

**IDENTIFIKASI KONDISI TERUMBU KARANG DI PERAIRAN NUSA PENIDA,
BALI BERDASARKAN PENGOLAHAN CITRA SATELIT LANDSAT 8
(Identification of Coral Reefs Conditions in Nusa Penida Waters, Bali Based on Landsat
8 Satellite Image Data Processing)**

Sauzan Salsabila Azzahra* , Maghfira Diena Aulia, Reihan Athala Radhitama
Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari,
Kota Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia
*e-mail: sauzan.salsabila@upi.edu

ABSTRACT

Nusa Penida has a beautiful coral reef ecosystem and there are ancient fish, namely the sunfish which are still alive so that they have become a tourist icon so that many tourists visit them for snorkeling. However, these visitor activities resulted in damage to the coral reef ecosystem which is very vulnerable to disturbance, resulting in a decrease in the area of coral reefs in the waters of Nusa Penida, Bali. Therefore, conservation efforts are needed to maintain the condition of coral reef ecosystems through remote sensing monitoring. The purpose of this study was to obtain distribution information and identify the condition of coral reefs in the waters of Nusa Penida, Bali using Landsat 8 and to perform a correlation analysis between the condition of coral reefs and water parameters such as salinity, sea surface temperature, and chlorophyll-a which affect coral growth. This study uses a quantitative descriptive method by applying the Lyzenga algorithm, Chlorophyll-A, sea surface temperature, and estimation of salinity. Based on the results of image analysis at Nusa Penida, it can be seen that the condition of the coral reefs is in moderate condition and has decreased in area from 2019 which was originally 1,491 hectares to 1,341 hectares in 2023 with an area of good coral reef condition of 969 Ha and 372 Ha damaged. The sea surface temperature in Nusa Penida is moderate, 27°C - 28°C, but the SST for the Manta Bay tour rises to 28°C - 29°C, which is close to the maximum ideal temperature for coral growth. Salinity levels on the coast of Nusa Penida waters of 33‰ - 31‰ are good for the growth of coral reefs. The content of chlorophyll-a in Nusa Penida waters of 1.553713 is included in the oligotrophic category.

Keywords: Coral Health, Lyzenga Algorithm, Nusa Penida, Remote Sensing

ABSTRAK

Nusa Penida memiliki ekosistem terumbu karang yang indah serta terdapat ikan purba, yaitu ikan mola-mola yang masih hidup sehingga menjadi *icon* wisata sehingga banyak dikunjungi wisatawan untuk snorkeling. Namun, aktivitas pengunjung tersebut mengakibatkan kerusakan pada ekosistem terumbu karang yang sangat rentan terhadap gangguan sehingga terjadi penurunan luasan terumbu karang pada perairan Nusa Penida, Bali. Oleh karena itu, diperlukan upaya konservasi untuk menjaga kondisi ekosistem terumbu karang melalui *monitoring* dengan penginderaan jauh. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mendapatkan informasi sebaran serta mengidentifikasi kondisi terumbu karang di Perairan Nusa Penida, Bali menggunakan Landsat 8 serta melakukan analisis korelasi antara kondisi terumbu karang dengan parameter perairan seperti salinitas, suhu permukaan laut, dan klorofil-a yang mempengaruhi pertumbuhan karang. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan menerapkan algoritma Lyzenga, Klorofil-A, suhu permukaan laut, dan pendugaan

salinitas. Berdasarkan hasil analisis citra di Nusa Penida, terlihat bahwa kondisi terumbu karang dalam kondisi sedang dan mengalami penurunan luasan dari tahun 2019 yang semula 1.491 hektar menjadi 1.341 hektar pada tahun 2023 dengan luas kondisi terumbu karang yang baik sebesar 969 Ha dan yang rusak sebesar 372 Ha. Suhu permukaan laut di nusa penida tergolong sedang 27°C - 28°C , namun SPL pada wisata *Manta Bay* naik menjadi 28°C - 29°C yang sudah mendekati maksimal suhu ideal pertumbuhan karang. Kadar salinitas pada pesisir perairan Nusa Penida sebesar 33‰ - 31‰ sudah baik untuk pertumbuhan terumbu karang. Kandungan klorofil-a pada perairan Nusa Penida sebesar 1,553713 termasuk dalam kategori oligotrofik.

Kata kunci: Kesehatan Karang, Algoritma Lyzenga, Nusa Penida, Penginderaan Jauh

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, terkenal dengan luasnya lautan yang meliputi sekitar 70% dari total luasnya (Burhanuddin, 2018). Gugusan karang yang besar dapat ditemukan hampir di setiap pulau di Indonesia (Chairunnisa et al., 2022). Terumbu karang peranan penting pada ekosistem pesisir dalam pengelolaan sumber daya perikanan dan kelautan (Irawan et al., 2017). Namun, ekosistemnya sangat rentan terhadap gangguan dan kerusakan (Rizqia et al., 2022). Tekanan terhadap ekosistem terumbu karang kian meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas masyarakat di daerah pesisir (Chairunnisa et al., 2022). Salah satu aktivitas yang memiliki potensi dalam rusaknya terumbu karang adalah pariwisata bahari di Nusa Penida, Bali.

Nusa Penida merupakan wilayah konservasi yang memiliki peran penting sebagai tempat untuk pemijahan dan berkembangnya berbagai biota laut, terutama ekosistem terumbu karang yang unik (Maududi & Luthfi, 2018). Kawasan ini terkenal dengan 20 lokasi penyelaman populer yang menarik sekitar 500-1000 wisatawan setiap hari, dengan jumlah wisatawan mencapai sekitar 250 ribu setiap tahunnya (Jubaedah & Anas, 2019). Meskipun perairan Nusa Penida memiliki daya tarik yang besar dengan ikan purba, yaitu ikan mola-mola yang masih hidup, keanekaragaman ikan, dan ekosistem terumbu karang yang indah saat ini menghadapi ancaman baik dari faktor alam maupun aktivitas manusia yang menyebabkan degradasi dan penurunan luas terumbu karang (Saputra et al., 2022). Oleh karena itu, dalam pengembangan pariwisata di kawasan konservasi ini, dampak terhadap keberlanjutan kawasan tersebut perlu dipertimbangkan dengan seksama (Jubaedah & Anas, 2019). Namun, dikarenakan sedikitnya informasi mengenai potensi dan kondisi terumbu karang ini dapat membatasi pengelolaan dan pemanfaatan potensi tersebut hanya pada beberapa lokasi tertentu (Naiu et al., 2014). Upaya konservasi diperlukan agar melindungi ekosistem terumbu karang di

Kawasan Perlindungan Perairan (KPP) Nusa Penida.

Salah satu langkah melindungi terumbu karang yang efektif yaitu melalui pemantauan dengan penginderaan jauh (Muhtar et al., 2019). Diperlukannya penelitian untuk mengidentifikasi situasi terumbu karang pada Nusa Penida, Bali dengan memanfaatkan citra satelit Landsat 8 dan menerapkan algoritma Lyzenga, Klorofil-A, suhu permukaan laut, dan pendugaan salinitas. Data yang dihasilkan akan dianalisis untuk mendukung pengambilan kebijakan pengelolaan oleh pemerintah setempat guna menjaga kelestarian terumbu karang tersebut. Kelebihan penggunaan data penginderaan jauh adalah kemampuannya untuk memantau dengan jangkauan yang luas serta memiliki kepraktisan dan efisiensi dalam pengumpulan data (Azka, 2019). Meskipun penelitian terumbu karang memanfaatkan *remote sensing* sudah sering dilakukan, namun data yang sudah diolah hanya sebagai disimpan untuk pribadi namun tidak disimpan dalam Sistem Informasi (Azka, 2019).

Penelitian terumbu karang di perairan Nusa Penida, Bali masih terbatas, sehingga informasi tentang keberadaan dan kondisi terumbu karang masih sedikit. Oleh karena itu, penelitian akan berfokus pada "Identifikasi Kondisi Terumbu Karang di Perairan Nusa Penida, Bali Melalui Pengolahan Citra Satelit Landsat 8". Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan persentase tutupan dan status terumbu karang, serta melakukan analisis korelasi antara kondisi terumbu karang dengan parameter perairan seperti salinitas, klorofil-a, dan suhu permukaan laut di Nusa Penida, Bali yang mempengaruhi pertumbuhan karang. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi penting dan menjadi pertimbangan dalam pengelolaan terumbu karang oleh pemerintah daerah setempat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memiliki tujuan menjelaskan bagaimana keadaan terumbu karang di Nusa Penida, Bali, dan untuk mengevaluasi korelasi antara keadaan terumbu karang dengan beberapa parameter perairan, seperti salinitas, klorofil-a, dan suhu permukaan laut. Untuk mengetahui dan mengevaluasi terumbu karang dengan parameter tersebut digunakan pendekatan menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yang melibatkan analisis citra landsat 8 dengan menggunakan algoritma lyzenga. Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer mencakup citra Landsat 8 tanggal 15 April 2023 di Nusa Penida, Bali, dengan koordinat Lat: 08° 43' 40" S dan Lon: 115° 32' 39". Data tersebut diolah untuk mendapatkan informasi tentang luas terumbu karang, suhu permukaan laut, konsentrasi klorofil-a dan

salinitas yang bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi terumbu karang di perairan Nusa Penida, Bali. Data sekunder yang digunakan berasal dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Maududi & Luthfi pada tahun 2018, yang membahas tentang tutupan makroalga di KKP Nusa Penida, serta penelitian yang dilakukan oleh Jubaedah, I., & Anas, P. pada tahun 2019, yang mengkaji dampak pariwisata bahari di Nusa Penida, Bali.

ArcGIS Pro digunakan sebagai alat bantu untuk memproses data citra yang ada. Proses pengolahan data melibatkan beberapa langkah yang menghasilkan informasi tentang kondisi terumbu karang yang hidup dan yang mati, luas terumbu karang, estimasi salinitas, klorofil-a, dan suhu permukaan laut. Langkah-langkah pengolahan data ini dijelaskan secara rinci dalam Gambar 2. Setelah data diproses menggunakan algoritma Lyzenga, hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi korelasi antara kondisi terumbu karang dengan parameter perairan seperti salinitas, klorofil-a, dan suhu permukaan laut di Nusa Penida, Bali.

Dalam penelitian ini, digunakan ArcGIS Pro untuk mengolah data citra satelit Landsat 8 yang digunakan merupakan salah satu program Landsat dengan menggunakan satelit terbaru. Citra dari Landsat 8 diterapkan untuk mengidentifikasi luasan wilayah terumbu karang di Perairan Nusa Penida, Bali. Metode yang digunakan meliputi penggunaan algoritma Lyzenga, klasifikasi tanpa pengawasan (unsupervised classification), serta analisis klorofil-a, salinitas, dan suhu permukaan laut.

Algoritma Lyzenga digunakan untuk mendeteksi objek di bawah permukaan air, terutama terumbu karang. Algoritma ini dapat diterapkan dengan menggunakan koefisien atenuasi perairan (k_i/k_j) setelah mendapatkan nilai rasio. Rumus yang digunakan dalam Algoritma Lyzenga adalah sebagai berikut: jika nilai $B_5/B_2 < 1$, maka hasilnya adalah $\log(B_2) + k_i/k_j * \log(B_3)$, jika tidak, maka nilainya adalah null. Menurut Philiani et al., 2016 dalam penelitian ini, nilai rasio koefisien atenuasi perairan (k_i/k_j) itu 1. Citra yang sudah dihasilkan kemudian dikelompokkan menggunakan klasifikasi tanpa pengawasan (unsupervised classification) (Irawan et al., 2017). Klasifikasi unsupervised digunakan untuk membedakan terumbu karang hidup dengan area bukan terumbu karang dihasilkan lima kelas, yaitu, karang mati, terumbu karang hidup, lamun, laut dalam, serta pasir. Kualitas terumbu karang dapat dilihat melalui tingkat kepadatan terumbu karang. Semakin rapat terumbu karang, maka kualitasnya semakin baik.

Teknik penginderaan jauh dapat digunakan secara langsung untuk menilai kualitas terumbu karang dengan memperhatikan nilai spektral yang dihasilkan oleh klorofil. Dengan mengamati nilai spektral ini, kita dapat mengklasifikasikan kondisi terumbu karang ke dalam

kategori-kategori tertentu. Salah satu faktor penting yang diperhitungkan adalah tingginya konsentrasi klorofil menandakan bahwa terumbu karang tersebut berfotosintesis dan tumbuh dengan baik. Semakin tinggi tingkat konsentrasi klorofil, maka semakin baik kondisi terumbu karangnya, hal ini disebabkan oleh klorofil yang berperan dalam proses fotosintesis karang. Suhu permukaan laut juga berperan penting dalam pertumbuhan terumbu karang yang membutuhkan SPL antara 23-30°C agar dapat tumbuh secara optimal. metabolisme, reproduksi, dan klasifikasi karang juga dipengaruhi oleh suhu permukaan. Suhu terlalu tinggi atau terlalu rendah mengakibatkan penurunan pertumbuhan, bleaching karang, bahkan kematian. Terumbu karang hanya dapat hidup dalam kisaran salinitas normal air laut, yaitu sekitar 31-35‰, tetapi mereka juga dapat mentolerir salinitas antara 25-40‰. Di luar kisaran salinitas tersebut, pertumbuhan karang dapat terganggu bahkan menyebabkan kematian.

Kondisi terumbu karang dapat dikategorikan sebagai baik jika terumbu karang hidup dalam kondisi lingkungan yang optimal. Namun, jika kondisi fisik perairan tidak sesuai dengan kondisi yang ideal, terumbu karang dapat dikategorikan sebagai sedang atau bahkan buruk. Data fisik perairan digunakan untuk menggambarkan kondisi terumbu karang di lapangan berdasarkan lingkungan tempatnya hidup.

HASIL DAN PEMBAHASAN

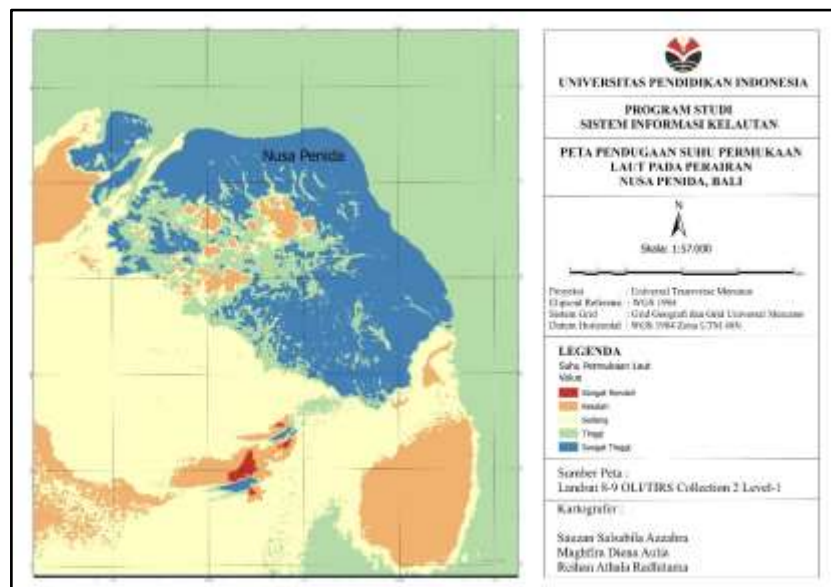
1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Desa Sakti merupakan wilayah administratif Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung, Bali dengan posisi antara Lat: 08° 43' 02" S, Lon: 115° 28' 45" E. Letak geografisnya terdapat di barat Pulau Nusa Penida sehingga sangat potensial untuk dikunjungi banyak wisatawan karena berbatasan langsung dengan Pulau Nusa Ceningan, Nusa Lembongan, Samudra Hindia, dan Selat Badung. Terumbu karang alami dan ikan mola- mola yang statusnya dilindungi banyak mendominasi dasar laut sekitar Desa Sakti belum tereksplorasi (Kamil *et al.* 2015).

Pada penelitian Bato *et al.* (2013) tutupan wilayah karang di perairan Nusa Penida didapatkan 52,00%-97,00%, indeks mortalitas di kedalaman 3 meter sekitar 0,00-0,01 dan di kedalaman 10 meter sekitar 0,00-0,025. Namun, penelitian terbaru Maududi *et al.* (2018) menemukan tutupan makroalga terendah di Crystal Bay. Penelitian Jubaedah *et al.* (2019) menunjukkan penurunan luas tutupan karang keras sebesar 4,0% dan penurunan persentase tutupan karang hidup sebesar 2,7% di KKP Nusa Penida akibat aktivitas pariwisata.

2. Hasil Analisis Pendugaan Suhu Permukaan Laut

Suhu permukaan laut berdampak pada kondisi terumbu karang. Sesuai dengan keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, suhu yang optimal untuk keberlangsungan hidup terumbu karang berkisar antara 25-30°C. Peningkatan suhu permukaan laut dapat meningkatkan kalsifikasi karang hingga tingkat tertentu, namun pertumbuhan kerangka akan menurun. Peningkatan suhu permukaan laut juga dapat menyebabkan coral bleaching, di mana zooxanthellae pada karang hilang dan kadang-kadang diikuti oleh kematian karang.



Gambar 1. Peta Pendugaan Suhu Perairan Laut

Tabel 1. Value dan Rentang Suhu Perairan Laut

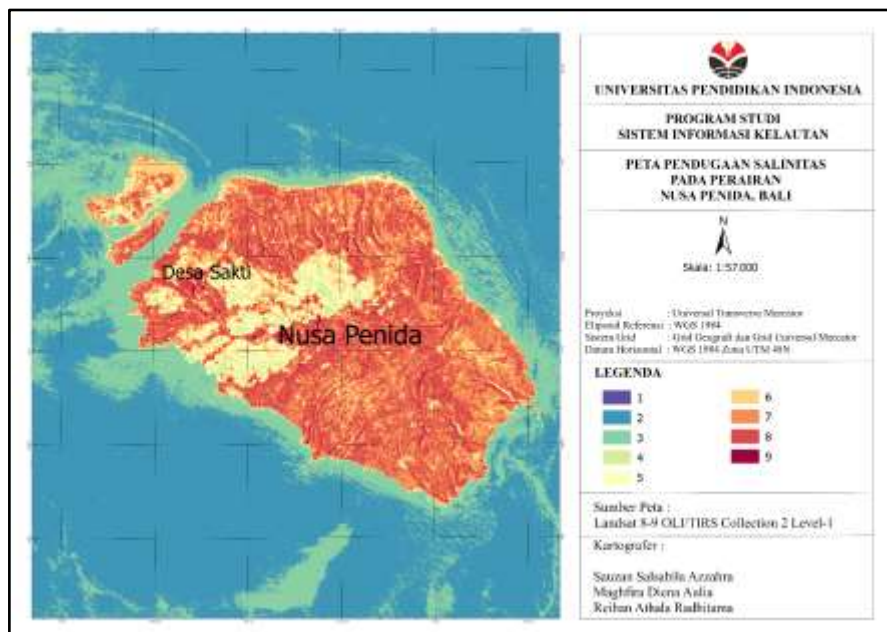
Nama	Value	Rentang Suhu	Count
Sangat Rendah	1	20,8°C - 26°C	7.348
Rendah	2	26°C - 27°C	154.953
Sedang	3	27°C - 28°C	448.268
Tinggi	4	28°C - 29°C	952.979
Sangat Tinggi	5	29°C - 30°C	171.212

Berdasarkan Gambar 1 diatas, suhu permukaan laut pada perairan Nusa Penida tergolong sedang dengan suhu 27°C - 28°C. Namun, pada daerah wisata snorkeling

Manta Bay, dapat diketahui bahwa suhu permukaan laut di daerah tersebut cukup tinggi yaitu sebesar 28°C - 29°C. Hal tersebut dapat disebabkan oleh banyaknya aktivitas wisatawan yang melakukan snorkling untuk melihat pari manta di daerah tersebut. Suhu ideal untuk pertumbuhan terumbu karang berada pada kisaran 25°C - 30°C, oleh karena itu suhu permukaan laut pada daerah wisata snorkeling *Manta Bay* sudah mendekati batas maksimal suhu optimal untuk pertumbuhan karang yaitu 30°C. Semakin tinggi SPL, menyebabkan *coral bleaching* karena *zooxanthellae* di karang menghilang sehingga menyebabkan karang mati.

3. Hasil Analisis Pendugaan Salinitas

Salinitas adalah parameter fisik guna mempengaruhi pertumbuhan terumbu karang. Menurut Muhlis (2011) dalam Sumarno, D., & Muryanto, T. (2016), beberapa spesies karang sensitif pada fluktuasi salinitas yang signifikan. Terumbu karang dapat bertahan dalam kisaran salinitas antara 25-40‰, yang juga mendukung kehidupan karang dan organisme laut lainnya. Namun, wilayah pesisir umumnya memiliki pertumbuhan terumbu karang yang optimal pada salinitas sekitar 30–35‰ (Patty & Akbar, 2018).



Gambar 2. Peta Pendugaan Salinitas pada Perairan Nusa Penida, Bali

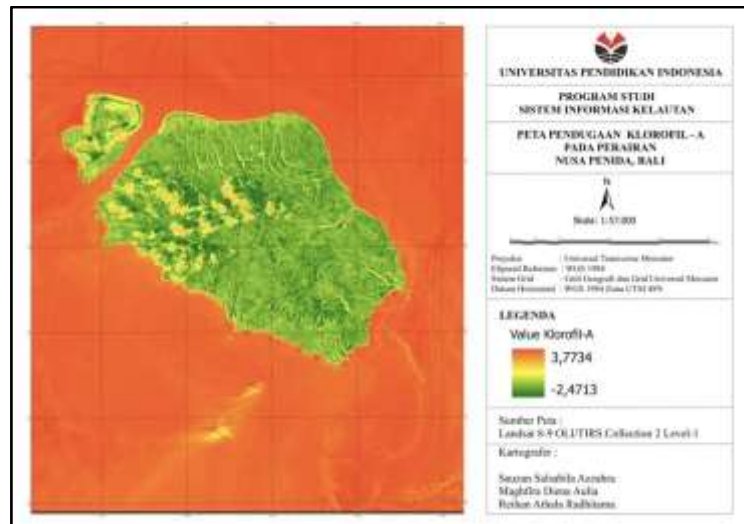
Tabel 2. Value dan Rentang Salinitas pada Perairan Nusa Penida, Bali

Value	Rentang Suhu
1	37‰ - 35‰
2	35‰ - 33‰
3	33‰ - 31‰
4	31‰ - 29‰
5	29‰ - 27‰
6	27‰ - 25‰
7	25‰ - 23‰
8	23‰ - 21‰
9	21‰ - 19‰

Berdasarkan Gambar 3 diatas, dapat diketahui bahwa perkiraan indeks salinitas berdasarkan pantauan citra satelit landsat 8 pada pesisir perairan Nusa Penida, Bali berada pada indeks 3 yaitu dengan kadar salinitas sebesar 33‰ - 31‰ dimana jumlah tersebut merupakan jumlah yang baik untuk pertumbuhan terumbu karang. Kadar salinitas yang optimal untuk terumbu karang tumbuh pada pesisir berkisar antara 30–35‰. Namun, indeks salinitas pada perairan terbuka di Nusa Penida, Bali (setelah pesisir) mengalami kenaikan yaitu menjadi indeks 2 dengan kadar salinitas sebesar 35‰ - 33‰. Salinitas di pesisir perairan Nusa Penida, Bali lebih rendah dibandingkan dengan salinitas pada lautan terbuka disebabkan oleh daerah pesisir di pesisir dekat dengan aliran sungai yang menyebabkan salinitas rendah karena air laut dan air tawar dari sungai tercampur. Sebaliknya, untuk salinitas pada setelah pesisir perairan Nusa Penida lebih tinggi karena berlokasi di tepi laut terbuka dan terletak jauh dari daerah aliran sungai. (Muftiadi *et al.* 2019).

4. Hasil Analisis Pendugaan Klorofil-A

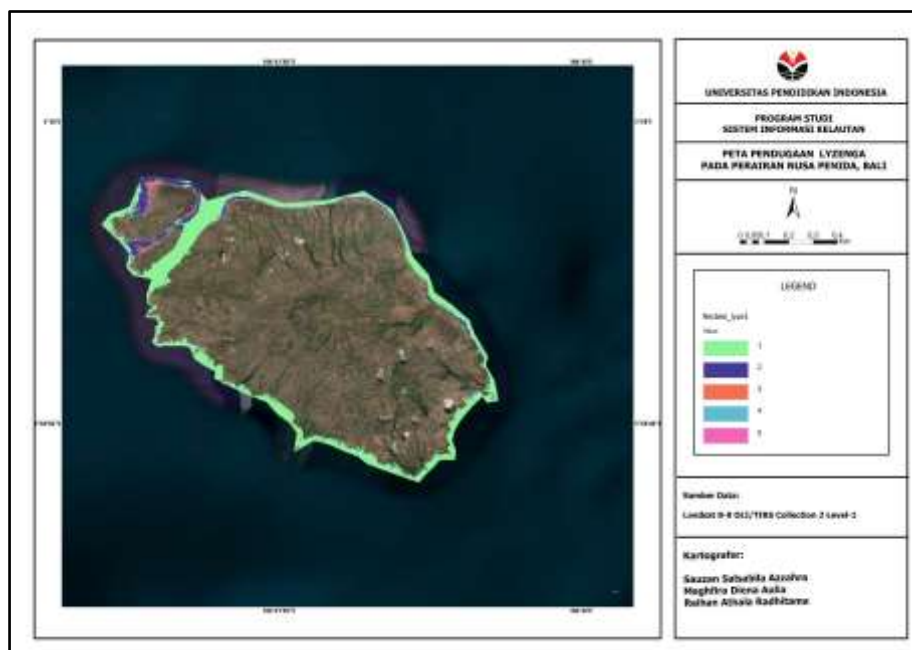
Kandungan klorofil-a di bawah 2 µg/l menunjukkan bahwa perairan termasuk oligotrofik, yang menandakan kebersihan perairan dan tidak tercemar oleh unsur hara.



Gambar 3. Peta Pendugaan Klorofil-A

Hasil pengolahan diatas diketahui bahwa semakin merah warna pada peta maka menunjukkan daerah dengan kandungan klorofil-a tertinggi yaitu sebesar 3,7734 yang didominasi oleh lautan dan daerah yang menunjukkan warna hijau menandakan bahwa daerah tersebut memiliki kandungan klorofil-a rendah yaitu sebesar -2,4713 yang kebanyakan didominasi oleh daratan. Kandungan Klorofil-a pada pesisir Nusa Penida tergolong sedang dengan jumlah 1,553713 (oligotrofik). Namun, pada daerah wisata snorkeling *Manta Bay*, mengalami penurunan yaitu menjadi 1,458519.

5. Analisis kondisi Terumbu Karang Menggunakan Algoritma Lyzenga



Gambar 4. Peta sebaran terumbu karang

Tabel 3. Hasil perhitungan luasan kelas citra

Kelas	Nama	Warna
1	Laut Dalam / Darat	Hijau
2	Terumbu Karang Hidup	Biru Tua
3	Karang Mati / Rubble	Oranye
4	Lamun	Biru Muda
5	Pasir	Merah Muda

Lyzenga algorithm mempunyai kemampuan untuk melakukan analisis sederhana terhadap area yang tertutup oleh permukaan. Pada praktikum ini peneliti akan mengaplikasikan algoritma lyzenga untuk menduga keberadaan terumbu karang kemudian mengklasifikasikan daerah tersebut menjadi beberapa kelas seperti pada tabel. Hasil perhitungan luasan kelas citra dengan mengklasifikasikan kelas Laut dalam/Darat, kelas Terumbu karang hidup, kelas Karang mati/Rubble, kelas Lamun dan kelas Pasir. Dari hasil analisis di atas menggunakan algoritma Lyzenga didapatkan hasil berikut. Kelas 1 merupakan laut dalam yang ditandai dengan warna hijau dan karena sudah dipotong dari Band 5/Band 4 yang valuenya selain 1 sudah dipotong sebelumnya dan tidak akan terpilih dan tidak termasuk kelas 1. Selanjutnya kelas 2 merupakan daerah dengan kemungkinan adanya terumbu karang hidup yang ditandai dengan warna biru tua. Berdasarkan pengolahan citra satelit Landsat 8 dengan *lyzenga algorithm* diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa masih terdapat karang hidup pada pesisir Nusa Penida, Bali. Karang hidup paling banyak ditemukan pada pesisir Nusa Lembongan. Terumbu karang yang hidup di pesisir desa sakti hanya tersisa sedikit, seperti yang dilihat pada gambar diatas. Hal tersebut diduga akibat adanya berbagai pariwisata pantai pada pesisir pantai di desa sakti dan aktivitas *snorkeling* di *Manta Bay*. Luas total terumbu karang di Perairan Nusa Penida sebesar 1.341 ha dengan persentase terumbu karang dalam kondisi baik 72,26%. Sebaran luas terumbu karang di perairan Nusa Penida, Bali adalah sebagai berikut :

Tabel . Luas Terumbu Karang di Perairan Nusa Penida, Bali

No	Kondisi Terumbu Karang	Luas (Ha)	Luas (%)
1	Baik	969	72,26
2	Rusak	372	27,74

Luas Total	1.341	100
------------	-------	-----

Oleh karena itu, perkembangan ekosistem terumbu karang pada Perairan Nusa Penida tidak terlalu meningkat signifikan setiap tahunnya seperti pada hasil pengolahan data klorofil-a, suhu permukaan laut dan salinitas pada hasil dibawah ini mempengaruhi pertumbuhan karang yang ada di Nusa Penida.

6. Analisis Ekosistem Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang di perairan Nusa Penida tahun 2019 memiliki luas sekitar 1.491 hektar dan terdiri dari tipe terumbu karang tepi yang mengelilingi Nusa Penida. Terdapat 296 jenis karang pada perairan ini (Jubaedah & Anas, 2019). Rata-rata tutupan karang keras di KKP Nusa Penida pada tahun 2019 sebesar 33.48% dan kemudian terjadi penurunan pada tahun 2020 menjadi 33.17%. Pada tahun 2021, terjadi peningkatan menjadi 43% yang kemungkinan besar disebabkan oleh adanya pandemi Covid-19 sehingga menyebabkan terhentinya segala aktivitas pariwisata bahari di Nusa Penida, sehingga memberi jeda waktu bagi karang untuk memulihkan kondisinya.

7. Faktor Penurunan Kondisi Terumbu Karang

Penurunan luasan tutupan karang pada tahun 2019-2020 diduga disebabkan oleh perubahan iklim yang menyebabkan perubahan suhu sehingga terjadi pemutihan karang (*bleaching*) dan kerusakan pada terumbu karang. Selain faktor alam, aktivitas manusia seperti penyelaman dan snorkeling pada *Manta Bay* yang banyak dilakukan oleh wisatawan di perairan Nusa Penida menyebabkan kerusakan fisik pada terumbu karang, seperti penjalaran, patahan, atau kerusakan akibat kontak fisik langsung dan penurunan luasan tutupan karang serta pembangunan sarana wisata. Peningkatan aktivitas manusia di sekitar perairan Nusa Penida dapat menyebabkan pencemaran, seperti limbah domestik, limbah industri, atau *run-off* dari pertanian, yang dapat merusak kualitas air dan berdampak negatif pada terumbu karang.

8. Dampak Kegiatan Snorkeling bagi Ekosistem Terumbu Karang

Adanya wisata bahari *snorkeling* di perairan Desa Sakti, Nusa Penida

berdampak dampak positif dan negatif. Dampak negatif dari banyaknya wisatawan yang datang yaitu kerusakan fisik pada terumbu karang akibat kontak langsung dengan penyelam yang tidak berhati-hati atau tidak mematuhi aturan, gangguan pada habitat dan kehidupan terumbu karang akibat kerumunan wisatawan seperti terinjak-injak atau terkena fin *snorkeling*, dan pencemaran lingkungan melalui pelepasan sampah, limbah, atau bahan kimia dari pengunjung dan peralatan snorkeling. Namun, juga terdapat dampak positif dari banyaknya wisatawan yang datang yaitu terbentuknya lapangan kerja dan meningkatnya pendapatan ekonomi masyarakat lokal. Selain itu, perubahan fungsi zona memiliki dampak positif dalam menambah pengetahuan tentang kekayaan ekosistem terumbu karang, namun juga menghadirkan dampak negatif seperti perubahan fisik dan kimia lingkungan serta kerusakan pada ekosistem terumbu karang.

9. Strategi dan Rekomendasi dalam Pengurangan Dampak Negatif

Melihat beberapa dampak negatif yang ditimbulkan oleh adanya kegiatan wisata snorkeling di wilayah perairan Desa sakti, Nusa Penida, Bali ini maka untuk menyelesaikan masalah tersebut perlu strategi tepat dengan membatasi jumlah snorkeler yang diizinkan masuk ke area terumbu karang pada satu waktu, untuk mengurangi kerumunan dan potensi kerusakan fisik serta mengatur jadwal waktu snorkeling untuk meminimalkan gangguan terhadap ekosistem terumbu karang (Jubaedah & Anas, 2019). Selain itu, pengelola dapat menerapkan peraturan *snorkeling* yang ketat, seperti tidak menyentuh terumbu karang hidup apalagi merusaknya dengan mematahkannya atau mengambilnya, menjaga jarak yang aman dengan biota laut, dan tidak menggunakan krim tabir surya berbahan kimia berbahaya serta menyediakan petugas yang bertugas untuk mengawasi dan mengontrol aktivitas snorkeling di area terumbu karang. Melakukan pemantauan dan pemeliharaan terhadap terumbu karang pembersihan laut setiap minggu sekali dengan ikut melibatkan masyarakat sekitar. Seharusnya status pengelolaan kawasan KKP Nusa penida sudah ditetapkan wewenangnya kepada kabupaten agar pengelolaan wilayah pesisir tidak berubah-ubah dari kabupaten kembali ke provinsi. Penutupan sementara lokasi wisata bahari *snorkeling* di Nusa Penida, Bali jika kondisi terumbu karang sedang tidak baik atau dalam keadaan rusak parah, perlu dilakukan agar pengelola KKP Nusa penida dapat memulihkan keadaan ekosistem terumbu karang yang mengalami kerusakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data citra, terlihat bahwa kondisi terumbu karang pada Perairan Nusa Penida, Bali dalam kondisi sedang dan mengalami penurunan luas dari 1.491 hektar pada tahun 2019 menjadi 1.341 hektar pada tahun 2023, dengan luas 969 Ha terumbu karang dalam kondisi baik dan 372 Ha rusak. Penurunan ini disebabkan oleh banyaknya kunjungan wisatawan ke pantai di Nusa Penida dan wisata snorkeling di *Manta Bay*. Faktor fisik seperti suhu permukaan laut, salinitas, dan klorofil-A mempengaruhi pertumbuhan karang. Suhu permukaan laut di Nusa Penida tergolong rendah berkisar 27°C - 28°C , namun pada *Manta Bay* mencapai 28°C - 29°C , mendekati batas maksimal pertumbuhan karang yaitu 25°C - 30°C . Salinitas pesisir Nusa Penida sekitar 31‰ - 33‰ baik untuk pertumbuhan karang yaitu 30‰ - 35‰, tetapi di perairan terbuka mencapai 33‰ - 35‰ karena di pesisir dekat aliran sungai yang menyebabkan salinitas rendah karena air laut dan air tawar dari sungai tercampur. Kandungan klorofil-A di Nusa Penida tergolong sedang 1,553713 (oligotrofik), tetapi mengalami penurunan di *Manta Bay* menjadi 1,458519. Untuk mengurangi dampak pariwisata terhadap terumbu karang di Nusa Penida, perlu membatasi jumlah dan waktu wisata pantai serta melakukan pengelolaan untuk memulihkan ekosistem yang rusak.

DAFTAR PUSTAKA

- Azka, L. M. (2019). Analisa Luasan Terumbu Karang Berdasarkan Pengolahan Data Citra Satelit Lansat 8 menggunakan Algoritma Lyzenga. *Jurnal Jaringan Telekomunikasi (Journal of Telecommunication Networks)*, 8(1), 18-24.
- Bato, M., Yulianda, F., & Fahrudin, A. (2013). Kajian manfaat kawasan konservasi perairan bagi pengembangan ekowisata bahari: Studi kasus di kawasan konservasi perairan Nusa Penida, Bali. *Depik*, 2(2).
- Chairunnisa, A., Cahyani, E. P., Maulida, V., Lestari, D. A., & Ahmad, T. E. (2022). ANALISIS PERUBAHAN LUASAN TERUMBU KARANG MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 DI PULAU MATAHORA, WAKATOBI. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 13(1), 103-110.
- Irawan J, Sasmito B, Suprayogi A. 2017. Pemetaan Sebaran Terumbu Karang dengan Metode Algoritma Lyzenga secara Temporal Menggunakan Citra Landsat 5, 7, dan 8 (Studi Kasus: Pulau Karimunjawa). *Jurnal Geodesi Undip*. 6(2): 56-61.

- Jubaedah, I., & Anas, P. (2019). Dampak pariwisata bahari terhadap ekosistem terumbu karang di perairan Nusa Penida, Bali. *Jurnal Penyuluhan Perikanan Dan Kelautan*, 13(1), 59-75.
- Kamil, M. H. I., Kastolani, W., & Rahmafritria, F. (2015). PERENCANAAN EKOWISATA DI DESA SAKTI PULAU NUSA PENIDA PROVINSI BALI. *Jurnal Manajemen Resort dan Leisure*, 12(1).
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut. Jakarta, hal. 32.
- Maududi, M. A., & Luthfi, O. M. (2018). Tutupan makroalga pada terumbu karang di kawasan konservasi perairan (KKP) Nusa Penida, Bali. *Depik*, 7(1), 69-75.
- Muftiadi, M. R., Aisyah, S., Farhaby, A., Gustomi, A., & Supratman, O. (2019). Kajian Mutu Air Laut Dan Lingkungan Kawasan Pesisir Kabupaten Bangka Selatan. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*, 13(1), 79-86.
- Muhtar, F., Armijon, A., Murdapa, F., & Fadly, R. (2019). Analisa Luasan Terumbu Karang Di Perairan Pulau Tegal Lampung Dengan Teknologi Penginderaan Jauh. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(2), 141-153.
- Naiu, C. A., Sahami, F. M., & Hamzah, S. N. (2014). Kondisi Terumbu Karang di Perairan Desa Bintalahe Kecamatan Kabila Bone Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. *The Nike Journal*, 2(1).
- Patty, S. I., & Akbar, N. (2018). kondisi suhu, salinitas, ph dan oksigen terlarut di perairan terumbu karang Ternate, Tidore dan sekitarnya. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 1(2).
- Philiani I, Saputra L, Harvianto L, Muzaki AA. 2016. Pemetaan Vegetasi Hutan Mangrove Menggunakan Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Desa Arakan, Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. *Surya Octagon Interdisciplinary Journal of Technology*. 1(2): 211-222.
- Putri, K. A., & Arifin, W. A. (2022). PEMANFAATAN CITRA SATELIT LANDSAT 8 UNTUK MEMETAKAN HUTAN MANGROVE WISATA BAHARI PANTAI KARANGANTU, TELUK BANTEN. *Jurnal Sains Informasi Geografi (J SIG)*, 5(2), 82-92.
- Rizqia, A., Sunarto, S., Agung, M. U. K., & Riyantini, I. (2022). Kondisi Tutupan Terumbu Karang Dan Tingkat Prevalensi Penyakit Serta Gangguan Kesehatan Pada Berbagai Lifeforms Karang Di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu. *Jurnal Kelautan Nasional*, 17(1), 47-58.

- Sanjaya, I. D. K. W., Merit, I. N., & Astarini, I. A (2022). STRATEGI PENGELOLAAN EFEKTIF EKOSISTEM TERUMBU KARANG DI KAWASAN KONSERVASI NUSA PENIDA. *ECOTROPHIC*. 16 (2). 122-134.
- Saputra, D. R. T., Rachmad, B., Sabariyah, N., & Maulita, M. (2022, December). HUBUNGAN KEMUNCULAN LUMBA-LUMBA HIDUNG BOTOL (*Tursiops aduncus*) DENGAN KARAKTERISTIK LINGKUNGAN DI PERAIRAN NUSA PENIDA, PROVINSI BALI. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL PERIKANAN INDONESIA* (pp. 349-363).
- Sumarno, D., & Muryanto, T. (2016). Kadar salinitas, oksigen terlarut, dan suhu air di unit terumbu karang buatan (TKB) Pulau Kotok Kecil dan Pulau Harapan Kepulauan Seribu–Provinsi DKI Jakarta. *Buletin Teknik Litkayasa Sumber Daya dan Penangkapan*, 12(2), 121-126.