

KLASIFIKASI HABITAT BENTIK PERAIRAN LAUT DANGKAL DI PULAU BARRANG CADDI DENGAN PENDEKATAN OBIA MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 DAN SPOT-7 DENGAN PENERAPAN ALGORITMA BAYESIAN DAN K-NEAREST NEIGHBOR

(Classification of Shallow Water Benthic Habitat in Barrang Caddi Island with OBIA Approach using Sentinel-2 and SPOT-7 Satellite Images with Bayesian and K-Nearest Neighbor Algorithm)

Indah Kartika¹, Vincentius Paulus Siregar², James P Panjaitan², Nurjannah Nurdin³

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana-IPB, Bogor 16680, Indonesia

²Departemen Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan-IPB, Bogor 16680, Indonesia

³Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, 90245, Indonesia

E-mail: vincentius@apps.ipb.ac.id

Diterima: 13 April 2022; Direvisi: 20 Juni 2022; Disetujui untuk Dipublikasikan: 07 Oktober 2022

ABSTRAK

Penelitian terkait pemetaan habitat benthik perairan laut dangkal telah banyak dilakukan. Namun, masih terdapat beberapa lokasi penting di Indonesia yang hingga saat ini belum dilakukan pemetaan benthiknya dengan menggunakan teknologi terbaru, sehingga pembaharuan data habitat benthik masih perlu dilakukan. Algoritma-algoritma klasifikasi yang telah dikembangkan dalam pemetaan masih perlu dikaji karena setiap wilayah perairan memiliki karakteristik yang berbeda. Kajian ini bertujuan untuk menguji performa algoritma Bayesian dan K-Nearest Neighbour (K-NN) dengan pendekatan berbasis objek (*Object-Based Image Analysis/OBIA*) dalam mengklasifikasi habitat benthik perairan laut dangkal baik dengan dan tanpa penerapan algoritma *Depth Invariant Index* (DII). Penelitian ini dilaksanakan di perairan Pulau Barrang Caddi, Kepulauan Spermonde. Citra SPOT-7 dan Sentinel-2 dengan masing-masing resolusi spasial 6 x 6 m² dan 10 x 10 m² digunakan pada penelitian ini yang diakuisisi pada tanggal 10 Agustus 2021 dan 1 Oktober 2021. Skala segmentasi yang digunakan pada level 1 yaitu 20 dan level 2 dengan skala 10. Algoritma Bayesian dan K-NN digunakan dalam proses klasifikasi level 2. Skema klasifikasi yang digunakan yaitu sebanyak 7 kelas. Tingkat akurasi yang tertinggi pada penelitian ini dihasilkan dari algoritma Bayesian dengan menggunakan citra SPOT-7 tanpa penerapan algoritma DII yaitu sebesar 61.8%.

Kata kunci: habitat benthik, OBIA, pemetaan, Sentinel-2, SPOT-7,

ABSTRACT

Research related to the mapping of shallow marine benthic habitats has been carried out. However, there are still a number of important locations in Indonesia for which benthic mapping has not been carried out using renewable technology, so data updates on benthic habitats still need to be done. Classification algorithms that have been developed in mapping still need to be studied because each water area has different characteristics. This study aims to examine the performance of the Bayesian and K-Nearest Neighbor (K-NN) algorithms with an object-based approach (OBIA) in classifying shallow marine benthic habitats both with and without the application of the *Depth Invariant Index* (DII) algorithm. This research was conducted in Barrang Caddi Island, Spermonde Islands waters SPOT-7 and Sentinel-2 images with spatial resolutions of 6 x 6 m² and 10 x 10 m² were used in this research, acquired on 2021 August 10 and 2021 October 1, respectively. The segmentation scale used at level 1 is 20, and at level 2 is 10. Bayesian and K-NN algorithms are used in the level 2 classification process. The classification scheme used is as many as seven classes. The highest level of accuracy in this study resulted from the Bayesian algorithm using SPOT-7 images without the application of the DII algorithm, which was 61.8%.

Keywords: benthic habitat, OBIA, mapping, Sentinel-2, SPOT-7

PENDAHULUAN

Habitat benthik adalah area dasar laut yang berbeda secara fisik yang terkait dengan keberadaan spesies tertentu (Harris & Baker, 2012). Habitat benthik merupakan suatu kelompok spesies atau komunitas yang bertempat di dasar perairan dan saling mempengaruhi satu sama lain (Blaschke et al., 2014). Pemahaman yang lebih luas tentang distribusi, luas dan status atau

kualitas habitat laut diperlukan untuk menunjang upaya penilaian kondisi dan perlindungan lingkungan laut. Dengan demikian, informasi tentang habitat benthik perairan laut dangkal juga memiliki peran utama dalam peningkatan perencanaan spasial dan strategis manusia (Connor et al., 2004).

Pemetaan habitat benthik melalui pendekatan penginderaan jauh dewasa ini cukup menantang dan terus berkembang dalam hal peningkatan

tingkat akurasi hasil klasifikasi. Pengembangan algoritma klasifikasi masih terus dilakukan dengan memperhatikan aspek piksel, objek, lingkungan, bentuk serta aspek spasial lainnya (Ilyas et al., 2020; Phinn, et al., 2012; Sangadji et al., 2018).

Penerapan algoritma yang dikembangkan memiliki hasil yang berbeda-beda tergantung dari lokasi, jumlah kelas yang dibangun, nilai input dan jenis citra yang digunakan dalam hal ini mencakup resolusi spasial dan resolusi radiometrik (Mastu et al., 2018; Sabilah et al., 2021; Wahidin et al., 2015). Lucas & Goodman (2015) menyatakan bahwa sebagian besar habitat bentik sulit untuk dibedakan berdasarkan spektralnya karena memiliki pigmentasi yang serupa, dan dengan adanya faktor atenuasi kolom perairan yang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian Nurdin et al., (2015) yang menyatakan bahwa terdapat kemiripan nilai reflektansi spektral antara karang hidup dan karang mati yang ditutupi alga yang dimana kedua objek tersebut memiliki kandungan pigmen yang hampir serupa.

Penerapan algoritma *machine learning* telah banyak dilakukan dalam upaya klasifikasi habitat bentik baik dengan pendekatan berbasis piksel maupun berbasis objek. Kurniawati et al. (2020) dalam penelitiannya menguji beberapa algoritma klasifikasi menggunakan Citra Sentinel-2B dengan pendekatan berbasis objek dalam memetakan habitat perairan dangkal dan menemukan hasil klasifikasi dengan metode Decision Tree (DT) memiliki tingkat akurasi sebesar 68.08% dan algoritma K-NN sebesar 59%. Wahidin et al. (2015) menerapkan algoritma klasifikasi dengan pendekatan berbasis objek (OBIA) dalam memetakan habitat terumbu karang menggunakan Citra Landsat-8 OLI dan menemukan hasil klasifikasi algoritma K-NN memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi (67%) dibandingkan dengan algoritma Bayesian (66%).

Keberhasilan pemetaan habitat bentik tergantung pada kondisi perairan suatu lokasi. Perbedaan karakteristik perairan di beberapa lokasi kajian tertentu digambarkan melalui nilai rasio koefisien atenuasi yang diperoleh dari masing-masing citra yang digunakan pada penelitian terdahulu. Mastu et al. (2018) dalam penelitiannya menerapkan beberapa algoritma klasifikasi berbasis objek untuk memetakan habitat bentik hanya dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2 dan mendapatkan nilai rasio koefisien atenuasi sebesar 0,67 serta hasil klasifikasi dengan algoritma SVM memiliki nilai akurasi yang tertinggi (64,1%) dan diikuti oleh algoritma K-NN dan Bayes (40%-50%). Adapun Ilyas et al. (2020) memperoleh nilai rasio koefisien atenuasi sebesar 0,53 dan mendapatkan hasil yang berbeda, dimana dalam penelitiannya yang memetakan ekosistem padang lamun menggunakan berbagai algoritma klasifikasi berbasis objek dan piksel, menunjukkan bahwa hasil klasifikasi dengan algoritma Bayes memiliki tingkat akurasi yang lebih

tinggi (87,41%) dibandingkan dengan algoritma K-NN (84,61%). Dwikarsa & Basith (2021) melakukan klasifikasi habitat bentik menggunakan klasifikasi berbasis objek dengan menerapkan algoritma SVM, Bayesian dan K-NN dan menemukan bahwa performa algoritma SVM memiliki tingkat akurasi yang tertinggi (96,17%) dan diikuti oleh algoritma K-NN (87,90%) dan Bayes (81,08%).

Penelitian terkait pemetaan habitat bentik perairan laut dangkal telah banyak dilakukan. Namun, masih terdapat beberapa lokasi penting di Indonesia yang hingga saat ini belum dilakukan pemetaan bentiknya dengan menggunakan teknologi terbaru, sehingga pembaharuan data akan habitat bentik masih perlu dilakukan. Pemetaan habitat bentik di perairan laut dangkal Pulau Barrang Caddi telah dilakukan. Namun demikian, masih sedikit riset yang melakukan perbandingan penggunaan algoritma klasifikasi dan lebih berfokus pada monitoring ekosistem dan eksplorasi karakteristik spektral objek habitat bentik (Nurdin et al., 2016; 2019).

Selain itu, algoritma-algoritma klasifikasi yang telah dikembangkan masih perlu diuji karena setiap daerah khususnya wilayah perairan yang berbeda akan menghasilkan performa yang berbeda pula. Perbedaan karakteristik perairan di beberapa lokasi kajian tertentu digambarkan melalui nilai rasio koefisien atenuasi yang diperoleh dari masing-masing citra yang digunakan. Algoritma Bayesian dan K-NN yang telah digunakan pada penelitian terdahulu belum menunjukkan pola tingkat akurasi yang stabil hingga saat ini (**Tabel 1**), maka dirasa perlu dilakukan penelitian yang membandingkan performa beberapa algoritma yang masih jarang digunakan khususnya dalam pemetaan habitat bentik.

Tabel 1. Penelitian terdahulu yang menggunakan algoritma Bayesian dan K-NN untuk pemetaan habitat bentik.

Peneliti (Tahun)	Citra	Jumlah Kelas	Overall Accuracy
Ilyas et al. (2020)	SPOT-7	3 & 4	56%-70.3%
Dwikarsa & Basith (2021)	UAV	6	72.2%-80.39%
Kurniawati et al (2020)	Worldview-2 & Sentinel-2	8	59%, 67%, 71%, 72%
Mastu et al. (2018)	Sentinel-2	12 & 9	40%-50%
Sari et al. (2020)	Sentinel-2	4	37.25%, 60.78%
Hossain et al. (2019)	Quickbird	4	43.45%, 88.69%

Dalam penginderaan jauh, faktor resolusi spasial dijadikan faktor untuk mengetahui tingkat keakuratan yang mana yang lebih baik dalam memetakan habitat bentik dengan jumlah kelas tertentu. Berdasarkan penelitian yang telah ada sebelumnya, citra resolusi menengah dan tinggi dalam hal ini adalah Citra Sentinel-2 dan SPOT-7

telah menunjukkan hasil yang cukup baik dalam memetakan habitat bentik. Selain pemilihan algoritma dan jenis data citra, faktor kedalaman kolom air juga berpengaruh terhadap citra satelit dalam mendeteksi objek bawah air, sehingga perlu dilakukan koreksi kolom air.

Lyzenga (1978) berpendapat bahwa adanya pengaruh pada lapisan permukaan air variasi kedalaman perairan menyebabkan objek dasar perairan menjadi tidak mudah untuk dibedakan berdasarkan perbedaan warnanya. Hal ini disebabkan adanya proses absorpsi dan hamburan energi yang masuk ke kolom perairan, yang kemudian disebut sebagai proses atenuasi. Sehingga, nilai pantulan objek dasar perairan tidak sepenuhnya dikembalikan ke sensor satelit. Namun, pengaruh tersebut dapat diminimalisir jika karakteristik perairan suatu lokasi kajian diketahui, sehingga dapat diperoleh indeks pemisah kedalaman yang disebut *Depth Invariant Index* (DII).

Ketersediaan data citra satelit dan algoritma yang terus berkembang diharapkan dapat memberikan informasi dan gambaran suatu lokasi khususnya habitat bentik perairan laut dangkal dengan lebih akurat. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan hasil performa klasifikasi menggunakan metode berbasis objek lebih unggul dibanding dengan klasifikasi metode berbasis piksel. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji performa klasifikasi dengan menggunakan metode berbasis objek dengan menerapkan algoritma Bayesian dan K-NN dalam mengklasifikasi habitat bentik perairan laut dangkal baik dengan dan tanpa penerapan algoritma DII untuk koreksi kolom perairan.

METODE PENELITIAN

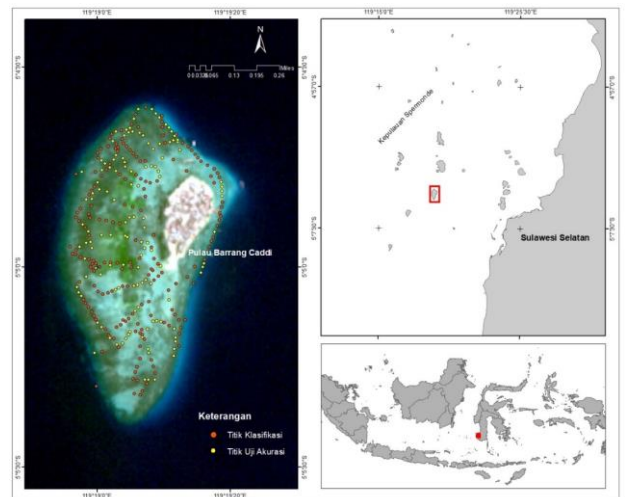
Penelitian ini dilakukan di Pulau Barrang Caddi Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan seperti disajikan pada **Gambar 1**. Gambar ini juga menunjukkan lokasi pengambilan data di lapangan (*ground truthing*), dimana titik warna merah menunjukkan titik klasifikasi dan titik warna kuning merupakan titik uji akurasi yang diambil pada saat *ground truthing*. Pengambilan data *ground truthing* dilakukan pada tanggal 15-18 Januari 2022. Analisis data citra satelit dilakukan di Laboratorium Informasi Geospasial Puslitbang Laut Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil LPPM Universitas Hasanuddin.

Peralatan yang digunakan pada *ground truthing* mencakup *Global Positioning System* (GPS), transek kuadrat berukuran 1x1 m², alat-tulis bawah air, kamera bawah air dan *secchi disk*. Data Citra SPOT-7 dengan resolusi spasial multispektral 6x6 m dan Citra Satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial multispektral 10x10 m digunakan pada penelitian ini dengan masing-masing akuisisi pada tanggal 10 Agustus 2021 dan 1 Oktober 2021 (**Tabel 2**).

Sebelum dilakukan pengambilan data di lapangan, terlebih dahulu dibuat perencanaan

untuk menentukan lokasi pengamatan dengan membuat peta hasil *unsupervised classification* dari citra satelit sebagai orientasi lapangan. Berdasarkan peta hasil klasifikasi *unsupervised* tersebut, pemilihan titik lokasi pengamatan dilakukan dengan metode *systematic random sampling*. Pengambilan data habitat bentik dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual dan dikombinasikan dengan menggunakan teknik foto transek kuadrat dengan ukuran kuadran 1x1m².

Teknik foto transek dilakukan agar memudahkan dalam proses pengidentifikasian dan perhitungan tutupan objek yang berada dalam *frame* transek kuadrat. Teknik foto transek diterapkan pada beberapa titik dengan komposisi objek habitat bentik yang dianggap representatif. Selain itu, pendataan titik-titik pengamatan lainnya serta pembuatan skema klasifikasi dilakukan secara langsung atau "*rapid mobile*" yang mengacu pada prinsip "penutupan lahan dominan" untuk membuat klasifikasi di masing-masing daerah pengamatan kelas habitat bentik yang dianggap representatif pada kisaran kedalaman 1-5 m (Siregar, 2010).



Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik *ground truthing* di Pulau Barrang Caddi, Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan.

Tabel 2. Karakteristik band pada citra Sentinel-2 dan SPOT-7.

Band	Sentinel-2		SPOT-7	
	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)
Biru	458-523 (Band 2)	10	450-525 (Band 0)	6
Hijau	543-578 (Band 3)	10	530-590 (Band 1)	6
Merah	650-680 (Band 4)	10	625-695 (Band 2)	6
NIR	785-900 (Band 5)	10	760-890 (Band 3)	6

Titik-titik *ground truthing* yang tersebar pada habitat bentik perairan laut dangkal di Pulau Barrang Caddi terdiri dari titik pengamatan untuk

input klasifikasi dan titik pengamatan untuk uji akurasi. Jumlah titik *ground truthing* keseluruhan adalah sebanyak 307 titik, yang kemudian dibagi menjadi 180 titik untuk input klasifikasi dan 127 titik untuk input uji akurasi. Selain itu, dilakukan pengukuran kecerahan perairan menggunakan *secchi disk* untuk mengetahui karakteristik optik perairan Pulau Barrang Caddi.

Pra-Pengolahan Citra

Proses pra-pengolahan citra yang dilakukan pada penelitian ini mencakup pemotongan citra, koreksi radiometrik, koreksi atmosferik, dan pemisahan darat dan laut (*masking*) citra. *Cropping* citra dilakukan untuk membatasi area tertentu pada citra sehingga hanya menampilkan area penelitian yakni perairan laut khususnya daerah habitat bentik di Pulau Barrang Caddi. Koreksi radiometrik pada penelitian ini menggunakan metode *Top of Atmospheric* (TOA) yang dilakukan dengan mengubah nilai *Digital Number* (DN) menjadi nilai spektral radian, kemudian mengubah nilai spektral radian menjadi nilai spektral reflektan. Kemudian dilakukan koreksi atmosferik terhadap Citra Sentinel-2 dan Citra SPOT-7 dengan menggunakan metode *Dark Object Subtraction* (DOS). Setelah itu, dilakukan proses *masking* untuk memisahkan darat dan perairan agar nilai digital daratan menjadi 0 (nol) dan hanya menampilkan nilai digital daerah perairan laut saja.

Koreksi kolom perairan dilakukan untuk meminimalisir efek kedalaman dan kolom air terhadap nilai pantulan substrat dasar sehingga dapat menghasilkan kualitas citra yang lebih baik (Jaelani et al., 2015). Metode yang umum digunakan dalam proses koreksi kolom perairan adalah *Depth Invariant Index* (DII) yang telah dikembangkan oleh (Lyzenga, 1981). Proses ini memanfaatkan dan menggabungkan dua kanal sinar tampak yakni kanal biru dan kanal hijau (B1-B2) dari masing-masing citra yang digunakan. Koreksi kolom perairan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi linear yang terbentuk dari hasil kombinasi kedua kanal sinar tampak, dengan adanya nilai rasio koefisien atenuasi (ki/kj) seperti **Persamaan (1)**.

$$DII = \ln(Bi) - [(ki/kj) * \ln(Bj)] \dots\dots\dots(1)$$

dimana, Bi adalah nilai reflektansi kanal i, Bj adalah nilai reflektansi kanal j, dan Ki/Kj adalah nilai rasio koefisien atenuasi (D. Lyzenga, 1981). Pasangan band yang digunakan dalam penelitian ini yakni band 2/3 (biru-hijau). Nilai rasio koefisien atenuasi (ki/kj) yang didapatkan pada masing-masing citra terlihat pada **Tabel 3**. Nilai koefisien atenuasi pada masing-masing citra (Sentinel-2 dan SPOT-7) selanjutnya digunakan sebagai input data *feature* dalam proses klasifikasi habitat bentik perairan laut dangkal berbasis objek dengan metode Bayesian dan K-NN.

Tabel 3. Rasio koefisien atenuasi (ki/kj) pasangan band sinar tampak Citra Sentinel-2 dan SPOT-7.

Citra	Pasangan Band	Rasio Koefisien Atenuasi (ki/kj)
Sentinel-2	2/3 (biru-hijau)	0.703070
SPOT-7	0/1 (biru-hijau)	0.546945

Klasifikasi

Pembuatan skema klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada prinsip habitat bentik yang dominan (Siregar, 2010). Selain itu, penamaan komponen penyusun habitat bentik pada penelitian ini mengacu pada kelas habitat bentik yang dibangun oleh Prabowo et al. (2018), juga disesuaikan dengan komposisi yang tutupan habitat bentik dominan yang seluruhnya dibangun oleh satu atau beberapa komponen habitat bentik perairan laut dangkal yang ditemukan di lokasi penelitian (Mastu et al., 2018). Komponen penyusun habitat bentik di Pulau Barrang Caddi mencakup Karang Hidup, Karang Hidup + *Rubble*, *Rubble*, Pasir + *Rubble*, Pasir + Lamun, Pasir, dan Makro Alga. Selanjutnya, kelas yang dibangun diklasifikasi menggunakan algoritma klasifikasi Bayesian dan K-NN pada masing-masing citra. Secara umum, tahapan dalam proses klasifikasi dengan menggunakan metode OBIA dibagi atas dua tahap yaitu segmentasi citra dan klasifikasi citra yang telah melalui proses segmentasi.

Bayesian classifier merupakan metode klasifikasi yang menggunakan prinsip probabilitas bersyarat. Algoritma ini dapat memprediksi suatu objek akan dimasukkan ke kelas tertentu dengan mempelajari kejadian sebelumnya dalam hal ini adalah *training data* (Ahmed et al., 2014). Metode ini bertujuan untuk menghitung probabilitas dimana objek dikelompokkan ke dalam suatu kelas berdasarkan kriteria yang ada. Metode klasifikasi K-NN merupakan suatu metode klasifikasi yang bekerja berdasarkan jarak terdekat antara *query instance* dengan *data training*. Algoritma ini menggunakan parameter k dimana k adalah jumlah tetangga paling dekat. Nilai input k yang digunakan pada penelitian ini adalah 7. Penetapan nilai input pada *hyperparameter* algoritma yang digunakan didasarkan pada percobaan *trial and error* untuk mendapatkan gambaran distribusi habitat bentik yang dianggap representatif.

Segmentasi

Segmentasi merupakan tahap awal dalam proses klasifikasi berbasis objek dengan konsep kerja membentuk segmen dari piksel-piksel citra menjadi satu segmen atau objek yang sama (Navulur, 2006). Proses segmentasi menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* (MRS) terdiri dari tiga parameter penting yakni *shape* (bentuk), *compactness* (kekompakan), dan *scale* (skala) (Ready, 2014). Pada penelitian ini, proses segmentasi dilakukan pada dua tingkatan yakni

level 1 (*reef scale*) dan level 2 (*benthic scale*). Proses segmentasi citra yang diterapkan pada kedua level tersebut masing-masing memiliki komponen di dalamnya. Pada level 1 (*reef scale*), segmen terdiri dari objek terumbu dan bukan terumbu (darat, perairan dangkal, dan laut dalam) dengan nilai skala yang digunakan yaitu 20 untuk masing-masing citra (Sentinel-2 dan SPOT-7). Sedangkan segmentasi pada level 2 (*benthic scale*) dibangun dengan menggunakan hasil segmentasi dari level 1 dan membagi komponen di dalamnya yang terdiri dari beberapa objek habitat benthik perairan laut dangkal. Skala yang digunakan pada proses segmentasi level 2 yaitu 10 untuk masing-masing citra (Sentinel-2 dan SPOT-7). Nilai input untuk parameter *shape* yakni 0,1 dan 0,5 untuk input parameter *compactness*. Tidak ada ketentuan yang pasti mengenai nilai skala yang dijadikan sebagai *input setting* pada proses segmentasi. Hasil dari proses segmentasi bergantung pada resolusi spasial dan radiometrik citra, serta luasan *area of interest* (Mastu et al., 2018).

Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra Sentinel-2 dan SPOT-7 pada level 1 menggunakan metode *contextual editing* dan penerapan algoritma klasifikasi *supervised* pada level 2. Klasifikasi pada level 1 menggunakan fitur *assign class* dengan adanya nilai *threshold* (batas nilai) agar dapat membentuk kelas-kelas sesuai dengan rentang nilai objek yang diinginkan. Nilai *threshold* didapatkan dari hasil penerapan algoritma NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) yang digunakan untuk mengekstrak fitur darat, sehingga dapat dieliminasi nilai-nilai minimum dan optimum untuk fitur perairan dangkal dan laut dalam.

Klasifikasi level 2 menggunakan fitur *classifier* dengan menerapkan algoritma klasifikasi yakni Bayesian dan K-NN dengan inputan data *sampling ground truthing* berupa titik klasifikasi sebagai *training sample* untuk proses klasifikasi habitat benthik perairan laut dangkal. Formula dari algoritma Bayesian dan K-NN yang digunakan masing-masing dituliskan dengan **Persamaan (2)** dan **(3)**.

$$P(C_i|X) = \frac{P(X|C_i)P(C_i)}{P(X)} \dots\dots\dots(2)$$

dimana, $P(C_i|X)$ adalah probabilitas kemunculan kelas C_i , X adalah kriteria suatu kasus berdasarkan inputan, C_i adalah kelas solusi pola ke- i dengan I adalah jumlah kelas, $P(X)$ adalah probabilitas X , dan $P C_i$ adalah probabilitas kelas C_i Bayes (Han et al., 2011).

$$d(p,q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2} \dots\dots\dots(3)$$

dimana, d adalah jarak antara sampel p dan q , q adalah nilai piksel q , dan p adalah nilai piksel p K-NN (Wei et al., 2005).

Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan pada semua hasil klasifikasi citra dengan menjadikan hasil data *ground truthing* sebagai acuannya. Tujuan dari uji akurasi adalah untuk mengetahui tingkat keakuratan dari hasil klasifikasi citra yang divalidasi kebenarannya di lapangan. Untuk mendapatkan nilai akurasi, digunakan matriks error yang parameter ujiannya terdiri dari *User Accuracy* (UA), *Producer Accuracy* (PA), dan *Overall Accuracy* (OA), *Kappa Statistic*, dan *Z-test*, sesuai dengan **Persamaan (4)**, **(5)** dan **(6)**.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \dots\dots\dots(4)$$

$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \dots\dots\dots(5)$$

$$PA = \frac{n_{ii}}{n_{+j}} \dots\dots\dots(6)$$

dimana, k adalah jumlah baris pada matriks, n adalah jumlah pengamatan, n_{ii} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke- i dan baris ke- i , dan n_{ij} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke- j dan baris ke- j (Congalton & Green, 2009).

Selain menghitung tingkat akurasi hasil klasifikasi citra, dilakukan perhitungan nilai koefisien Kappa untuk mengetahui nilai keamatan antara hasil klasifikasi citra satelit dengan data *ground truthing*. Nilai koefisien Kappa dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (7)**.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \dots\dots\dots(7)$$

dimana, k adalah jumlah baris pada matriks, n_{ii} adalah jumlah pengamatan pada baris i dan kolom i , n_{i+} dan n_{+i} adalah total margin baris i dan kolom i , N adalah jumlah pengamatan secara keseluruhan. Nilai koefisien Kappa yang didapatkan merupakan penilaian seberapa besar pengurangan tingkat kesalahan dalam klasifikasi acak (Green et al, 2000).

Selanjutnya dilakukan uji signifikansi Z antara hasil klasifikasi dengan berbagai perlakuan, dan antar berbagai algoritma. Uji signifikan Z (*Z-test*) ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata antar perlakuan yang berbeda tersebut. *Z-test* dihitung dengan **Persamaan (8)**.

$$z = \frac{k_1}{\sqrt{\text{var}(k_1)}} \dots\dots\dots(8)$$

dimana, k_1 adalah estimasi Kappa statistik dan $\text{var } k_1$ adalah estimasi varian sebagai hasil hitungan yang tepat.

Error matrix dari hasil klasifikasi dengan metode yang berbeda, dilakukan uji statistik dengan menggunakan uji Z (*Z-test*) melalui **Persamaan (9)**.

$$z = \frac{k_1 - k_2}{\sqrt{\text{var}k_1 + \text{var}k_2}} \dots\dots\dots(9)$$

dimana, Z adalah nilai standarisasi dan distribusi normal koefisien Kappa. k_1 dan k_2 adalah perhitungan kapa statistik dari masing-masing

matriks kesalahan dengan hipotesis $H_0 : (k_1 - k_2) = 0$, $H_1 : (k_1 - k_2) \neq 0$, dan H_0 ditolak jika $Z \geq Z_{\alpha/2}$. Dengan tingkat kepercayaan 95%, jika nilai hasil Z-test lebih besar dari 1,96, maka hasilnya adalah signifikan berbeda (Congalton & Green, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan di lapangan didapatkan sebanyak 7 kelas yang dominan diantaranya adalah Karang Hidup, *Rubble*, Makro Alga, Pasir, Pasir + Lamun, Pasir + *Rubble*, dan Karang Hidup + *Rubble*. Dari hasil pengamatan tersebut, dibangun 7 kelas yang sama dalam proses klasifikasi berbasis objek menggunakan algoritma Bayesian dan K-NN.

Selain pendataan objek komponen habitat benthik perairan laut dangkal di Pulau Barrang Caddi, dilakukan pengukuran kecerahan perairan untuk mengetahui tingkat kecerahan perairan menggunakan *secchi disk*. Nilai hasil pengukuran kecerahan perairan di Pulau Barrang Caddi disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Tingkat kedalaman *secchi disk* di perairan Pulau Barrang Caddi.

Stasiun	Kedalaman <i>Secchi Disk</i> (m)
1	5
2	3
3	3
4	7
5	1,5

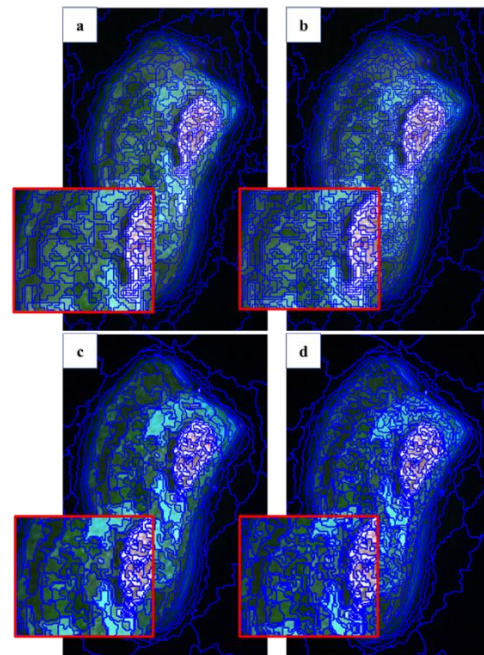
Tingkat kedalaman *secchi disk* di perairan laut dangkal Pulau Barrang Caddi yang dapat dilihat secara visual berkisar antara 1,5-7,0 m. Mengacu pada interpretasi kedalaman *secchi disk* oleh USAID (2012), perairan laut dangkal Pulau Barrang Caddi termasuk ke dalam kategori jernih (>60 cm kedalaman *secchi disk*).

Segmentasi

Perlakuan segmentasi yang diterapkan pada Citra Sentinel-2 dan SPOT-7 menggunakan skala segmentasi yang sama yakni skala 20 pada level 1 dan skala 10 pada level 2. Nilai inputan skala tersebut merupakan hasil *trial and error* agar mendapatkan hasil yang optimal dalam membagi segmen-segmen pada kedua citra khususnya fitur darat, perairan dangkal dan laut dalam. Nilai inputan masing-masing parameter dalam proses segmentasi tidak memiliki ketentuan baku, nilai yang diinput merupakan hasil *trial and error* pengguna sesuai dengan kebutuhan dalam mengklasifikasi objek atau kelas. *Output* yang dihasilkan dari proses segmentasi level 1 dan level 2 dapat dilihat pada **Gambar 2**.

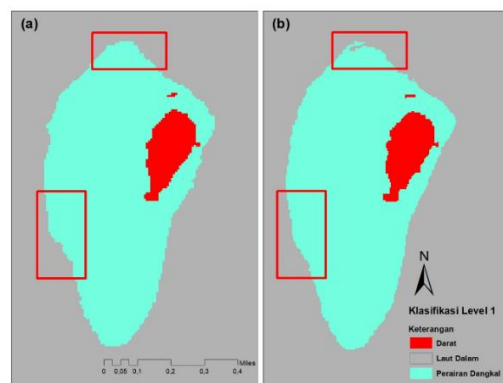
Berdasarkan hasil segmentasi level 1 di Pulau Barrang Caddi, masing-masing citra terbentuk tiga kelas yang serupa namun menghasilkan jumlah segmen/objek yang berbeda. Pada citra Sentinel-2, terhitung sebanyak 392 segmen, sedangkan

pada citra SPOT-7 terhitung sebanyak 282 segmen.



Gambar 2. Hasil segmentasi pada Citra Sentinel-2 (a) level 1 skala 20, (b) level 2 skala 10, dan citra SPOT-7 (c) level 1 skala 20, (d) level 2 skala 10.

Klasifikasi Level 1 (Reef Level)



Gambar 3. Hasil klasifikasi level 1 (*reef level*) terdiri dari darat, perairan dangkal, dan laut dalam (a) Citra Sentinel-2, dan (b) Citra SPOT-7.

Klasifikasi level 1 pada penelitian ini menghasilkan tiga kelas yakni darat, perairan dangkal dan laut dalam (**Gambar 3**). Berdasarkan hasil klasifikasi level 1, diperoleh luas kelas yang berbeda pada masing-masing citra. Pada citra Sentinel-2, terhitung luas kelas darat sebesar 6,63 ha, luas kelas perairan dangkal sebesar 69,25 ha, dan luas kelas laut dalam sebesar 379,08 ha, sedangkan pada citra SPOT-7 terhitung luas kelas darat sebesar 6,51 ha, luas kelas perairan dangkal sebesar 67,85 ha, dan luas kelas laut dalam sebesar 382,62 ha (**Tabel 5**). Sistem klasifikasi hirarki hasil segmentasi pada level 1 khususnya kelas perairan dangkal menjadi batasan area untuk proses segmentasi berikutnya (level 2) agar

terbentuk segmen-segmen baru yang hanya difokuskan pada area perairan dangkal.

Tabel 5. Luasan hasil klasifikasi level 1 Pulau Barrang Caddi.

No	Kelas	Citra (ha)	
		Sentinel-2	SPOT-7
1	Darat	6,63	6,52
2	Perairan Dangkal	69,25	67,85
3	Laut Dalam	379,08	382,62
Total		454,96	456,99

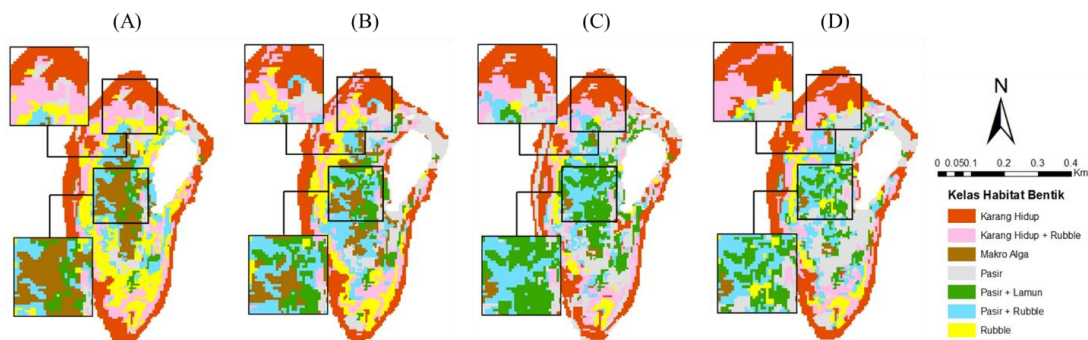
Klasifikasi Level 2 (Benthic Level)

Segmentasi level 2 difokuskan pada perairan dangkal sebagai batasan area. Pada segmen ini dilakukan pengklasifikasian terhadap tujuh objek habitat benthik yaitu Karang Hidup, *Rubble*, Makro Alga, Pasir, Pasir + Lamun, Pasir + *Rubble*, dan Karang Hidup + *Rubble*. Proses segmentasi level 2 menggunakan skala yang lebih kecil dibandingkan dengan skala yang digunakan pada proses segmentasi level 1, sehingga membentuk segmen-

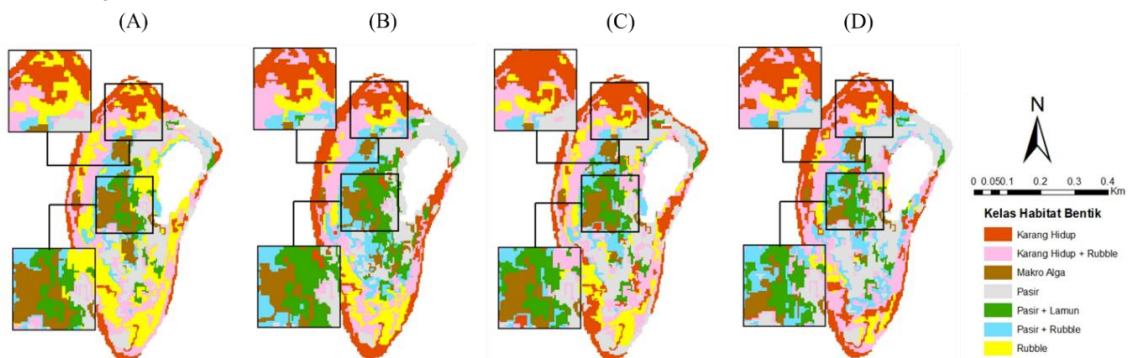
segmen yang lebih banyak dan detail dibanding segmen-segmen yang terbentuk di proses segmentasi level 1.

Segmen atau objek yang terbentuk selanjutnya diklasifikasi menggunakan algoritma klasifikasi terbimbing yakni Bayesian dan K-NN classifier. Inputan yang digunakan dalam proses ini adalah nilai layer *mean* dari *band* sinar tampak dengan perlakuan dan dengan penerapan algoritma DII pada masing-masing citra (Sentinel-2 dan SPOT-7). Hasil klasifikasi dari masing-masing algoritma klasifikasi dan masing-masing citra dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Pada citra Sentinel-2, terdapat perbedaan luas kelas habitat benthik antara pengaplikasian algoritma Bayesian dan K-NN. Hasil klasifikasi dengan algoritma Bayesian menunjukkan luas kelas terluas adalah karang hidup dengan penerapan algoritma DII yakni sebesar 18,72 ha, sedangkan hasil klasifikasi dengan algoritma K-NN menunjukkan luas kelas terluas adalah karang hidup tanpa penerapan algoritma DII yakni sebesar 19,56 ha dari total luasan keseluruhan perairan dangkal yaitu 70,14 ha.



Gambar 4. Hasil klasifikasi level 2 (*benthic level*) menggunakan algoritma Bayesian dan K-NN pada Citra Sentinel-2 dengan dan tanpa penerapan algoritma DII. (A) Bayesian dengan DII; (B) Bayesian tanpa DII; (C) K-NN dengan DII; (D) K-NN tanpa DII.



Gambar 5. Hasil klasifikasi level 2 (*benthic level*) menggunakan algoritma Bayesian dan K-NN pada Citra SPOT-7 dengan dan tanpa penerapan algoritma DII. (A) Bayesian dengan DII; (B) Bayesian tanpa DII; (C) K-NN dengan DII; (D) K-NN tanpa DII.

Hasil klasifikasi yang diperoleh dari citra Sentinel-2 dengan menggunakan algoritma Bayesian menunjukkan bahwa kelas Karang Hidup mendominasi area perairan laut dangkal Pulau Barrang Caddi baik dengan penerapan algoritma DII maupun tanpa penerapan algoritma DII. Hasil yang serupa, hasil klasifikasi yang diperoleh dengan menggunakan algoritma K-NN menunjukkan kelas karang hidup yang mendominasi area perairan dangkal di lokasi penelitian ini, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara umum, objek dominan yang dapat dideteksi oleh Citra Sentinel-2 di Pulau Barrang Caddi adalah karang hidup. Adapun perbedaan luasan kelas hasil klasifikasi dengan algoritma Bayesian dan K-NN pada Citra Sentinel-2 (**Tabel 6**).

Hasil klasifikasi yang diperoleh dari Citra Sentinel-2 menunjukkan adanya perbedaan luasan yang dihasilkan dari penggunaan algoritma Bayesian dan K-NN, dimana kelas karang hidup yang dikelompokkan oleh algoritma Bayesian memiliki selisih luasan sebesar 0,95 ha antar-penerapan algoritma DII. Berdasarkan hal tersebut, dapat terlihat bahwa pada penelitian ini, algoritma Bayesian lebih menampakkan kelas Karang Hidup lebih luas dengan penerapan algoritma DII pada citra Sentinel-2, namun cenderung memiliki luasan yang hampir sama pada kelas yang sama.

Hasil klasifikasi yang diperoleh dari Citra Sentinel-2 dengan penerapan algoritma K-NN menunjukkan kelas Karang Hidup memiliki selisih luasan sebesar 1,33 ha antar-penerapan algoritma DII. Berdasarkan hal tersebut, dapat dilihat bahwa hasil algoritma K-NN lebih cenderung menampakkan kelas Karang Hidup tanpa penerapan algoritma DII. Selain itu, makro alga baik dengan maupun tanpa penerapan algoritma DII cenderung memiliki luasan yang hampir sama dengan selisih luasan sebesar 0,26 ha.

Hasil klasifikasi Citra SPOT-7 menunjukkan perbedaan luasan perairan laut dangkal lebih rendah dibandingkan dengan Citra Sentinel-2 yakni sebesar 68,30 ha. Hasil klasifikasi pada Citra SPOT-7 dengan algoritma Bayesian menunjukkan luas kelas terluas adalah *Rubble* dengan penerapan algoritma DII yakni sebesar 16,89 ha, sedangkan hasil klasifikasi dengan algoritma K-NN menunjukkan luasan kelas terluas adalah Karang Hidup + *Rubble* tanpa penerapan algoritma DII yakni sebesar 18,29 ha. Luasan kelas hasil klasifikasi algoritma Bayesian dan K-NN pada Citra SPOT-7 dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Hasil klasifikasi yang diperoleh dari citra SPOT-7 menunjukkan terdapat perbedaan luasan kelas tertentu yang dihasilkan dari penggunaan algoritma Bayesian dan K-NN pada penelitian ini, dimana kelas *Rubble* yang dikelompokkan oleh algoritma Bayesian memiliki selisih luasan sebesar 9,15 ha antar-penerapan algoritma DII. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa dengan menggunakan Citra SPOT-7, algoritma Bayesian menampakkan kelas *Rubble* lebih luas

dengan penerapan algoritma DII dibandingkan pada hasil tanpa penerapan algoritma DII. Selain itu, kelas Pasir baik dengan maupun tanpa penerapan algoritma DII cenderung memiliki luasan yang hampir sama yaitu selisih luasan sebesar 0,01 ha.

Hasil yang berbeda diperoleh dari hasil klasifikasi yang diperoleh dari citra SPOT-7 dengan penerapan algoritma K-NN menunjukkan kelas karang Hidup + *Rubble* memiliki selisih luasan sebesar 3,35 ha antar-penerapan algoritma DII. Berdasarkan hal tersebut, dapat diasumsikan bahwa pada penelitian ini, algoritma K-NN lebih cenderung menampakkan kelas Karang Hidup + *Rubble* tanpa penerapan algoritma DII. Selain itu, kelas Karang Hidup baik dengan maupun tanpa penerapan algoritma DII cenderung memiliki luasan yang hampir sama yaitu dengan selisih luasan sebesar 0,36 ha. Perbedaan luasan hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh kedua algoritma adalah adanya kecenderungan luasan yang lebih kecil yang dihasilkan oleh algoritma K-NN dibandingkan Bayesian khususnya kelas Makro Alga pada masing-masing citra satelit.

Tabel 6. Luasan kelas hasil klasifikasi dengan algoritma Bayesian dan K-NN pada Citra Sentinel-2.

No	Kelas	Bayesian (ha)		K-NN (ha)	
		Tanpa DII	Dengan DII	Tanpa DII	Dengan DII
1	Karang Hidup	17,83	18,78	19,56	18,23
2	Karang Hidup + <i>Rubble</i>	11,47	12,27	11,58	10,31
3	Makro Alga	6,19	7,75	1,26	1,00
4	Pasir	9,52	4,95	14,82	17,69
5	Pasir + Lamun	5,25	2,53	6,26	10,56
6	Pasir + <i>Rubble</i>	9,92	8,90	10,82	8,87
7	<i>Rubble</i>	9,96	14,96	5,84	3,48
Total		70,14	70,14	70,14	70,14

Tabel 7. Luas kelas hasil klasifikasi dengan algoritma Bayesian dan K-NN pada Citra SPOT-7.

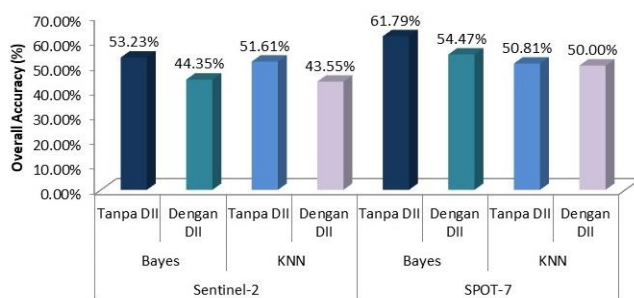
No	Kelas	Bayesian (ha)		K-NN (ha)	
		Tanpa DII	Dengan DII	Tanpa DII	Dengan DII
1	Karang Hidup	14,86	9,66	14,39	14,03
2	Karang Hidup + <i>Rubble</i>	13,36	15,40	18,29	14,94
3	Makro Alga	4,75	5,86	2,90	4,15
4	Pasir	11,72	11,71	14,40	15,98
5	Pasir + Lamun	7,23	3,64	4,44	5,01
6	Pasir + <i>Rubble</i>	8,64	5,14	9,15	5,59
7	<i>Rubble</i>	7,74	16,89	4,74	8,60
Total		68,30	68,30	68,30	68,30

Secara visual, Makro Alga memiliki kemiripan rona warna dan pola reflektansi dengan Lamun, namun keduanya memiliki puncak reflektansi spektral yang berbeda, dimana Lamun memiliki puncak reflektansi di sekitar panjang gelombang 550 nm (*visible* hijau), sedangkan Makro Alga memiliki puncak reflektansi di sekitar panjang gelombang 600 nm (*visible* merah) (Dierssen et al., 2015; Thorhaug et al., 2007). Hal ini yang menyebabkan terjadinya kekeliruan algoritma K-NN dalam membentuk kluster yang disebabkan karena nilai reflektansi kedua objek tersebut memiliki *training data* dengan nilai yang terdekat (mirip) pada citra. Sehingga hasil klasifikasi algoritma K-NN yang diperoleh pada Citra Sentinel-2 menunjukkan bahwa kelas Makro Alga yang sebenarnya di lapangan teridentifikasi sebagai kelas Pasir + Lamun pada citra.

Kelas Pasir yang ditemukan di lapangan lebih mudah untuk diidentifikasi di lapangan. *Data training* yang didapatkan berdasarkan data lapangan yang kemudian digunakan dalam algoritma Bayesian untuk menghasilkan probabilitas kelas, kemungkinan mengalami tumpang tindih dengan nilai piksel pada citra. Sehingga, algoritma Bayesian tidak dapat mendeskriminasi kelas Pasir dengan *Rubble*. Namun, algoritma K-NN dapat meminimalisir *noisy* dari data training dengan mengadopsi nilai *k* yang besar (Ougiaroglou & Evangelidis, 2015).

Uji Akurasi

Hasil klasifikasi level 2 (*benthic level*) menunjukkan adanya perbedaan tingkat akurasi pada masing-masing algoritma (Bayesian dan K-NN) dengan dan tanpa penerapan algoritma DII (*Depth Invariant Index*) dengan 7 kelas pada masing-masing citra yakni Citra Sentinel-2 dan SPOT-7.



Gambar 6. Perbedaan tingkat akurasi dari tiap algoritma pada masing-masing citra (Sentinel-2 dan SPOT-7).

Nilai akurasi tertinggi diperoleh oleh hasil klasifikasi dengan algoritma Bayesian tanpa penerapan algoritma DII pada citra SPOT-7 sebesar 61,8%, sedangkan nilai akurasi terendah diperoleh sebesar 43,5% pada Citra Sentinel-2 menggunakan algoritma K-NN dengan penerapan algoritma DII. Tingkat akurasi tiap algoritma yang diperoleh dapat dilihat pada **Gambar 6**.

Berdasarkan hasil klasifikasi habitat benthik perairan laut dangkal di Pulau Barrang Caddi dengan beberapa perlakuan yang berbeda pada masing-masing citra, terlihat bahwa Citra SPOT-7 dengan menggunakan algoritma Bayesian tanpa penerapan algoritma DII menghasilkan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan penerapan algoritma lainnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Ilyas et al. (2020) yang memetakan kondisi padang lamun dengan menggunakan beberapa algoritma klasifikasi metode OBIA yakni Bayesian, K-NN, SVM, dan DT, dan hasil penelitian tersebut cenderung merekomendasikan penerapan algoritma Bayesian tanpa koreksi kolom air (DII) karena menghasilkan tingkat akurasi tertinggi sebesar 70.36%. Selain itu, Dwikarsa & Basith (2021) mendapati algoritma Bayesian dengan tingkat akurasi tertinggi (80.39%) setelah algoritma SVM (88%).

Penerapan koreksi kolom air menggunakan algoritma DII pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh terhadap citra yang digunakan. Hal tersebut disebabkan karena kondisi perairan yang dikendalikan oleh kualitas air, keragaman tipe dasar, kesenjangan waktu perekaman citra dan tanggal pengukuran, dan *noise* dari citra itu sendiri (Manessa et al., 2014). Terdapat keterbatasan yang dimiliki satelit dalam hal ini adalah kanal multispektral yang digunakan untuk memetakan habitat benthik karena kanal yang tidak memadai dalam menetrasi kolom air (Wicaksono, 2015). Kanal penetrasi kolom air berada pada panjang gelombang yang lebih pendek, sehingga terdeteksi lebih banyak *noise* (Eugenio et al., 2015) yang mengakibatkan kanal multispektral tidak efektif dalam memetakan habitat benthik lebih dari tujuh kelas (Benfield et al., 2007). Menurut (Kayabol & Kutluk, 2016), algoritma Bayesian dapat digunakan untuk jumlah sampel data yang kecil dan memberikan hasil klasifikasi yang cukup baik.

Nilai akurasi terendah yang dihasilkan pada penelitian ini yakni 43,55% yang terbilang rendah dikarenakan adanya pengaruh kompleksitas komponen habitat benthik perairan laut dangkal di lokasi penelitian (Mastu et al., 2018), juga adanya pengaruh dari akurasi GPS yang digunakan pada saat pengambilan titik sampling sehingga menyebabkan adanya ketidaksesuaian dengan resolusi spasial citra satelit yang digunakan (Anggoro et al., 2018), dimana pada penelitian ini menggunakan Citra Sentinel-2 sebagai citra resolusi menengah dan Citra SPOT-7 sebagai citra resolusi tinggi. Selain itu, rendahnya nilai akurasi yang dihasilkan dari hasil klasifikasi kemungkinan disebabkan karena nilai skala segmentasi yang digunakan belum mencapai optimum yang sesuai dengan resolusi citra yang digunakan agar dapat mendeteksi dan mengelaskan objek secara maksimal. Menurut (Wahidin et al., 2015), semakin besar skala yang digunakan dalam proses segmentasi maka nilai akurasi hasil klasifikasi yang dihasilkan akan semakin berkurang yang disebabkan hilangnya beberapa objek pada citra.

Selain tingkat akurasi hasil klasifikasi citra, dilakukan perhitungan nilai koefisien Kappa dan uji signifikansi Z antara hasil klasifikasi dengan berbagai perlakuan dan antar berbagai algoritma. Uji signifikansi Z (*Z-test*) ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata antar perlakuan yang berbeda tersebut (Congalton & Green, 2009). Hasil uji signifikansi pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **9**.

Tabel 8. Perbandingan nilai Kappa dan Z statistik hasil klasifikasi masing-masing algoritma dan perlakuan tiap citra.

Metode	Algoritma	Kappa	Z			
		Sentinel-2	SPO T-7	Sentinel-2	SPO T-7	
Tanpa DII	Bayes	0,45	0,54	1,92	2,05	
	K-NN	0,42	0,41	1,82	1,78	
Dengan DII	Bayes	0,35	0,46	1,71	1,92	
	K-NN	0,32	0,41	1,59	1,80	

Tabel 8 dan **Tabel 9** memperlihatkan hasil statistik Z yang beragam pada masing-masing algoritma dan perlakuan yang berbeda. Pada **Tabel 8**, dihasilkan nilai Z lebih besar dibandingkan dengan nilai Z tabel (1,96) yaitu sebesar 2,05 pada hasil klasifikasi citra SPOT-7 menggunakan algoritma Bayesian tanpa penerapan algoritma DII, sedangkan hasil klasifikasi lainnya menunjukkan hasil yang tidak signifikan dengan nilai $Z < 1,96$. Selain itu, uji signifikansi yang dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata antar perlakuan yang berbeda menunjukkan hasil bahwa pada **Tabel 9** terdapat perbedaan signifikan antara hasil klasifikasi Bayesian dengan K-NN sebesar 0,38 pada Citra SPOT-7 tanpa penerapan algoritma DII, serta perbedaan signifikan sebesar 0,09 pada Citra Sentinel-2 tanpa penerapan algoritma DII. Selain itu, uji signifikansi yang dilakukan terhadap hasil antara tanpa dan dengan penerapan algoritma DII sebesar 0,23 pada Citra SPOT-7 dengan menggunakan algoritma Bayesian, serta perbedaan signifikan sebesar 0,32 pada Citra Sentinel-2 dengan menggunakan algoritma Bayesian.

Tabel 9. Perbandingan nilai signifikan antar-algoritma klasifikasi Bayes dan K-NN.

Citra Satelit	Metode	Sig. Bayes vs K-NN
SPOT-7	Dengan DII	0,13
	Tanpa DII	0,38
Sentinel-2	Dengan DII	0,08
	Tanpa DII	0,09

Hasil dari uji Z signifikan pada penelitian ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa algoritma Bayesian tanpa penerapan algoritma DII pada citra SPOT-7 memiliki perbedaan yang signifikan dalam memetakan habitat bentik perairan laut dangkal dibandingkan dengan algoritma, citra, serta perlakuan lainnya yang diujikan pada penelitian ini. Perbedaan visual yang diperoleh dari masing-masing hasil algoritma dalam mengklasifikasi

objek Makro Alga (*Sargassum sp.*) kemungkinan disebabkan karena adanya perbedaan akuisisi masing-masing citra yang digunakan yang berkaitan dengan kondisi pasang surut di waktu tertentu. Menurut (Muslimin & Sari, 2017), *Sargassum sp.* dapat tumbuh di sepanjang tahun dan bersifat perenial yaitu tumbuh di setiap musim barat maupun musim timur. Berada pada musim yang berbeda, kondisi pasang surut pada citra Sentinel-2 yaitu berada pada kondisi pasang setinggi 1 m, sedangkan pada saat citra SPOT-7 diakuisisi, menunjukkan kondisi surut terendah setinggi 0,2 m. Sehingga dengan kondisi surut terendah tersebut, kemungkinan bahwa objek makro alga lebih terekspos pada citra SPOT-7 (**Gambar 7**). Hal ini dibuktikan dengan hasil klasifikasi pada citra SPOT-7 yang menampakkan kelas Makro Alga secara konsisten pada semua penggunaan algoritma dan perlakuan. Hafizt & Danoedoro (2015) menjelaskan bahwa koreksi kolom air tidak bekerja signifikan jika ditemukan habitat bentik yang tidak dipengaruhi oleh kedalaman.



Gambar 7. Kelas Makro Alga di Pulau Barrang Caddi.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil klasifikasi citra yang dilakukan pada penelitian ini. Perbedaan waktu akuisisi citra yang digunakan yaitu Citra Sentinel-2 pada tanggal 1 Oktober 2021, sedangkan Citra SPOT-7 pada tanggal 10 Agustus 2021 sehingga menyebabkan terdapat perbedaan luasan kelas habitat bentik perairan laut dangkal di lokasi studi. Berkaitan dengan hal tersebut, jumlah segmen yang dihasilkan kedua citra yang digunakan berbeda, di mana jumlah segmen yang dihasilkan pada Citra Sentinel-2 lebih banyak dibandingkan dengan jumlah segmen yang dihasilkan pada citra SPOT-7 kemungkinan disebabkan karena secara visual, terdapat *salt and pepper* di area sekitar lokasi penelitian pada Citra Sentinel-2, sehingga dapat dideteksi oleh algoritma *multiresolution segmentation* pada saat proses segmentasi yang menyebabkan Citra Sentinel-2 khususnya pada area kajian terdeteksi lebih banyak segmen atau objek. Namun, banyak atau tidaknya segmen yang terbentuk pada proses segmentasi tidak signifikan berpengaruh terhadap hasil akhir klasifikasi pada penelitian ini. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil penelitian ini menunjukkan nilai akurasi dari hasil kedua algoritma yang diterapkan pada Citra

SPOT-7 lebih tinggi dibandingkan nilai akurasi yang dihasilkan pada Citra Sentinel-2.

Di sisi lain, perbedaan akurasi yang dihasilkan masing-masing citra disebabkan karena perbedaan resolusi spasial. Seperti yang terlihat pada **Tabel 1**, kedua citra yang digunakan memiliki resolusi radiometrik yang mirip yaitu 12 bit, namun keduanya memiliki resolusi spasial yang berbeda, dimana Citra SPOT-7 memiliki resolusi spasial yang lebih detail dibandingkan dengan Citra Sentinel-2.

Prosedur pemetaan habitat bentik perairan laut dangkal khususnya berdasarkan ukuran piksel di mana terdapat kelas campuran, ketergantungan spasial perlu dipertimbangkan (Hochberg & Atkinson, 2003). Di sisi lain, terdapat faktor kemiripan pigmentasi yang dimiliki objek Karang Hidup dan *Rubble* yang dengan cepat ditutupi oleh alga, sehingga reflektansi objek tersebut sulit untuk dibedakan (Nurdin et al., 2012). Selain karena faktor lingkungan, resolusi spektral serta resolusi spasial data citra satelit yang digunakan, faktor lain yang menyebabkan terjadinya kesalahan dalam klasifikasi adalah implikasi dari faktor lingkungan seperti kedalaman dan kecerahan perairan. Hal tersebut yang memiliki dampak terhadap ketergantungan spasial pada ada-tidaknya objek atau kelas yang diidentifikasi (March et al., 2013).

Dari hasil penerapan kedua algoritma yang digunakan pada penelitian ini, algoritma Bayesian menunjukkan hasil akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma K-NN. Dari upaya klasifikasi habitat bentik ini dapat diasumsikan bahwa algoritma Bayesian dapat mendeskriminasi objek atau kelas lebih baik, namun memungkinkan bahwa tingkat akurasi yang dihasilkan menjadi bervariasi tergantung dari kondisi lingkungan lokasi kajian. Adanya kelas campuran habitat bentik perairan laut dangkal di lokasi penelitian yang tidak teridentifikasi dapat membuat tingkat akurasi menurun. Menurut Hossain et al. (2019), hal tersebut disebabkan karena memungkinkan terjadinya tumpang tindih resolusi spektral citra satelit antara nilai reflektansi spektral yang serupa dengan kelas objek yang sebenarnya. Dengan demikian, pengambilan titik sampling pada saat *ground truthing* perlu diperhatikan dengan baik agar dapat mengungkap kelas dengan komposisi campuran.

KESIMPULAN

Habitat bentik perairan laut dangkal di Pulau Barrang Caddi dapat dipetakan dengan baik menggunakan klasifikasi berbasis objek (OBIA). Hasil uji akurasi tertinggi adalah 61.8% yang diperoleh dari hasil klasifikasi menggunakan algoritma Bayesian tanpa penerapan koreksi kolom perairan pada Citra SPOT-7. Dengan algoritma serta perlakuan yang sama, diperoleh tingkat akurasi sebesar 53.2% pada Citra Sentinel-2. Penerapan koreksi kolom air menggunakan

algoritma DII pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh terhadap citra yang digunakan. Hal tersebut disebabkan karena kondisi perairan yang dikendalikan oleh kualitas air, keragaman tipe dasar, kesenjangan waktu perekaman citra dengan tanggal pengukuran, dan *noise* dari citra yang digunakan. Hasil uji signifikan menunjukkan terdapat perbedaan signifikan dari hasil klasifikasi menggunakan algoritma Bayes pada Citra SPOT-7 tanpa penerapan algoritma DII. Perbedaan tingkat akurasi dalam memetakan habitat bentik dapat disebabkan adanya perbedaan waktu akuisisi citra, kondisi perairan lokasi kajian, serta konsistensi dalam mengidentifikasi objek habitat bentik di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada kepala Puslitbang Laut Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil LPPM Universitas Hasanuddin atas bantuan fasilitas yang disediakan selama penulis melakukan penelitian, khususnya pada saat melakukan pengambilan data lapangan dan proses pengolahan data hingga tulisan ini selesai. Penulis juga berterima kasih kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) atas penyediaan data Citra SPOT-7.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I., Guan, D. & Chung, T.C. (2014). SMS Classification based on naïve bayes classifier and apriori algorithm frequent itemset. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 4(2), 183-187. DOI: <https://doi.org/10.7763/ijmlc.2014.v4.409>.
- Anggoro, A., Siregar, V.P., & Agus, S.B. (2018). Klasifikasi multiskala untuk pemetaan zona geomorfologi dan habitat bentik menggunakan metode OBIA di Pulau Pari (Multiscale classification for geomorphic zone and benthic habitats mapping using OBIA method in Pari Island). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 14(2). DOI: <https://doi.org/10.30536/j.pjpcdd.1017.v14.a2622>.
- Benfield, S.L., Guzman, H.M., Mairs, J.M. & Young, J.A.T. (2007). Mapping the distribution of coral reefs and associated sublittoral habitats in Pacific Panama: a comparison of optical satellite sensors and classification methodologies. *International Journal of Remote Sensing*, 28(22), 5047-5070. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701258062>.
- Blaschke, T., Hay, G.J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... & Tiede, D. (2014). Geographic object-based image analysis-towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 180-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>.
- Congalton, R., & Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data* (3rd ed.). CRC Press. 328 pp. Diunduh dari: <https://www.perlego.com/book/1605289/assessing-the-accuracy-of-remotely-sensed-data-principles-and-practices-third-edition-pdf>. [2 Maret 2022].

- Connor, D.W., Allen, J.H., Golding, N., Howell, K.L., Lieberknecht, L.M., Northen, K.O. & Reker, J.B. (2004). *The Marine Habitat Classification For Britain and Ireland Version 04.05*. Joint Nature Conservation Committee (JNCC). Peterborough, UK. Diunduh dari: <https://mhc.jncc.gov.uk/> [3 Maret 2022].
- Dierssen, H.M., Chlus, A. & Russell, B. (2015). Hyperspectral discrimination of floating mats of seagrass wrack and the macroalgae *Sargassum* in coastal waters of Greater Florida Bay using airborne remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 167(15 September 2015), 247-258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.027>.
- Dwikarsa, Y. & Basith, A. (2021). Benthic habitats classification using multi scale parameters of GEOBIA on orthophoto images of Karimunjawa waters. *Communications in Science and Technology*, 6(1), 55-59. DOI: <https://doi.org/10.21924/CST.6.1.2021.332>.
- Eugenio, F., Marcello, J. & Martin, J. (2015). High-resolution maps of bathymetry and benthic habitats in shallow-water environments using multispectral remote sensing imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(7), 3539-3549. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2014.2377300>.
- Green, E.P., Edward, A.J. & Clark, C.D. (2000). *Remote sensing handbook for tropical coastal management*. Unesco Pub. Paris Franch.
- Han, J., Kamber, M. & Pei, J. (2011). *Data mining: concepts and techniques (the morgan kaufmann series in data management systems)*. 3rd Edition. Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier. Massachusetts USA. 744 pp.
- Hafizt, M. & Danodoro, P. (2015). Kajian pengaruh koreksi kolom air pada Citra Multispektral Worldview-2 untuk pemetaan habitat bentik di Pulau Kemujan, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia*, 20 (2015), 566-374.
- Harris, P.T. & Baker, E.K. (2012). *Why map benthic habitats?* 3-22 pp. In: *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*. Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00001-3>.
- Hochberg, E. & Atkinson, M. (2003). Capabilities of remote sensors to classify coral, algae, and sand as pure and mixed spectra. *Remote Sensing of Environment*, 85, 174-189. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00202-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00202-X).
- Hossain, M.S., Muslim, A.M., Nadzri, M.I., Sabri, A W., Khalil, I., Mohamad, Z. & Beiranvand Pour, A. (2019). Coral habitat mapping: a comparison between maximum likelihood, Bayesian and Dempster-Shafer classifiers. *Geocarto International*, 36(11), 1217-1235. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1637466>.
- Ilyas, T.P., Nababan, B., Madduppa, H. & Kushardono, D. (2020). Pemetaan ekosistem lamun dengan dan tanpa koreksi kolom air di Perairan Pulau Pajene Kang, Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 9-23. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.26598>.
- Jaelani, L.M., Laili, N. & Marini, Y. (2015). Pengaruh Algoritma Lyzenga dalam pemetaan terumbu karang menggunakan Worldview-2, studi kasus: perairan PLTU Paiton Probolinggo. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 12(2), 123-132. Diunduh dari: <http://repositori.lapan.go.id/id/eprint/1034> [5 Februari 2022].
- Kayabol, K. & Kutluk, S. (2016). Bayesian classification of hyperspectral images using spatially-varying Gaussian mixture model. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 59, 106-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.08.010>.
- Kurniawati, E., Siregar, V. & Nurjaya, I.W. (2020). Klasifikasi habitat perairan dangkal berbasis objek menggunakan Citra Worldview 2 dan Sentinel 2B di Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 423-437. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.26089>.
- Lucas, M.Q. & Goodman, J. (2015). Linking coral reef remote sensing and field ecology: It's a matter of scale. *Journal of Marine Science and Engineering*, 3(1), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse3010001>.
- Lyzenga, D.R. (1978). Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied Optics*, 17(3), 379-383. DOI: <https://doi.org/10.1364/ao.17.000379>.
- Lyzenga, D.R. (1981). Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *Int. Journal of Remote Sensing*, 2(1), 71-82. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431168108948342>.
- Manessa, M.D.M., Kanno, A., Sekine, M., Ampou, E.E., Widagti, N. & As-Syakur, A.R. (2014). Shallow-water benthic identification using multispectral satellite imagery: Investigation on the effects of improving noise correction method and spectral cover. *Remote Sensing*, 6(5), 4454-4472. <https://doi.org/10.3390/rs6054454>.
- March, D., Alós, J., Cabanellas-Reboredo, M., Infantes, E. & Palmer, M. (2013). Probabilistic mapping of *Posidonia oceanica* cover: A Bayesian geostatistical analysis of seabed images. *Aquatic Botany*, 106(April 2013), 14-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.12.005>.
- Mastu, L.O.K., Nababan, B. & Panjaitan, J.P. (2018). Pemetaan habitat bentik berbasis objek menggunakan Citra Sentinel-2 di Perairan Pulau Wangi-Wangi Kabupaten Wakatobi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2), 381-396. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i2.21039>.
- Muslimin & Sari, W.K.P. (2017). Budidaya rumput laut *Sargassum* sp. dengan metode kantong pada beberapa tingkat kedalaman di dua wilayah perairan berbeda. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(3), 221-230. Retrieved from <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra>.
- Navulur, K. (2006). *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. First Edition. CRC Press. Florida USA. 204pp.
- Nurdin, N., Komatsu, T., Barille, L., Akbar A.S., M., Sawayama, S., Fitrah, Muh. N. & Prasyad, H. (2016). Spectral classifying base on color of live corals and dead corals covered with algae. *Remote Sensing of the Oceans and Inland Waters: Techniques, Applications, and Challenges, Proc. of SPIE*: 9878, 987811. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2227297>.
- Nurdin, N., Komatsu, T., Yamano, H., Arafat, G., Rani, C. & Akbar AS, M. (2012). Spectral response of the coral rubble, living corals, and dead corals: study case on the Spermonde Archipelago, Indonesia. *Remote Sensing of the Marine Environment II*,

- Proc. of SPIE*, 8525, 85251A. 10pp. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.999306>.
- Nurdin, N., Komatsu, T., Yamano, H., Arafat, G., Rani, C. & Akbar AS, M. (2015). Spectral clustering of coral reefs on the small islands, Spermonde Archipelago, Indonesia. *Physical Science International Journal*, 5(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.9734/psij/2015/9390>.
- Nurdin, N., Lanuru, M., Jalil, A.R., Rani, C., Akbar AS, Al Azizi, S.Q & Komatsu, T. (2019). Integration in-situ measurement and medium resolution imagery to develop digital health chart: preliminary study of coral reefs on small islands, Spermonde Archipelago, Indonesia. *Proceedings, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*, 11150 (2019) Event: SPIE Remote Sensing, 2019, Strasbourg, France. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2527598>.
- Ougiargoglou, S. & Evangelidis, G. (2015). Dealing with noisy data in the context of K-NN Classification. *ACM International Conference Proceeding Series, 02-04-September-2015*. Association for Computing Machinery. DOI: <https://doi.org/10.1145/2801081.2801116>.
- Phinn, S.R., Roelfsema, C.M. & Mumby, P.J. (2012). Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 33(12), 3768-3797. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.633122>.
- Prabowo, N.W., Siregar, V.P. & Agus, S.B. (2018). Klasifikasi habitat benthik berbasis objek dengan algoritma support vector machines dan decision tree menggunakan Citra Multispektral Spot-7 di Pulau Harapan dan Pulau Kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 123-134. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.21670>.
- Ready, M. (2014). Trimble Documentation, Germany. *Management*, (April), 1-6. Diunduh dari: http://www.sysdecoitalia.com/wp-content/uploads/2015/04/eCognition9.0.2_ReleaseNotes.pdf%0Awww.eCognition.com [7 Februari 2022].
- Sabilah, A.A., Siregar, V.P. & Amran, M.A. (2021). Comparison of seagrass cover classification based-on SVM and fuzzy algorithms using multi-scale imagery in Kodingareng Lompo Island. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1), 97-112. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1.34765>.
- Sangadji, M.S., Siregar, V.P. & Manik, H.M. (2018). Klasifikasi habitat perairan dangkal menggunakan logika fuzzy dan maximum likelihood pada citra satelit multispektral. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 667-681. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i3.22859>.
- Siregar, V. (2010). Pemetaan substrat dasar perairan dangkal karang cangkak dan lebar kepulauan seribu menggunakan Citra Satelit Quickbird. *E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 2(1), 19-30.
- Thorhaug, A., Richardson, A.D. & Berlyn, G.P. (2007). Spectral reflectance of the seagrasses: *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* and five marine algae. *International Journal of Remote Sensing*, 28(7), 1487-1501. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600954662>.
- USAID (United States Agency for International Development). (2012). How to use a secchi disk. *Technical Bulletin #47*. Cambodia Harvest. Phnom Penh Cambodia.
- Wahidin, N., Siregar, V.P., Nababan, B., Jaya, I. & Wouthuyzen, S. (2015). Object-based image analysis for coral reef benthic habitat mapping with several classification algorithms. *Procedia Environmental Sciences*, 24(2015), 222-227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.029>.
- Wei, W., Chen, X. & Ma, A. Object-oriented information and application in high-resolution remote sensing image. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 8, 3803-3807. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1525737>.
- Wicaksono, P. (2015). Pemetaan lanskap habitat benthik menggunakan data penginderaan jauh multispektral di Pulau Kemujan Kepulauan Karimunjawa. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan 2015*, 57-63. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1794.2167>.

Halaman ini sengaja kami kosongkan