (*Region of interest/ROI*) yaitu data kelas sampel disimpan atau diekspor ke dalam *ROI file*. Proses selanjutnya dilakukan uji akurasi untuk membandingkan citra hasil klasifikasi terhadap kelas atau objek sebenarnya yang diperoleh berdasarkan pengamatan di lapangan. Uji akurasi hasil klasifikasi menggunakan matriks kesalahan atau confusion matriks (Congalton dan Green, 2009).

Pengambilan data bentik terumbu karang didasarkan pada metode transek foto bawah air atau *Underwater Photo Transect* (UPT) (Giyanto et al., 2010; Giyanto, 2012b; Giyanto, 2012c). Pemotretan dilakukan di sepanjang 50 meter pada meteran rol (garis transek) yang telah diletakkan secara horizontal garis pantai pada dasar perairan di kedalaman antara 5-7 meter. Teknik pengambilan foto terhadap objek dilakukan pada frame (44 x 58 cm) yang diletakkan di sisi kiri angka ganjil (1,3,5,...) dan sisi kanan angka genap (2,4,6,...) dengan setiap interval satu meter. Analisis foto transek dengan menggunakan *software Coral Point Count for excel* (CPCe 4.1) hasilnya akan ditransfer ke *software Microsoft excel*, sehingga dapat dilihat kondisi komponen pendukung ekosistem terumbu karang (bentik) dalam bentuk presentase (%) tutupan tiap komponen. Selanjutnya dilakukan analisis indeks kesehatan terumbu karang dengan melihat parameter komponen bentik (faktor kondisi terkini dan faktor tingkat resiliensi) dan komponen ikan karang (Giyanto et al., 2017). Komponen ikan terumbu karang dinyatakan oleh total biomassa dari kelompok ikan target atau ekonomis penting dari famili *Acanthuridae*, *Scaridae*, *Siganidae*, *Serranidae*, *Lutjanidae*, *Lethrinidae* dan *Haemulidae*. Pengambilan data ikan terumbu karang dengan metode visual sensus bawah air atau *underwater visual census* (UVC). Data ikan karang yang dikumpulkan meliputi data jenis, kelimpahan dan

estimasi panjang ikan (corallivora, herbivora dan karnivora) yang ditemukan sepanjang transek garis 70 m dengan batas kanan dan kiri masing-masing berjarak 2,5 m dengan luas area 350 m² (Suhartini et al., 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terumbu karang didalamnya substrat dasar perairan, karang, lamun dan alga serta habitat bentik lainnya dapat diidentifikasi pada citra satelit dengan mempertimbangkan efek gangguan atmosfer maupun kolom air (Prayuda, 2012). Hal ini perlu karena citra yang terekam sensor satelit merupakan hasil konversi dari tenaga pantulan sinar matahari yang menyentuh objek, serta dalam perjalanannya melewati media kolom air dan udara/atmosfer. Penerapan koreksi *sunglint* dan koreksi kolom air dapat dilakukan untuk mengeliminasi atau mengurangi efek gangguan atmosfer pada kolom air.

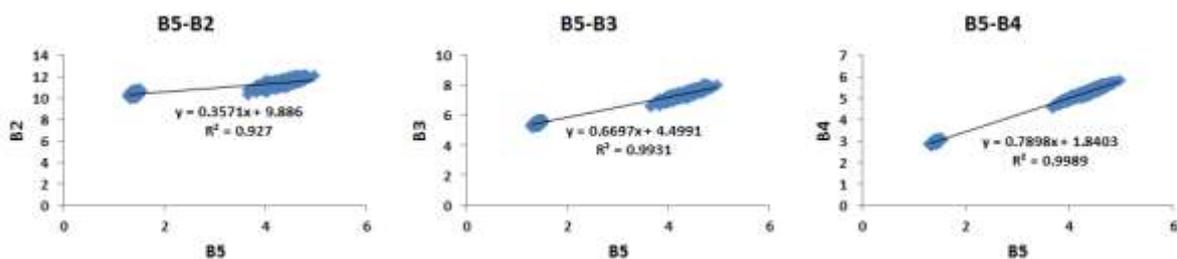
Koreksi *sunglint* dan koreksi kolom air

Sunglint atau kilau permukaan laut diakibatkan oleh pantulan sinar matahari pada gelombang air laut menyebabkan nilai pixel citra yang menjadi lebih tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh tiupan angin yang kencang di atas permukaan laut menyebabkan objek yang berada di bawah kolom air menjadi kabur atau tidak terlihat. Efek *sunglint* pada citra menyebabkan nilai pantulan objek di dasar perairan tidak sesuai dengan nilai sebenarnya di lapangan, sehingga diperlukan koreksi *sunglint* (Kay et al., 2009; Anggoro et al., 2016 dan Hafizt et al., 2017).

Koreksi *sunglint* dilakukan dengan membangun persamaan terlebih dahulu, dengan data input citra hasil koreksi reflektan (Gambar 3.a). Teknik yang digunakan untuk menghilangkan efek *sunglint* ini dengan menggunakan persamaan garis regresi linear antara band sinar inframerah dekat (NIR) sebagai rujukan (sumbu x) dengan band sinar tampak (RGB) yang akan dikoreksi (sumbu y). Banyaknya efek *sunglint* pada band sinar tampak berbanding lurus

dengan banyaknya efek tersebut pada band inframerah dekat (Hochberg dan Atkinson, 2003). Pengambilan sampel pixel *glint* menggunakan fasilitas ROI (*Region of Interest*) pada perairan laut dalam yang tenang (gelap) tanpa gangguan *glint* dan perairan yang memiliki gangguan *glint* maksimal dan gangguan *glint* kecil. Masing-masing sampel pixel yang terjaring (*polygon*) dikumpulkan menjadi satu ROI data sehingga diperoleh nilai minimum sampel bNIR adalah 1,2922. Nilai koefisien determinasi (R^2)

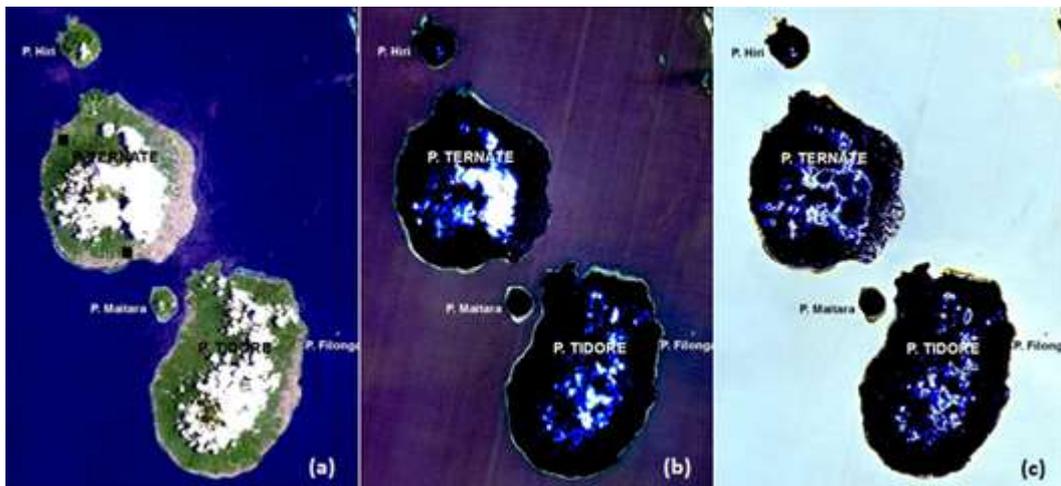
yang memiliki nilai mendekati 1 menggambarkan persamaan yang dibangun akan dapat menghilangkan efek *sun glint* dengan baik (Gambar 2). Berdasar nilai minimum sampel bNIR ($NIR_{min}=1,2922$) dan nilai *slope* dari grafik regresi sehingga dapat membangun persamaan *de-glint* (Tabel 1). Citra hasil koreksi *sun glint* (Gambar 3.b) yang diperoleh melalui persamaan *de-glint* dapat menghilangkan efek *sun glint* dengan baik.



Gambar 2. Grafik linier masing-masing band dari sampel glinting.

Tabel 1. Persamaan *de-glint*.

Band	Nilai <i>slope</i> (a)	<i>de-glint</i>
b2 (<i>blue</i>)	0,3571	$b2-(0,3571)*(b5-1,2922)$
b3 (<i>green</i>)	0,6697	$b3-(0,6697)*(b5-1,2922)$
b4 (<i>red</i>)	0,7898	$b4-(0,7898)*(b5-1,2922)$



Gambar 3. Citra hasil koreksi: (a) reflektan; (b) *sun glint* dan (c) koreksi kolom air.

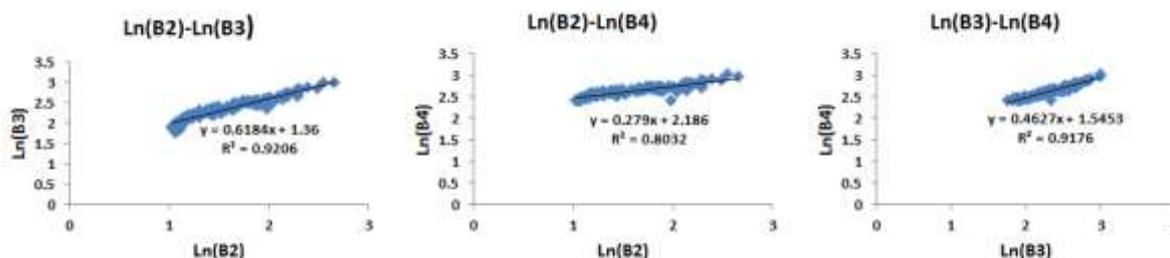
Koreksi kolom air bertujuan untuk menghilangkan peredupan pada objek yang berada di kolom air. Seperti halnya objek pasir yang berada pada perairan yang lebih dalam akan cenderung memiliki

warna lebih kebiruan dibandingkan dengan pasir yang terletak di perairan yang lebih dangkal (Prawoto dan Hartono, 2018). Kondisi ini terjadi karena efek pelemahan energi oleh kolom air

(atenuasi) menyebabkan perbedaan nilai piksel pada objek yang sama di kedalaman yang berbeda. Sebagaimana dijelaskan oleh Green et al. (2000) bahwa semakin dalam perairan maka semakin kecil nilai reflektan objek di setiap band sinar tampak.

Data input untuk proses koreksi atenuasi kolom air adalah citra hasil koreksi *sunlint* (Gambar 3.b). Pengambilan sampel pixel kolom air menggunakan fasilitas ROI (*Region of Interest*), dilakukan berdasar *point* (per pixel). Sampel yang diambil adalah objek pasir di berbagai kedalaman (Green et al., 2000) karena objek tersebut mudah dikenal, baik dalam citra maupun di lapangan. Koreksi kolom air di tiap band dapat dibangun dari persamaan regresi linear sederhana antara kombinasi band sinar tampak (b2-b3, b2-b4 serta b3-b4), dimana nilai slope sama dengan rasio koefisien atenuasi (Lyzenga, 1981).

Hubungan antara perbedaan kedalaman objek pasir dan kombinasi saluran tampak yang telah dinormalisasi (Ln) ditunjukkan dalam bentuk *trend line grafik* (Gambar 4) dan nilai R² yang diperoleh sudah cukup tinggi untuk analisis selanjutnya. Menurut Prayudha (2014), bahwa nilai pelemahan sinar matahari yang menembus perairan ditentukan dari nilai varian dan kovarian serta informasi dasar laut dapat ditentukan dari perhitungan nilai koefisien atenuasi kolom air antara saluran i dan j (k_i/k_j). Dari hasil pengolahan data sampel ROI pasir diperoleh nilai varian dan kovarian (Tabel 2) serta rasio koefisien atenuasi (k_i/k_j), sehingga dapat membangun persamaan DII (Tabel 3). Citra hasil koreksi kolom air (Gambar 3.c) yang diperoleh melalui persamaan DII dapat memperlihatkan substrat dasar yang terlihat menonjol karena sudah dilakukan transformasi Lyzenga.



Gambar 4. Grafik regresi pasangan natural logaritma (ln).

Tabel 2. Nilai varian dan kovarian.

Band	Varian	Band	Covarian
Ln(b2)	0,178299	Ln(b2)-Ln(b3)	0,109268
Ln(b3)	0,074053	Ln(b2)-Ln(b4)	0,049297
Ln(b4)	0,107278	Ln(b3)-Ln(b4)	0,033959

Tabel 3. Persamaan *depth invariant index*.

Band	a	k _i /k _j	<i>depth invariant index</i>
Ln(b2)-Ln(b3)	0,477022	1,584971	$\text{alog}(b2)-(1,584971*\text{alog}(b3))$
Ln(b2)-Ln(b4)	1,633174	3,548182	$\text{alog}(b2)-(3,548182*\text{alog}(b4))$
Ln(b3)-Ln(b4)	0,835937	2,139314	$\text{alog}(b3)-(2,139314*\text{alog}(b4))$

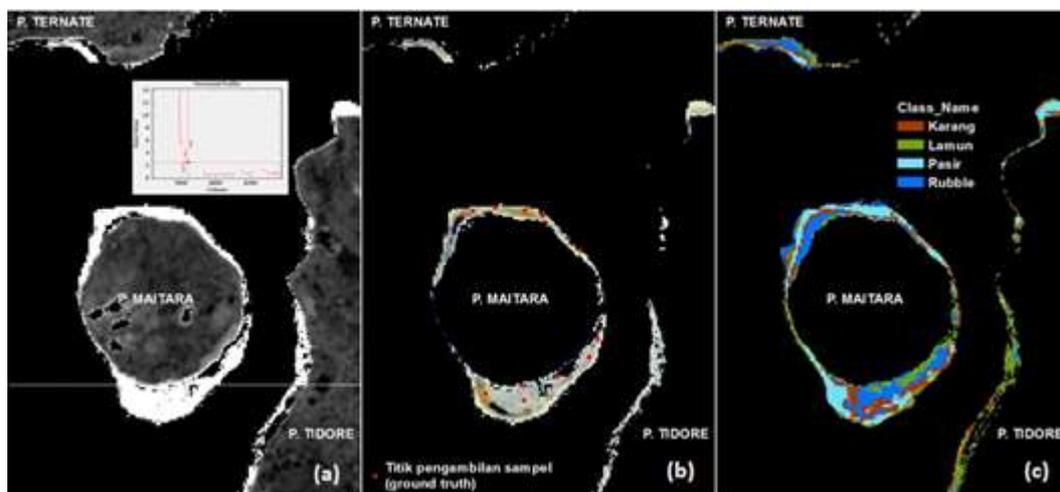
Masking terumbu karang dan klasifikasi tutupan habitat bentik

Masking citra atau pemisahan antara objek pada daerah kajian dengan bukan daerah kajian dalam satu citra. Untuk melakukan kajian pada suatu area terumbu karang maka masker akan

berfungsi sebagai pembatas antara darat/pulau dan laut dalam, sehingga dalam proses klasifikasi hanya area terumbu karang saja yang terklasifikasi. Nilai indeks reflektan sangat memungkinkan memisahkan antara darat dan laut serta lingkungan karang dengan

laut dalam. Pada citra Landsat 8, algoritma yang digunakan untuk memisahkan darat dan ekosistem terumbu karang terhadap laut dalam adalah b3-b1 dan memisahkan fitur darat dan ekosistem terumbu karang adalah b3/b6 (Suyarso, 2019). Profil spektral reflektan secara horizontal pada citra 1 band menggunakan algoritma b3/b6 menunjukkan nilai indeksnya 2,5 (pada sumbu vertical) merupakan batas antara ekosistem terumbu karang dan darat (Gambar 5.a).

Nilai spektral reflektan > 2,5 merupakan lingkungan terumbu karang sedangkan < 2,5 merupakan lingkungan daratan. Sehingga untuk mendapatkan citra masker ekosistem terumbu karang digunakan algoritma b3/b6 > 2,5. Masking dilakukan untuk mendapatkan citra masker kolom air (Gambar 5.b), sebagai input data adalah citra hasil koreksi atenuasi kolom air (DII) dan sebagai maskernya adalah ekosistem terumbu karang (Suyarso, 2019).



Gambar 5. Citra 1 band algoritma b3/b6 (a); citra masker kolom air (b); dan citra hasil klasifikasi supervised maximum likelihood (c).

Tabel 4. Luas tutupan habitat (ha) berdasarkan analisa SIG.

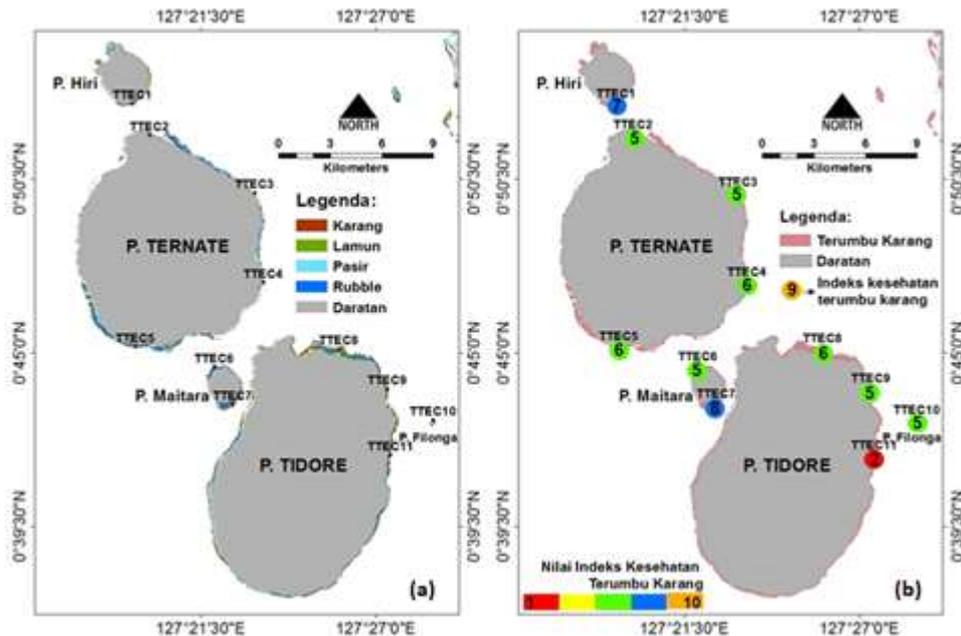
Lokasi	Karang	Lamun	Substrat Terbuka		Terumbu Karang
			Pasir	Rubble	
Pulau Ternate	72,68	90,14	36,61	171,79	371,22
Pulau Tidore	167,38	148,73	128,12	124,88	569,11
Pulau Maitara	30,78	18,56	32,29	30,42	112,05
Pulau Hiri	29,32	26,51	27,38	8,64	91,85
Pulau Filonga	1,96	0,00	3,62	3,04	8,62
Total luasan	302,12	283,94	228,02	338,77	1152,85
Persentase (%)	26,21	24,63	19,78	29,38	100

Klasifikasi supervised maximum likelihood dilakukan berdasarkan kelas sampel habitat yaitu karang, lamun, pasir dan rubble. Data input yang digunakan untuk klasifikasi kelas habitat adalah citra masker kolom air. Hasil klasifikasi maximum likelihood dapat memberikan kenampakan distribusi kelas habitat karang, lamun, pasir dan pecahan karang mati (rubble). Habitat pasir, pecahan karang dan lamun umumnya terdistribusi

pada bagian tengah kawasan terumbu karang (reef edge), sedangkan pada area terumbu bagian depan (front reef) ditutupi oleh habitat karang dan sebagian terdistribusi pada rata-rata karang (reef flat) (Gambar 5.c). Hasil klasifikasi dari empat kelas habitat menunjukkan bahwa kelas pasir merupakan habitat yang memiliki persentase tutupan terendah 19,78% diantara kelas habitat lainnya, dengan total luasan 228,02 ha. Persentase

tutupan kelas habitat yang tertinggi adalah habitat *rubble* 29,38% dengan total luasan sebesar 338,77 ha (Tabel 4). Tutupan habitat *rubble* paling luas terdapat di pulau Ternate yaitu 171,79 ha atau 46,28% dari luas area terumbu karang. Tutupan habitat karang terluas 167,38 ha (29,41 %)

ditemukan di area terumbu karang pulau Tidore. Total luasan area terumbu karang hasil klasifikasi adalah 1152,85 ha. Area terumbu karang terluas nampak pada stasiun TTEC08 bagian utara pulau Tidore maupun stasiun TTEC05 bagian selatan pulau Ternate (Gambar 6.a).



Gambar 6. Peta sebaran habitat bentik (a); dan indeks kesehatan terumbu karang di pulau Ternate dan pulau Tidore (b).

Uji akurasi

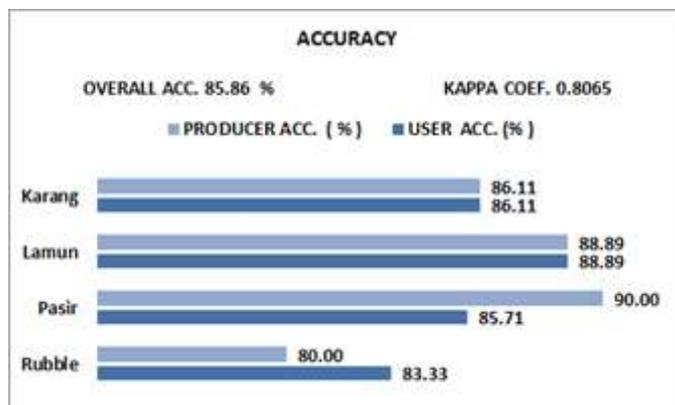
Uji akurasi hasil klasifikasi tutupan kelas habitat pada 99 sampel diperoleh akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sebesar 85,86 % dengan koefisien kappa (*kappa coefisien*) sebesar 0,8065. Menurut Agus (2012), nilai *overall accuracy* akan semakin tinggi jika semakin banyak hasil klasifikasi yang selaras dengan hasil observasi. Tingkat keakuratan hasil klasifikasi dari tiap kelas habitat memiliki nilai berbeda-beda (Gambar 7). Akurasi pembuat (*producer accuracy*) menunjukkan kelas pasir memiliki akurasi tertinggi yakni sebesar 90,00%, sementara akurasi terendah dimiliki oleh kelas pecahan karang mati (*rubble*) dengan nilai akurasi sebesar 80,00%. Sedangkan hasil perhitungan akurasi pengguna (*user accuracy*), dimana kelas lamun memiliki akurasi tertinggi dengan akurasi sebesar 88,89% dan terendah pada kelas *rubble* yaitu 83,33%.

Nilai *producer accuracy* yang rendah pada kelas *rubble* dapat disebabkan oleh pemilihan sampel yang tidak tepat pada perwakilan kelasnya. Pemilihan ROI yang tidak tepat pada setiap perwakilan kelas juga akan memperkecil nilai *producer accuracy* maupun nilai *user accuracy* peta (Hafizt et al., 2017). Dari evaluasi *producer accuracy* menunjukkan bahwa seluruh habitat yang dihasilkan dari citra dapat dipetakan dengan baik, sedangkan dari evaluasi *user accuracy* hasil pengamatan lapangan kelas habitat dapat digunakan dengan benar dalam proses pemetaan.

Berdasarkan perhitungan *confussion matrix*, dapat disimpulkan bahwa klasifikasi citra dianggap dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan dan sudah memenuhi standar yang ditetapkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) 7716:2011. Adapun SNI 7716:2011, nilai akurasi yang dapat diterima untuk pemetaan habitat dasar perairan laut

dangkal adalah sebesar $\geq 60\%$ (LIPI, 2014). Nilai akurasi ini sudah cukup memadai untuk pemetaan tutupan habitat terumbu karang. Menurut Mumby et al.

(1998), nilai akurasi 65-70% pemetaan habitat perairan menggunakan satelit indera dapat dikategorikan sudah cukup baik.



Gambar 7. Nilai *producer accuracy* dan *user accuracy* setiap kelas habitat.

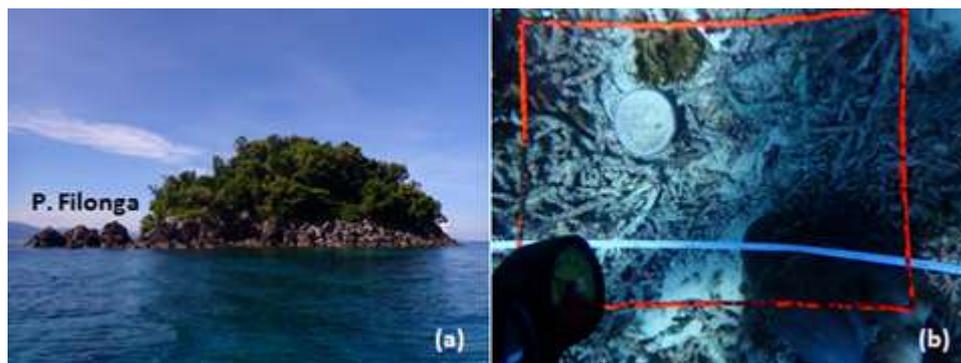
Kondisi komponen bentik dan indeks kesehatan terumbu karang

Pada penelitian ini didapatkan rata-rata tutupan karang hidup (hard coral/HC) 36,52% dan masuk dalam kategori tutupan tinggi $\geq 35\%$ (Giyanto et al., 2017). Persentase tersebut jauh lebih tinggi daripada kategori bentik yang lain, seperti soft coral/SC 11,19%, sponge/SP 0,91% dan other biota/OT 0,52% (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa karang keras masih mendominasi terumbu dan tidak terjadi sebuah *phase shift*. Meskipun

demikian, kategori substrat terutama rata-rata tutupan *rubble/R* 38,32% cukup tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa kerusakan karena faktor fisik sangat intensif, terutama penangkapan ikan dengan bom. Kondisi ini sangat memprihatinkan mengingat pertumbuhan karang relatif lambat, sebagai contoh pertumbuhan karang *Porites* adalah 1.4 mm/bulan dan *Pocillopora* sekitar >1.7 mm/bln (Rosesmyth, 1984; Alino et.al., 1985; Van Moorsel, 1988).

Tabel 5. Nilai tutupan (%) komponen bentik terumbu karang dan substrat dasar.

Komponen Bantik	Stasiun TTEC											Rata rata
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Hard Coral (HC)	33,00	21,27	19,27	62,13	50,87	23,13	48,13	74,60	32,53	16,07	20,67	36,52
Acropora (AC)	5,47	1,20	0,53	1,93	16,27	5,60	0,00	68,80	12,47	0,13	0,60	10,27
Non Acropora (NAC)	27,53	20,07	18,73	60,20	34,60	17,53	48,13	5,80	20,07	15,93	20,07	26,24
Recent Dead Coral (DC)	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Dead Coral with Algae (DCA)	2,47	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,28
Soft Coral (SC)	15,67	34,13	0,33	0,00	2,73	15,80	9,73	0,07	9,07	35,07	0,53	11,19
Sponge (SP)	2,20	0,07	0,53	0,33	0,33	0,67	0,53	0,73	3,33	0,67	0,60	0,91
Fleshy Seaweed (FS)	0,47	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,40	1,00	0,40	0,67	23,13	2,38
Other Biota (OT)	0,13	0,80	2,73	0,60	0,00	0,40	0,13	0,00	0,47	0,13	0,33	0,52
Rubble (R)	41,67	43,73	26,33	34,67	27,60	41,20	38,20	20,60	47,33	46,07	54,13	38,32
Sand (S)	4,40	0,00	50,47	2,27	18,47	18,80	2,87	3,00	6,87	1,33	0,07	9,87
Silt (SI)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rock (RK)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Gambar 8. Stasiun TTEC10; pulau Filonga (a) dan kondisi terumbu karang yang hancur terkena bom di area transek (b) (Foto: Jemmy Souhoka).

Komponen bentik yang digunakan untuk menghitung indeks kesehatan terumbu karang adalah tutupan karang hidup (hard coral), makro alga (fleshy seaweed) dan pecahan karang mati (rubble). Persentase tutupan karang hidup berdasarkan kategori LIPI (Giyanto et al., 2017) menunjukkan persen tutupan karang hidup di pulau Ternate dan pulau Tidore umumnya pada kategori sedang ($19\% \leq$ tutupan karang hidup $\leq 35\%$) dan kategori tinggi (tutupan karang hidup $> 35\%$), kecuali pada stasiun TTEC10 tutupan karang hidup kategori rendah (tutupan karang hidup $< 19\%$). Tutupan karang hidup dengan kategori sedang dijumpai pada stasiun TTEC01, TTEC02, TTEC03, TTEC06, TTEC09 dan TTEC11 sedangkan kategori tinggi dijumpai pada stasiun TTEC04, TTEC05, TTEC07 dan TTEC08. Jika berdasarkan kriteria penentuan status kondisi terumbu karang (Gomez dan Alcalá, 1978), maka nilai tutupan karang hidup di pulau Ternate dan pulau Tidore pada kisaran kategori jelek ($< 25\%$), kategori sedang (25-49,9%) dan kategori baik (50-74,9%) yang menunjukkan tutupan karang hidup tidak merata. Kondisi terumbu karang jelek karena faktor antropogenik akibat aktivitas manusia yang menggunakan bom untuk menangkap ikan. Penggunaan bom akan mengakibatkan terumbu karang menjadi hancur/rusak seperti dijumpai pada stasiun TTEC10 (Gambar 8) tutupan pecahan karang mati (*rubble*) lebih tinggi dari komponen bentik lainnya. Selain stasiun TTEC10 beberapa stasiun yang memiliki persentase tutupan pecahan

karang mati (*rubble*) $> 35\%$ adalah stasiun TTEC01, TTEC02, TTEC06, TTEC07, TTEC09 dan TTEC11. Persentase tutupan pecahan karang mati yang lebih tinggi dari komponen bentik lainnya menunjukkan area terumbu karang telah mendapat tekanan antropogenik. Burke et al. (2002) mengemukakan bahwa jika tekanan antropogenik terus terjadi pada area terumbu karang maka terjadi penurunan kondisi terumbu karang masuk pada kategori jelek.

Komponen bentik sangat dipengaruhi oleh kondisi terkini tutupan karang hidup dan tingkat resiliensinya yaitu kemampuan untuk beradaptasi dan mampu bertahan saat mendapatkan gangguan/tekanan. Resiliensi merupakan respon ekosistem dan jaminan terhadap terjadinya perubahan lingkungan, dan telah menjadi tujuan utama dari pengelolaan terumbu karang (Nystrom dan Folke, 2001). Tingkat resiliensi atau potensi pemulihan terumbu karang di pulau Ternate dan pulau Tidore umumnya dalam kategori tinggi (Tabel 6). Menurut Giyanto et al. (2017), bahwa resiliensi terumbu karang tinggi apabila (tutupan fleshy seaweed $< 3\%$), (tutupan pecahan karang $\leq 60\%$ dan tutupan karang hidup $> 5\%$). Tutupan karang hidup (HC) berkisar antara 16,07-74,60%, tutupan fleshy seaweed/FS (0,00-1,00) kecuali stasiun TTEC11 mencapai 23,13% dan tutupan pecahan karang mati (*rubble/R*) antara 20,60-54,13%. Tingginya tutupan makro alga (fleshy seaweed/FS) mencapai 23,13% mengakibatkan tingkat resiliensi rendah di stasiun TTEC11. Tingkat

resiliensi terumbu karang rendah apabila tutupan fleshy seaweed $\geq 3\%$, tutupan pecahan karang $> 60\%$ dan tutupan karang hidup $\geq 5\%$ (Giyanto et al., 2017). Makro alga (fleshy seaweed) dapat tumbuh pada karang mati maupun karang hidup, jika pertumbuhannya melimpah akan memberikan indikasi ancaman terhadap pertumbuhan karang karena dapat membunuh jaringannya. Jenis-jenis makro alga yang termasuk organisme kompetitor karang adalah *Caulerpa racemosa*, *Dictyota dichotoma* dan *Padina australis* (Luthfi dan Januarsa, 2018). Selain itu di stasiun TTEC11 juga dijumpai

pecahan karang yang hancur berantakan (*unconsolidated rubble*) dengan tutupan sebesar 54,13%. Kondisi ini menunjukkan tanda-tanda kerusakan atau gangguan serius yang akan mempengaruhi pemulihan karang (recovery) untuk kembali ke kondisi semula. Karang yang kondisinya agak sehat (sedang) tetapi memiliki potensi yang rendah untuk pulih dari gangguan akan memiliki kondisi yang lebih rendah dibandingkan dengan karang yang kondisinya jelek tetapi memiliki potensi yang tinggi untuk pulih dari gangguan.

Tabel 6. Nilai indeks kesehatan karang.

Stasiun	Komponen Bentik (%)			Kategori		Ikan Karang		Indeks Kesehatan Karang
	HC	FS	R	Tutupan Karang	Resiliensi	Biomassa (kg/ha)	Kategori	
TTEC01	33.00	0.47	41.67	Sedang	Tinggi	1123.42	Sedang	7
TTEC02	21.27	0.00	43.73	Sedang	Tinggi	581.12	Rendah	5
TTEC03	19.27	0.13	26.33	Sedang	Tinggi	755.31	Rendah	5
TTEC04	62.13	0.00	34.67	Tinggi	Tinggi	625.68	Rendah	6
TTEC05	50.87	0.00	27.60	Tinggi	Tinggi	752.16	Rendah	6
TTEC06	23.13	0.00	41.20	Sedang	Tinggi	766.91	Rendah	5
TTEC07	48.13	0.40	38.20	Tinggi	Tinggi	1041.82	Sedang	8
TTEC08	74.60	1.00	20.60	Tinggi	Tinggi	706.34	Rendah	6
TTEC09	32.53	0.40	47.33	Sedang	Tinggi	824.65	Rendah	5
TTEC10	16.07	0.67	46.07	Rendah	Tinggi	1131.00	Sedang	5
TTEC11	20.67	23.13	54.13	Sedang	Rendah	559.11	Rendah	2

Total biomassa ikan karang yaitu ikan target (herbivora dan karnivora) umumnya termasuk kategori rendah. Menurut Giyanto et al. (2017), bahwa kategori rendah (total biomassa ikan karang < 970 kg/ha), kategori sedang (970 kg/ha \leq total biomassa ikan karang ≤ 1940 kg/ha) dan kategori tinggi (total biomassa ikan karang > 1940 kg/ha). Total biomassa ikan karang berkisar antara 559,11-1131,00 kg/ha (Tabel 6). Biomassa ikan karang di setiap stasiun berbeda dan bernilai kecil dikarenakan maraknya penangkapan ikan karang di kawasan ini. Selain itu perbedaan substrat dasar dan persentase tutupan karang hidup diduga menjadi penyebab berbeda pula kelimpahan dan biomassa ikan karang. Menurut Setiawan et al. (2016), bahwa faktor yang mempengaruhi perbedaan

biomassa ikan karang adalah kondisi substrat dan ketersediaan sumber makanan karena berdampak terhadap ukuran dan bobot ikan. Sejumlah besar spesies ikan yang ditemukan pada ekosistem terumbu karang adalah refleksi langsung dari besarnya kesempatan yang diberikan oleh habitat terumbu karang (Allen et al., 2003).

Indeks kesehatan terumbu karang berdasarkan parameter komponen bentik (faktor kondisi terkini dan faktor tingkat resiliensi) dan komponen ikan karang diperoleh nilai indeksnya 2, 5, 6, 7 dan 8 (Tabel 7 dan Gambar 6.b). Indeks kesehatan karang terendah dengan nilai 2 dijumpai pada stasiun TTEC11 yang menunjukkan persentase tutupan karang hidup sedang, tingkat resiliensi rendah dan nilai biomassa ikan rendah. Indeks

kesehatan karang tertinggi dengan nilai 8 dijumpai pada stasiun TTEC07 yang menunjukkan persentase tutupan karang hidup tinggi, tingkat resiliensi tinggi dan nilai biomassa ikan sedang. Nilai indeks kesehatan terumbu karang pada penelitian ini cukup tinggi yaitu 2 sampai 8, jika dibandingkan indeks kesehatan terumbu karang di Taman Wisata Perairan (TWP) Selat Bunga Laut, Kepulauan Mentawai dengan nilai indeksnya 3 sampai 6 (Suparno et al., 2021). Nilai indeks kesehatan karang yang didapat umumnya menunjukkan tutupan karang hidup sedang, tingkat resiliensi tinggi dan nilai biomassa ikan rendah. Sesuatu yang menarik ditemukan stasiun TTEC10, dimana nilai persentase tutupan karang hidupnya (16.07%) masuk kategori rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya, namun memiliki nilai resiliensi yang tinggi dan didukung dengan kehadiran ikan karang yang masuk kategori sedang. Hal ini akan memungkinkan kondisi terumbu karang di stasiun TTEC10 mengalami pemulihan yang tidak terlalu lama secara alamiah, tanpa adanya gangguan lingkungan, organisme perusak maupun aktivitas yang merusak seperti bom ikan, penggunaan potasium sianida untuk menangkap ikan, sampah plastik dan limbah lainnya.

KESIMPULAN

Klasifikasi habitat bentik menggunakan citra Landsat 8 dan analisis indeks kesehatan dapat memberikan informasi terkini mengenai kondisi terumbu karang. Luas tutupan habitat karang hasil klasifikasi 302,12 ha atau 26,21% dari total luas terumbu karang. Tutupan karang hidup dengan nilai 16,07-74,60%; tutupan fleshy seaweed/FS (0,00-1,00), kecuali stasiun TTEC11 mencapai 23,13% yang mengakibatkan tingkat resiliensi terumbu karang rendah; dan tutupan pecahan karang mati (*rubble*) antara 20,60-54,13% serta biomassa ikan karang 559,11-1131,00 kg/ha. Indeks kesehatan terumbu karang adalah 2, 5, 6, 7 dan 8; nilai indeks 8 menunjukkan persentase tutupan karang hidup tinggi, tingkat

resiliensi tinggi dan nilai biomassa ikan sedang. Nilai indeks kesehatan terumbu karang 2 menunjukkan persentase tutupan karang hidup sedang, tingkat resiliensi rendah dan nilai biomassa ikan rendah. Secara umum nilai indeks kesehatan terumbu karang menunjukkan tutupan karang hidup sedang, tingkat resiliensi tinggi dan nilai biomassa ikan rendah. Kondisi karang yang agak sehat (sedang) tetapi memiliki potensi yang tinggi untuk pulih dari gangguan akan memperoleh kondisi yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, A., V. P. Siregar, dan S. B. Agus. 2016. ScienceDirect The 2nd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite for Food Security and Environmental. The effect of sunglint on benthic habitats mapping in Pari Island using worldview-2 imagery. *Procedia Environmental Sciences* 33:487–495.
- Agus S.B. 2012. Kajian Konektivitas Habitat Ontogeni Ikan Terumbu Menggunakan Pemodelan Geospasial di Perairan Kepulauan Seribu [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Alino, P.M., Viva Banzon, P., Yap. H.T., Gomez, E.D., Morales. J.T., Bayoneto, R.P. 1985. Recovery and recolonization on a damaged backreef area at Cangaluyan Island [Northern Philippines]. *Proc 5th Int. Coral Reef Congr. Tahit* 41, p. 279-284.
- Allen G.L., R. Steene and P. Humann. 2003. Reef fish identification tropical pacific. Florida USA: New World Publication Inc, Jacksonville.
- Badan Informasi Geospasial (BIG). 2014. Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal. Jakarta, Indonesia.
- Burke, L., E. Selig and M. Spalding. 2002. Reefs at Risks in Southeast Asia. World Resource Institute, Washington DC, USA.44 pp.

- Burke, L., K. Reytar, M. Spalding and A. Perry. 2012. Reefs at Risk Revisited in the Coral Triangle. World Resources Institute. Washington.
- Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman hayati laut: Aset pembangunan berkelanjutan Indonesia. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Green E.P. 2000. Satellite and airborne sensors useful in coastal applications. In: *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. (AJ Esward ed.): 41-56, UNESCO France.
- Giyanto, B.H., Iskandar, D., Soedharma and Suharsono. 2010. Efisiensi dan akurasi pada proses analisis foto bawah air untuk menilai kondisi terumbu karang. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 36(1): 111-130.
- Giyanto. 2012a. Ekosistem Pesisir Ternate, Tidore dan sekitarnya, Provinsi Maluku Utara. CRITC, Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta.
- Giyanto. 2012b. Kajian tentang panjang transek dan jarak antar pemotretan pada penggunaan metode transek foto bawah air. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 38(1): 1-18.
- Giyanto. 2012c. Penilaian kondisi terumbu karang dengan metode transek foto bawah air. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 38(3): 377-389.
- Giyanto, Mumby, P., Dhewani, N., Abrar, M., dan Iswari, M.Y. 2017. Indeks Kesehatan Terumbu Karang Indonesia. Jakarta: Coremap CTI Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI.
- Gomez, E.D., dan A.C. Alcala. 1978. Status of Philipina coral reef. Project, Int. Symp. Biogeogr. Evol. S. Hem. Auckland New Zealand, 17 - 20 July 1978. 2: 663-669.
- Hafizt, M., Iswaril, Y.M dan B. Prayudha. 2017. Kajian Metode Klasifikasi Citra Landsat-8 untuk Pemetaan Habitat Bentik di Kepulauan Padaido, Papua. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 2(1): 1–13.
- Hamylton, S.M. 2017. Mapping coral reef environments: A review of historical methods, recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 41(6), 803–833.
- Hedley, J.D., A.R. Harborne and P.J. Mumby. 2005. Simple and Robust Removal of Sun Glint for Mapping Shallow-Water Benthos. *International Journal of Remote Sensing*: 26(10):2107-2112.
- Hedley, J.D., C.M. Roelfsema., I. Chollett., A.R. Harborne., S.F. Heron., S. Weeks., W.J. Skirving., A.E. Strong., C.M. Eakin., T.R.L. Christensen., V. Ticzon., S. Bejerano dan P.J. Mumby. 2016. Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: a review. *Remote Sensing*, 8:118–157.
- Hochberg E.J. dan M.J. Atkinson. 2003. Capabilities Of Remote Sensors To Classify Corals, Algae And Sand As Pure And Mixed Spectra. *Remote Sensing of Environment* 85:174189.
- Kay, S., J.D. Hedley dan S. Lavender. 2009. Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution Images of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and NearInfrared Wavelengths. *Remote Sensing* 1(4):697–730.
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). 2014. Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal. (Suyarso ed). Coremap, P2O-LIPI, Jakarta.
- Lyzenga, D.R. 1978. Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features, *Applied 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. *International Journal Remote Sensing*, 2 pp. 71-82.
- Luthfi, O.M. dan I.H. Januarsa. 2018. Identifikasi Organisme Kompetitor Terumbu Karang di Perairan Pantai Putri Menjangan, Buleleng Bali. *Jurnal Kelautan*, 11:24-30. doi : 10.21107/jk.v11i1.2073
- Mumby P.J., Green E.P., Clark C.D. and A.J. Edwards. 1998. Digital Analysis

- of Multispectral Airbone Imagery of Coral Reefs. *Coral Reefs* 17:59-69.
- Mumby P.J., W.O. Skirving., A.E. Strong., J.T. Hardy., E.F. LeDrew., E.J. Hochberg., R.P. Sumpf dan L.T. David. 2004. Remote sensing of coral reef and their physical environment, *Marine pollution bulletin* 48(3-4):219-228.
- Nystrom, N and C. Folke. 2001. Spatial Resilience of Coral Reefs. *Ecosystems*, 4:406-417.
- Prawoto, C.D. dan Hartono. 2018. Pemetaan habitat bentik dengan citra multispektral Sentinel-2A di perairan Pulau Menjangan Kecil dan Menjangan Besar, kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Bumi Indonesia* 7(3):2-8
- Prayudha, B. 2012. Pemetaan sumberdaya pesisir melalui teknologi penginderaan jauh di perairan Ternate, Tidore dan sekitarnya. Dalam: *Eksosietm pesisir Ternate, Tidore dan sekitarnya*, Provinsi Maluku Utara (Giyanto, ed). Coremap, P2O-LIPI, Jakarta: 7-18.
- Prayudha B. 2014. Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal. Page Suyarso, editor. COREMAP CTI LIPI, Jakarta.
- Rosesmyth, M. C. 1984. Growth and survival of sexually produced *Acropora* recruits: A posthurricane study at Discovery Bay, Jamaica. *Advances in reef science*, University of Miami, Florida, 105-106.
- Setiawan F, S. Tasidjawa., E. Wantah dan H. Johanis. 2016. Biodiversitas ikan karang di Daerah Perlindungan Laut Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 8(1) 57-71.
- Siregar, V. 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.
- Suhartini, S,R., K. Wibowo., I.N. Edrus dan Fahmi. 2017. Panduan Pemantauan Ikan Terumbu Karang. Jakarta: Coremap CTI Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI.
- Suparno., Y. Efendi., A. Arlius., M. Eriza., B. Bukhari., S. Samsuardi., Y. Yennafri dan M.Y. Arafat. 2021. Penilaian Indeks Kesehatan Terumbu Karang di Taman Wisata Perairan (TWP) Selat Bunga Laut, Kabupaten Kepulauan Mentawai. *Jurnal Kelautan Tropis* 24(1):71-80.
- Suyarso. 2019. Teknik Eksplorasi Sumber Daya Pesisir (Terumbu Karang dan Mangrove) Berbasis Geospasial. Penerbit ANDI: Yogyakarta.
- Van Moorsel, G. W. N. M. 1988. Early maximum growth of stony corals(*Scleractinia*) after settlement on artificial substrata on a Caribbean reef. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 50(1), 127135.