

# Pemetaan Kerentanan Ekosistem Mangrove Berdasarkan Aspek Fisik, Biologi dan Antropogenik di Kawasan Taman Hutan Raya Ngurah Rai- Bali Berbasis SIG

I GD Yudha Partama<sup>1</sup>, Okti Krishna Wardhani<sup>1</sup>, Sang Putu Kaler Surata<sup>1</sup>, Putu Edi Yastika<sup>1</sup>, dan I Komang Tri Wijaya Kusuma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Mahasaraswati Denpasar; e-mail: [yudhapartama@unmas.ac.id](mailto:yudhapartama@unmas.ac.id)

<sup>2</sup>Balai Pengendalian Perubahan Iklim Wilayah Jawa Bali Nusa Tenggara

## ABSTRAK

Ekosistem mangrove di Tahura Ngurah Rai berada di Kawasan strategis pariwisata Pulau Bali, yaitu antara Nusa Dua, Sanur, dan Kuta, sehingga ekosistem ini banyak mengalami tekanan. Peningkatan aktivitas di Kawasan tersebut meningkatkan kerentanan ekosistem mangrove terhadap beberapa aspek yaitu fisik, biologi, dan antropogenik. Selain itu, beberapa faktor seperti pembangunan proyek reklamasi, jarak terhadap TPA, aktivitas Pelabuhan, pencemaran lingkungan, dan perubahan iklim menyebabkan fenomena *dieback* dan kerusakan ekosistem mangrove. Tujuan dari penelitian ini yaitu: 1) mengetahui Indeks Nilai Penting (INP) ekosistem mangrove berdasarkan parameter fisik mangrove, dan 2) memetakan tingkat kerentanan ekosistem mangrove berdasarkan aspek biologi, dan antropogenik. Pada penelitian ini lokus penelitian dibagi menjadi tiga stasiun. Parameter fisik mangrove dianalisis melalui perhitungan INP yang merupakan akumulasi kerapatan relatif, frekuensi relative, dan dominansi relative. Pemetaan kerentanan dilakukan dengan menghitung Indeks Kerentanan Mangrove (MVI) yang terdiri dari Indeks Biologi Mangrove (BMI), dan Indeks Antropogenik Mangrove (AMI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba* dan *Rhizophora mucronata*, memiliki nilai indek tertinggi pada stasiun A, B dan C. Indek terendah pada stasiun A didominasi oleh jenis *Sonneratia alba*, stasiun B jenis *Rhizophora stylosa* dan stasiun C didominasi oleh jenis *Ceriops tagal*. Tingkat kerentanan mangrove bervariasi pada masing-masing stasiun, Stasiun A menunjukkan dominasi kerentanan tingkat sedang hingga sangat tinggi, stasiun B menunjukkan tingkat kerentanan sedang, tinggi dan sangat tinggi. Sedangkan tingkat kerentanan stasiun C didominasi kategori sedang dan tinggi. Luas hutan mangrove yang termasuk dalam kategori kerentanan sangat rendah adalah sebesar 2,52 Ha, rendah sebesar 26,81 Ha, sedang 769,80 Ha, tinggi 241,57 Ha dan sangat tinggi sebesar 31,12 Ha.

**Kata kunci:** ekosistem mangrove, SIG, indek kerentanan mangrove, indek nilai penting, Tahura Ngurah Rai

## ABSTRACT

Mangrove ecosystems in Tahura Ngurah Rai are in the strategic tourism area of Bali Island, between Nusa Dua, Sanur, and Kuta areas, so this ecosystem is under a lot of pressure. Increased activity in the area can increase the vulnerability of mangrove ecosystems to several aspects, including physical, biological, and anthropogenic. In addition, several factors such as the reclamation projects, distance to landfill, port activities, environmental pollution, and climate change cause the phenomenon of dieback to mangrove ecosystem. The objectives of this study are: 1) to determine the Important Value Index (IVI) of mangrove based on physical parameters, and 2) to map the vulnerability of mangrove ecosystem based on biological, and hazard aspects. In this study, the research locus was divided into three stations. Mangrove physical parameters were analysed through the calculation of IVI which is the accumulation of relative density, relative frequency, and relative dominance. Vulnerability mapping is done by calculating the Mangrove Vulnerability Index (MVI) which consists of Biological Mangrove Index (BMI) and Anthropogenic Mangrove Index (AMI). The results showed that *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, and *Rhizophora mucronata* had the highest index value at Stations A, B and C. The lowest index at Station A was shown by *Sonneratia alba*, Station B by *Rhizophora stylosa*, and Station C by *Ceriops tagal*. The level of mangrove vulnerability varies at each station, Station A shows the dominance of moderate until very high levels, Station B shows a moderate level of MVI. Station C is dominated by the medium and high level of MVI. The area of mangrove forests included in the very low MVI is 2.52 Ha, low is 26.81 Ha, medium is 769.80 Ha, high is 241.57 Ha, and very high is 31.12 Ha.

**Keywords:** mangrove ecosystem, GIS, mangrove vulnerability index, importance value index, Tahura Ngurah Rai

**Citation:** Partama, I.G.Y., Wardhani, O.K., Surata, S.P.K., Yastika, P.E., dan Kusuma, K.T.W. (2024). Pemetaan Kerentanan Ekosistem Mangrove Berdasarkan Aspek Fisik, Biologi dan Antropogenik di Kawasan Taman Hutan Raya Ngurah Rai- Bali Berbasis SIG. Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(3), 648-657, doi:10.14710/jil.22.3.648-657

## 1. PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove identik dengan wilayah yang harus dikonservasi karena sifatnya yang saling menunjang di wilayah transisi antara darat dan laut. Teluk Benoa menjadi salah satu wilayah maritim dengan status konservasi yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor. 46/Kepmen-KP/2019, tentang Kawasan Konservasi Maritim (KKM). Fisiografi wilayah KKM beririsan dengan ekosistem mangrove di Tahura Ngurah Rai dimana kedua area konservasi ini sangat penting untuk dipertahankan.

Ekosistem mangrove di Tahura Ngurah Rai berada di kawasan strategis pariwisata Bali, antara Nusa Dua, Sanur dan Kuta mengakibatkan ekosistem ini mengalami banyak tekanan. Di sisi lain, Peraturan Pemerintah pun memiliki andil dalam pengembangan Kawasan Tahura Ngurah Rai. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2014 tentang Tata Ruang Perkotaan Denpasar, Badung, Gianyar, dan Tabanan, mengubah status hutan mangrove dari hutan lindung menjadi kawasan budidaya. Luas vegetasi hutan mangrove pun mengalami penurunan karena banyaknya alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian, akuakultur, pariwisata, dan pembangunan perkotaan. Underpass Simpang Tugu Ngurah Rai dengan panjang total 712 m dan lebar 16 m pun mengambil 34 are luas wilayah hutan Tahura dan pembabatan sekitar 750 pohon mangrove. Ancaman ini menyebabkan kerusakan 253,40 ha luas hutan mangrove di Kawasan Tahura Ngurah Rai Bali rusak parah (Lugina et al., 2017).

Jumlah kerusakan ini meningkat empat kali lipat dari jumlah kerusakan yang ditemukan dari Citra landsat 8 yang digunakan oleh (Rumada et al., 2015) yang hanya terjadinya kerusakan sebesar 43,11 ha. Berdasarkan hasil pemantauan melalui citra satelit Sentinel-2 pada bulan Januari 2019, terjadi fenomena *dieback* yang telah menghancurkan setidaknya 8,95 hektar area mangrove di Teluk Benoa, dan secara temporal dapat berpotensi menyebar ke wilayah sekitarnya dimana berujung pada kematian massal mangrove (Prasetyo, 2019). Fenomena ini sebagian besar menghancurkan mangrove di sebelah utara area reklamasi pembangunan proyek pelabuhan Benoa. Faktor pemicu utama fenomena *dieback* tersebut adalah tingginya sedimentasi yang masuk kedalam area mangrove sehingga menutupi sebagian besar akar nafas.

Tingginya intervensi pembangunan baik di kawasan mangrove Tahura Ngurah Rai dan wilayah maritim memicu perubahan fisiografi yang salah satunya ditandai oleh adanya sedimentasi. Laju sedimentasi yang diakibatkan oleh pengurugan (reklamasi) mendorong pendangkalan mencapai 0,23m – 0,35m/ tahun (Maharta & Suteja, 2019) dan memicu terhambatnya pertumbuhan jenis mangrove seperti *Avicenia* (Sidik et al., 2016) bahkan kematian akibat terganggunya respirasi akar pneumatophora.

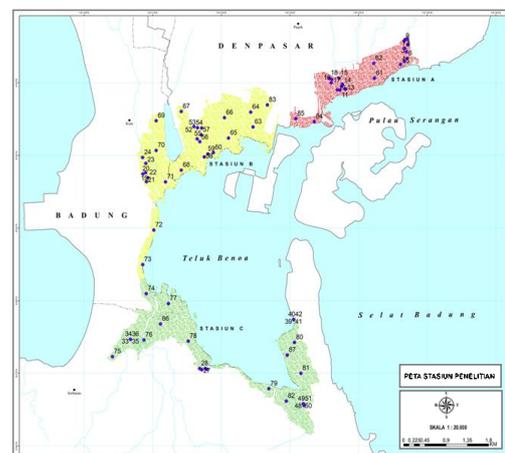
Dengan adanya indikasi kerusakan kerusakan yang lebih masif akibat sedimentasi di kawasan Tahura Ngurah Rai maka perlu untuk mengkaji tingkat kerentanan ekosistem mangrove. Berdasarkan pertimbangan pentingnya mangrove di Kawasan Tahura Ngurah Rai Bali sebagai komponen ruang dalam pembangunan berkelanjutan. Berbagai tekanan yang dialami kawasan tersebut mengindikasikan sensitivitas yang semakin tinggi. Eksistensi mangrove di kawasan Tahura Ngurah Rai sangat penting terlebih Bali merupakan pulau kecil yang membutuhkan mangrove sebagai penyangga pesisir. Beberapa penelitian yang telah dilakukan hanya menghitung jumlah luasan mangrove yang mengalami kerusakan. Namun, lokasi mangrove yang berpotensi mengalami kerusakan atau memiliki tingkat kerentanan tinggi belum dapat dipetakan.

Untuk itu, tujuan dari penelitian ini adalah memetakan kerentanan ekosistem mangrove menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) berdasarkan parameter indek fisik, biologi (BMI) dan indek *hazard*/antropogenik (AMI) sehingga diketahui lokasi-lokasi yang rentan dan luasan mangrove berdasarkan tingkat kerentanannya. Selain itu, peta kerentanan yang dihasilkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan dan konservasi ekosistem mangrove di Tahura Ngurah Rai kedepannya.

## 2. METODE

### 2.1 Lokasi Penelitian

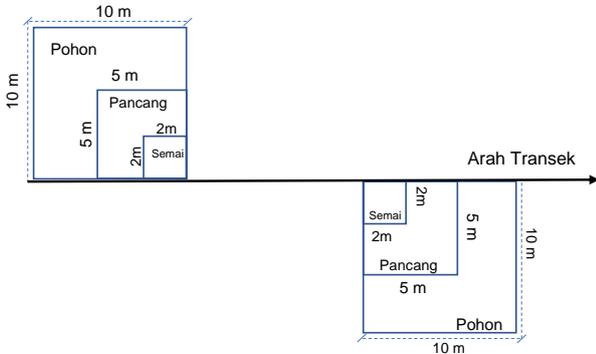
Penelitian ini dilakukan di Kawasan Tahura Ngurah Rai Bali yang secara geografis terletak pada 115°10'-115°15'BT dan 8°41'-8°47'LS. Secara administratif berada diantara Kecamatan Kuta, Kabupaten Badung dan Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar. Lokasi ini merupakan satu-satunya kawasan konservasi yang didominasi oleh tegakan mangrove dengan luas total sebesar 1373,5 ha. Terdapat 33 jenis mangrove yang terdiri dari 17 jenis termasuk kelompok mangrove sejati dan 16 termasuk asosiasi (Darmadi & Ardhana, 2010). Pada penelitian ini, lokasi penelitian dibagi menjadi tiga stasiun (A, B, dan C) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian (Tahura Ngurah Rai)

## 2.2 Pengumpulan Data

Pengukuran parameter fisik mangrove dilakukan secara in-situ meliputi pengukuran tinggi, diameter, dan jenis vegetasi mangrove yang dilakukan dengan *stratified random sampling*, dengan meletakkan transek plot ukur sejajar dengan arah laut seperti pada Gambar 2 (Onrizal & Kusmana, 2008).



Gambar 2 Skema transek pengambilan data in-situ vegetasi mangrove

Data in-situ berupa parameter biologi yang terdiri dari suhu dan salinitas didapatkan dengan melakukan pengukuran langsung dilapangan pada tiga stasiun. Sedangkan data kerapatan vegetasi dan parameter antropogenik mangrove didapatkan dari Citra Satelit Landsat 8 dan Peta RBI skala 1:25000. Jenis, sumber, dan teknik pengumpulan data parameter biologi dan antropogenik mangrove disajikan pada Tabel 1.

## 2.3 Analisis Data

### 2.3.1 Indek Nilai Penting (INP)

INP suatu jenis berkisar antara 0-300 yang merupakan akumulasi dari nilai kerapatan relatif (KR), frekuensi relatif (FR) dan dominasi relatif (DR). Nilai KR mengindikasikan perbandingan antara jumlah tegakan jenis ke-i dan total tegakan seluruh jenis. Peluang untuk ditemukannya suatu jenis dengan total seluruh jenis dianalisis sebagai FR. Sedangkan nilai DR menunjukkan dominasi suatu jenis terhadap seluruh jenis. Rumus menghitung INP adalah sebagai berikut:

$$INP = KR + FR + DR \dots \dots \dots (1)$$

### 2.3.2 Indek Kerentanan Mangrove (MVI)

Metode skoring dilakukan untuk menganalisis tingkat kerentanan ekosistem mangrove dengan terlebih dahulu menentukan variabel dan indikator yang akan digunakan dalam penilaian. Penentuan tingkat kerentanan berdasarkan nilai peringkat 1 (sangat rendah) hingga 5 (sangat tinggi). Nilai tinggi mengindikasikan sensitivitas mangrove terhadap kondisi pesisir (tingkat kerentanan tinggi), dan sebaliknya nilai rendah menunjukkan tingkat kerentanan ekosistem yang rendah. Tabel 2 menunjukkan ranking tiap-tiap parameter.

Tabel 1. Jenis, Sumber, dan Teknik Pengumpulan Data

Jenis data	Sumber data	Teknik pengumpulan dan analisis data
<b>Parameter Biologi</b>		
NDVI	Citra Landsat 8 Tahun 2022	a. Menghitung indek vegetasi (NDVI) menggunakan <i>tool raster calculator</i> di ArcGIS b. Melakukan klusterisasi
Salinitas	In-situ	a. Pengukuran salinitas menggunakan refraktometer dan pencatatan koordinat titik sampling b. Mengubah data analog menjadi data vector c. Melakukan interpolasi <i>Inverse distance weighted</i> (IDW) d. Melakukan klusterisasi
Suhu	In-situ	a. Pengukuran temperatur menggunakan termometer b. Mengubah data analog menjadi data vector c. Melakukan interpolasi IDW d. Melakukan klusterisasi
Jarak mangrove terhadap garis pantai	Peta RBI skala 1:25.000	Melakukan <i>geoprocessing-buffer</i> jarak dari garis pantai
<b>Parameter Antropogenik</b>		
Sedimentasi	Hasil Pemodela menggunakan FVCOM (Maharta et al 2019)	a. Melakukan klusterisasi b. Mengubah data raster menjadi data polygon
Jarak dari pemukiman	Peta RBI skala 1:25.000	Melakukan <i>geoprocessing-buffer</i> jarak dari pemukiman
Jarak dari pelabuhan	Peta RBI skala 1:25.000	Melakukan <i>geoprocessing-buffer</i> jarak dari pelabuhan
Jarak dari TPA	Peta RBI skala 1:25.000	Melakukan <i>geoprocessing-buffer</i> jarak dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Table 2. Perangkingan Indek Kerentanan Mangrove (Ahmad et al., 2021)

Para meter	1	2	3	4	5
	Sangat rendah	rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
<b>Parameter Biologi</b>					
Salinitas (ppt)	0-15	15-25	25-30	30-40	>41
NDVI	0,500-1,000	0,140-0,500	0,090-0,140	0,025-0,090	-1,00-0,025
Suhu (°C)	26,30-27,64	27,64-28,97	28,97-30,31	30,31-31,65	31,65-32,99
Jarak terhadap garis pantai (m)	240-600	120-240	80-120	40-80	0-40
<b>Parameter Antropogenik</b>					
Jarak terhadap Pemukiman (m)	1250	1000	750	500	250
Jarak terhadap Pelabuhan (m)	9.000	7.200	5.400	3.600	1.800
Jarak terhadap TPA (m)	1.250	1.000	750	500	250
Sedimen Tasi (mg/cm <sup>2</sup> /hari)	0,004-3,970	3,970-7,930	7,930-11,900	11,900-15,860	15,860-19,830

Penentuan tingkat kerentanan mangrove (MVI) dilakukan dengan menjumlahkan indeks BMI, dan

HMI menggunakan tool *Weighted Overlay* pada Software ArcGIS, seperti pada persamaan dibawah ini:

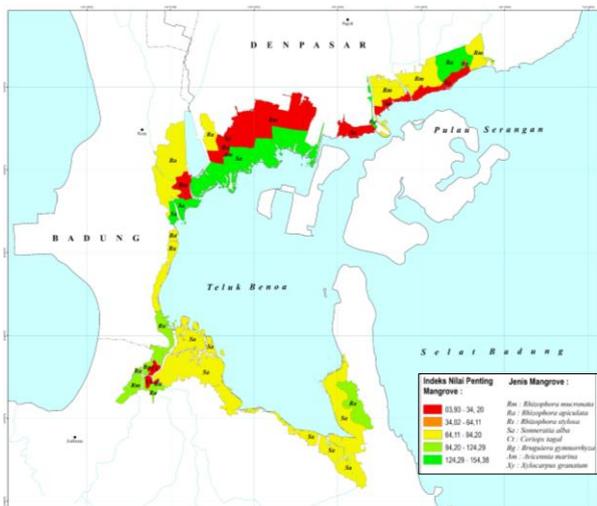
$$MVI = [\text{salinitas}] + [\text{NDVI}] + [\text{suhu}] + [\text{jarak pantai}] + [\text{pemukiman}] + [\text{pelabuhan}] + [\text{sedimentasi}] + [\text{TPA}] \dots \dots \dots (2)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Indek Nilai Penting (INP)

Analisa INP dilakukan pada tiga stasiun pengamatan dan dilakukan kepada strata tingkat pohon yang direpresentasikan melalui Tabel 3. Hasil analisa menunjukkan bahwa indeks *Rhizophora apiculata* tertinggi diantara tiga jenis lainnya di stasiun A. Indek pada stasiun B dan C masing – masing didominasi oleh *S. alba* dan *R. mucronata*. Nilai indeks yang ditunjukkan oleh ketiga spesies tersebut mencirikan kemampuan adaptif yang sangat baik terhadap habitatnya sehingga mampu membentuk tegakan murni yang solid sehingga memperkecil peluang jenis lainnya untuk tumbuh di lokasi tersebut. Ketiga jenis mangrove ini merupakan bagian dari *true mangrove* yang memiliki karakter morfologi spesifik yang berperan untuk kompetisi dengan mangrove kelompok minor (Younes, 2019).

Berdasarkan analisis secara spasial diketahui bahwa indek nilai penting vegetasi mangrove di lokasi penelitian terbagi menjadi lima kelas. Jenis *S. alba* di stasiun B dan *R. apiculata* di stasiun A termasuk dalam kategori sangat tinggi. Kategori tinggi ditunjukkan oleh jenis *R. apiculata* dan *R. mucronata* di stasiun C. Pada kategori sedang didominasi oleh jenis *R. mucronata* di stasiun A, *R. apiculata* di stasiun B dan jenis *S. alba* di stasiun C. Nilai indek kategori rendah ditunjukkan oleh jenis *B. Gymnorhiza* di stasiun A, sedangkan kategori sangat rendah tersebar di ketiga stasiun yaitu jenis *S. alba*, *Avicennia marina*, *R. mucronata*, *Xylocarpus granatum*, dan *C. Tagal* (Gambar 3).

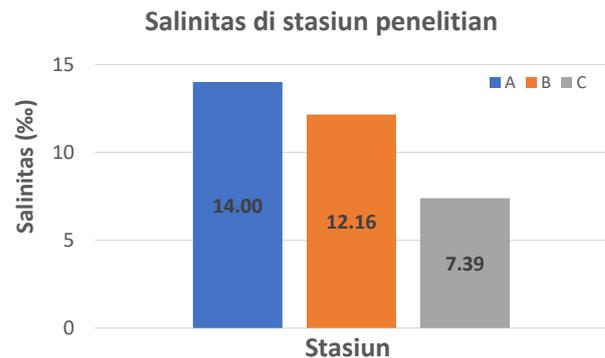


Gambar 3 Peta Sebaran INP Ekosistem Mangrove di Tahura Ngurah Rai

### 3.2. Indek Biologi Mangrove (BMI)

#### 3.2.1 Salinitas

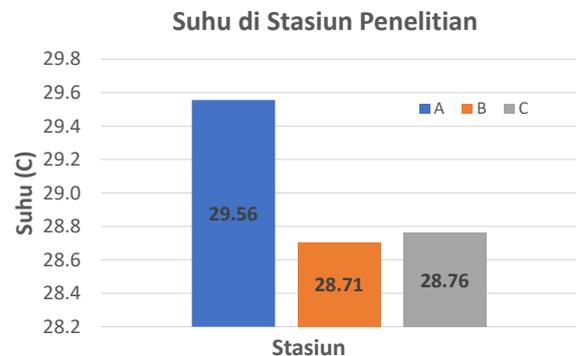
Salinitas merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada pembentukan zonasi mangrove. hasil analisa menunjukkan keadaan salinitas termasuk dalam kategori oligohaline dan mesohaline dengan rata-rata kadar 14,0 ppt, 12,16 ppt, 7,39 ppt masing – masing pada stasiun A, B dan C (Gambar 4). Ketiganya termasuk kategori sangat rendah s.d moderat. Pada wilayah tropis mangrove dapat mentoleransi kadar salinitas 10 ppt–30 ppt (Tomlinson, 2016), sebaliknya pada kadar salinitas melebihi 40 ppt dapat menyebabkan *dieback* (Lovelock et al., 2017; Saenger, 2002).



Gambar 4 Kondisi Salinitas di Stasiun Penelitian

#### 3.2.2 Suhu

Pada ekosistem mangrove, parameter suhu merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi proses fotosintesis. Berdasarkan hasil analisa lapangan diketahui bahwa suhu rata – rata di stasiun A adalah 29,56 °C, sedangkan stasiun B dan C masing – masing sebesar 28,71°C dan 28,76 °C, sebagaimana disajikan pada Gambar 5. Suhu yang terdapat di stasiun pengamatan berada dalam rentang ideal bagi mangrove sebagaimana dinyatakan oleh Clough (2013) bahwa mangrove dapat tumbuh dengan baik pada suhu lebih dari 20°C dengan fluktuasi suhu musiman tidak lebih dari 5°C.



Gambar 5 Kondisi Suhu di Stasiun Penelitian

**Tabel 3.** Nilai INP masing-masing spesies mangrove di setiap stasiun pengamatan

Stasiun	Nilai INP Spesies Mangrove							
	<i>R. Mucronata</i>	<i>R. Apiculata</i>	<i>R. Stylosa</i>	<i>S. Alba</i>	<i>B. gymnorrisa</i>	<i>A. marina</i>	<i>X. granatum</i>	<i>C. tagal</i>
A	85,8	147,6		22,5	44,1			
B	61,0	61,6	12,7	117,3		38,6	8,8	
C	120,1	101,6		70,4				7,9

**3.2.3 Kerapatan Vegetasi Mangrove (NDVI)**

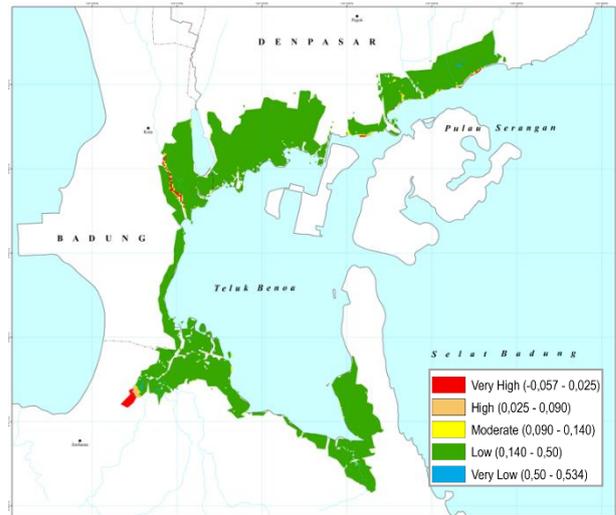
Vegetasi merupakan salah satu unsur penyusun tutupan wilayah sekaligus sebagai indikator tingkat kerusakan suatu ekosistem. Nilai NDVI yang diperoleh dari citra satelit optik melalui perhitungan saluran *near infrared* (NIR) dan saluran *red* yang direfleksikan oleh tumbuhan menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi. Pada lokasi penelitian didapatkan tiga kategori tutupan vegetasi yaitu rapat (0,6 - 0,79), cukup rapat (0,4-0,6) dan tidak rapat (0,2 - 0,4). Gambar 6 menunjukkan kerapatan vegetasi mangrove tertinggi pada *medium -high tide zone*. Hal ini dapat disebabkan karena komposisinya didominasi oleh *Rhizophora* yang memiliki karakter mudah berkembangbiak karena menghasilkan benih berupa propagule dalam jumlah besar dalam sekali musim pembuahan. Adaptasi reproduktif mendukung kemampuannya mengokupansi wilayah tumbuhnya. Pada zona ini sangat jarang memberi kesempatan kepada spesies lainnya untuk tumbuh (Schaduw, 2019).

Pada area yang tingkat kerapatannya rendah sampai medium biasanya dihuni oleh jenis pionier seperti *S. alba* dan *A. alba* yang tumbuh paling dekat dengan laut mencirikan karakter pada *low-tide zone* mangrove. Keduanya memiliki karakter *crypto vivivar* dimana anakan alaminya sangat sulit berkembang karena sifat bijinya yang mudah hanyut (Sunarni et al., 2019). Disamping karakter tersebut, perkembangan kerapatan yang lebih lambat dipengaruhi juga oleh kestabilan substratnya yang terganggu oleh sedimentasi maupun aktivitas manusia, seperti terlihat pada Stasiun B dan C sebagian besar vegetasi mangrove yang berada dekat dengan muara sungai dan pemukiman memiliki tingkat kerapatan yang rendah sehingga memiliki tingkat kerentanan yang tinggi, demikian halnya dengan Stasiun A, beberapa vegetasi yang berdekatan dengan TPA dan daerah reklamasi memiliki tingkat kerapatan yang rendah.

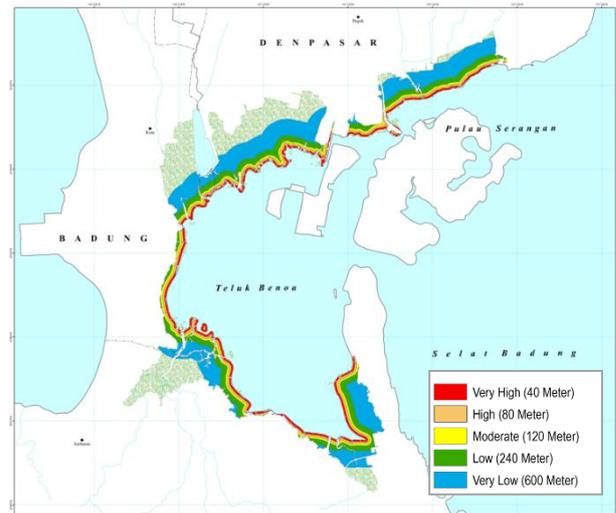
**3.2.4 Jarak Terhadap Garis Pantai**

Hasil *buffering* menunjukkan bahwa komposisi kategori kerentanan mangrove tersebar merata di semua stasiun. Hal tersebut menunjukkan bahwa ketiga stasiun penelitian memiliki potensi tingkat gangguan yang sama jika dilihat dari parameter jarak terhadap garis pantai. Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin dekat jarak garis pantai terhadap vegetasi mangrove, maka akan berpotensi meningkatkan kerentanan terhadap ekosistem mangrove karena potensi intervensi aktivitas di perarian semakin tinggi seperti arus, pasang-surut, gaya hidrodinamika gelombang, dan aktivitas pelayaran (Rachmadianti et al., 2018). Selain itu, akibat fenomena alam seperti

arus yang kuat dan gelombang yang besar pada musim tertentu dapat mempercepat terjadinya abrasi dan perubahan garis pantai sehingga dapat mengancam habitat hutan mangrove (Siburian et al., 2020).



**Gambar 6** Peta Kerentanan Mangrove Berdasarkan Nilai NDVI



**Gambar 7** Peta Kerentanan Mangrove Berdasarkan Jarak Terhadap Garis Pantai

**3.3. Indeks Antropogenik Mangrove (AMI)**

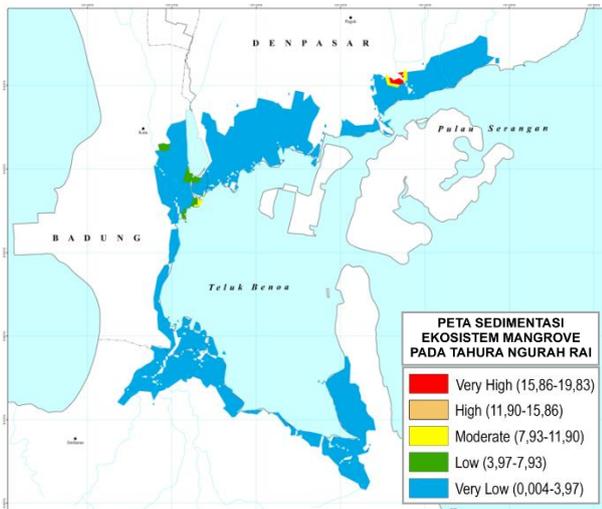
**3.3.1 Sedimentasi**

Sedimentasi erat kaitannya dengan proses pasang – surut, kecepatan arus dan konsentrasi padatan tersuspensi (Maharta et al., 2019). Hasil analisa menunjukkan dominasi ketegori tinggi, sebagian kecil sedang dan sangat tinggi dan sangat rendah dan rendah. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kecepatan arus yang rendah sehingga konsentrasi padatan cenderung

Partama, I.G.Y., Wardhani, O.K., Surata, S.P.K., Yastika, P.E., dan Kusuma, K.T.W. (2024). Pemetaan Kerentanan Ekosistem Mangrove Berdasarkan Aspek Fisik, Biologi dan Antropogenik di Kawasan Taman Hutan Raya Ngurah Rai- Bali Berbasis SIG. Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(3), 648-657, doi:10.14710/jil.22.3.648-657

mengendap menuju dasar (Franz et al., 2017) dan konsentrasi padatan tersuspensi yang tinggi akan memiliki laju sedimentasi yang tinggi (Aprilia & Pratomo, 2017). Gambar 8 menunjukkan keadaan pengaruh sedimentasi di kawasan mangrove Tahura Ngurah Rai yang mengindikasikan kerentanan sedang dan sangat tinggi pada area yang berdekatan dengan area reklamasi pengembangan dermaga pelabuhan Benoa.

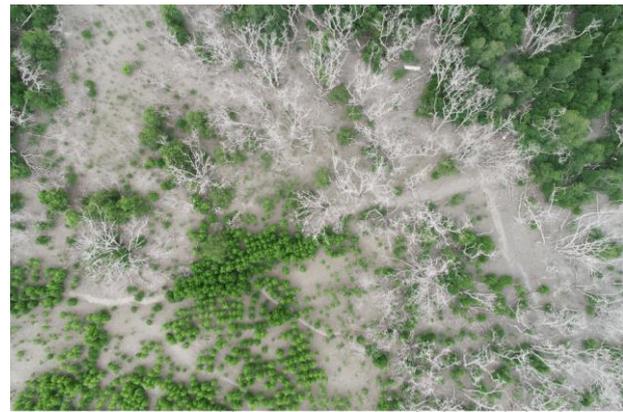
Mangrove *dieback* sebagian besar didominasi oleh spesies *S. alba* (Gambar 9), karena spesies tersebut merupakan spesies plasma nutfah dominan yang berada pada zona terluar (dekat lautan). Sebagian besar fenomena *dieback* pada mangrove diakibatkan oleh tingginya sedimentasi lumpur dan pendangkalan pasang surut air laut pada kawasan tersebut yang diakibatkan oleh proyek reklamasi, sehingga sedimen yang mengalir ke kawasan hutan mangrove akan menutupi akar nafas, akibatnya mangrove mengalami defisit oksigen dan kematian (Mayalanda, 2014). Perlu adanya tindakan rehabilitasi untuk mengembalikan kondisi lingkungan seperti semula yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti membuat kanal-kanal untuk mengairi mangrove saat pasang surut air laut dan penanaman kembali pada kawasan terdampak dengan jenis mangrove yang sesuai (*Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, dan *Bruguiera*).



**Gambar 8** Peta Kerentanan Mangrove Berdasarkan Parameter Sedimentasi

### 3.3.2 Jarak Terhadap TPA

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Denpasar-Badung-Gianyar-Tabanan (Sarbagita) mengokupasi sebagian wilayah mangrove di Tahura Ngurah Rai. Sekitar 32,4 ha luas TPA tersebut telah merubah tutupan lahan yang sebelumnya merupakan ekosistem mangrove dan saat ini tidak ada jarak yang memisahkan antara TPA dengan ekosistem mangrove. Berdasarkan Gambar 10, sebagian besar ekosistem mangrove yang memiliki kerentanan tinggi terdapat pada Stasiun A, karena lokasi TPA yang berada pada Stasiun tersebut.

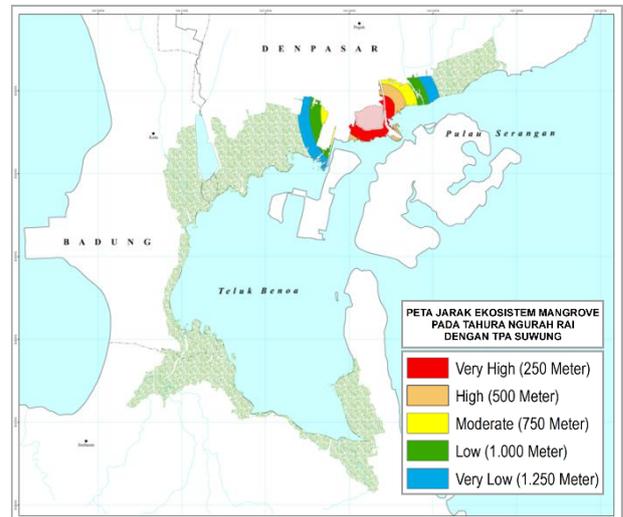


a) Foto Udara Kondisi Mangrove Pada Area Sedimentasi Tinggi



b) Sedimentasi Mengakibatkan Beberapa Mangrove Mengalami *Dieback*

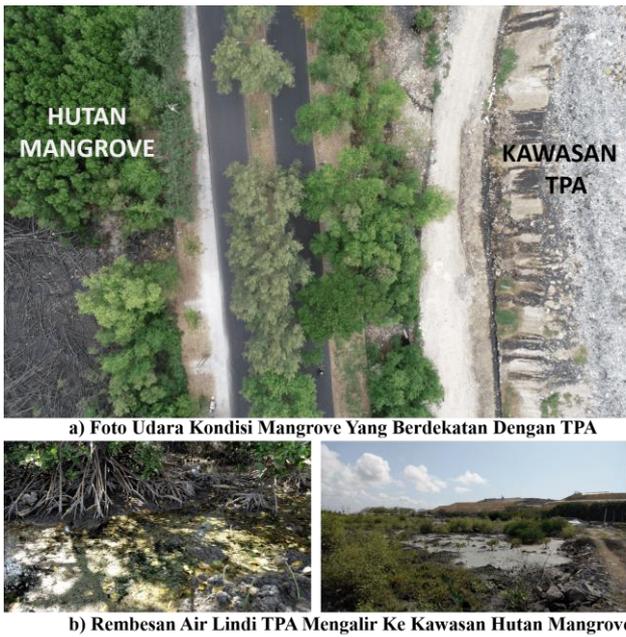
**Gambar 9** Kondisi Mangrove Pada Area Sedimentasi Tinggi



**Gambar 10** Peta Kerentanan Mangrove Berdasarkan Jarak Terhadap TPA

Hasil *groundcheck* menunjukkan jarak hutan mangrove dan TPA sangat dekat dan di beberapa lokasi terdapat rembesan air lindi yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan tanaman mangrove, selain itu beberapa pohon mangrove mengalami *dieback* akibat pencemaran air lindi dan sampah oleh TPA (Gambar 11). Keberadaan air lindi yang berlebihan pada kawasan hutan dapat mematikan tanaman dan memberikan dampak yang buruk pada lingkungan sekitar, karena dalam air lindi terdapat zat organik yang bersifat racun dan logam berat (Munawar, 2011). Keberadaan sampah berpengaruh terhadap terhadap regenerasi hutan mangrove, terutama sampah plastik yang dapat menutupi akar nafas pohon mangrove dan substrat sebagai media penancapan propagul mangrove. Hal ini ditunjukkan dengan kerapatan anakan pohon (semai) pada kawasan tidak ada sampah lebih besar

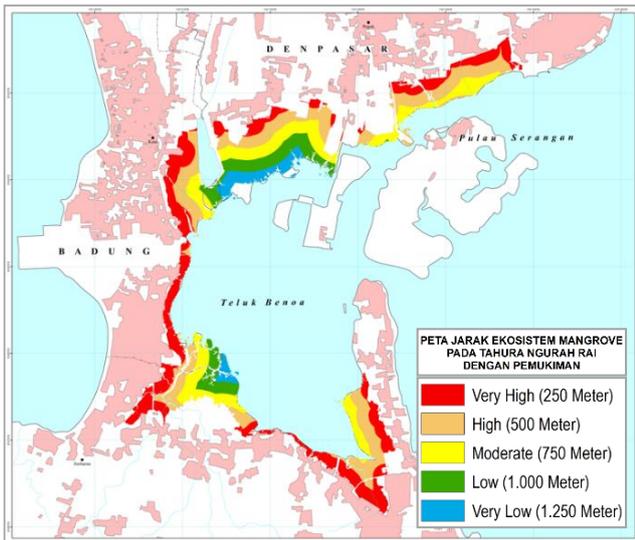
dibandingkan kawasan terdapat sampah (Lestari & Kusmana, 2015).



**Gambar 11** Kondisi Hutan Mangrove Pada Kawasan Dekat TPA

### 3.3.3 Jarak Terhadap Pemukiman

Pemukiman merupakan salah satu bagian *hazard* yang diperhitungkan sebagai salah satu parameter yang dapat mempengaruhi ekosistem mangrove di Tahura Ngurah Rai. Meningkatnya alih fungsi menjadi peruntukan lain berdampak pada perubahan tutupan mangrove sehingga kawasannya semakin terdesak (Lugina et al., 2017).



**Gambar 12** Peta Kerentanan Mangrove Berdasarkan Jarak Terhadap Pemukiman

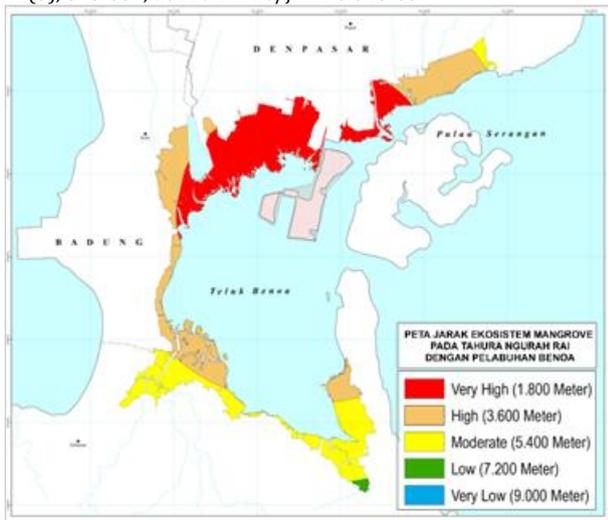
Berdasarkan hasil analisis spasial jarak permukiman terhadap kawasan mangrove menunjukkan bahwa tekanan terjadi pada kawasan mangrove pada zona belakang, yaitu areal transisi yang berdekatan dengan daratan di wilayah *high tide zone*. Tekanan terbesar terlihat pada rentang jarak 250 m tersebar di seluruh stasiun penelitian (Gambar 12). Stasiun A menunjukkan tingkat pengaruh pada tiga kelas yaitu sedang, tinggi dan sangat tinggi. Pada stasiun B memiliki lima kelas yaitu pengaruh sangat rendah pada area *fringing zone* mangrove sampai dengan sangat tinggi pada mangrove yang berada di *landward zone*. Sebagian stasiun C mengindikasikan tingkat pengaruh dengan kategori sangat rendah sampai sangat tinggi dan sebagian hanya pada kategori sedang, tinggi dan sangat tinggi.

### 3.3.4 Jarak Terhadap Pelabuhan

Kawasan mangrove di Tahura Ngurah Rai berhadapan langsung dengan pelabuhan Benoa yang aktivitasnya sangat tinggi dan berpeluang menerima tekanan berupa bahan pencemar yang dapat berdampak pada pertumbuhan mangrove karena terganggunya sistem pernapasan oleh akar nafas *pneumatophora*. Hasil analisis spasial yang disajikan pada Gambar 13 mengindikasikan pengaruh jarak pelabuhan dan dermaga terhadap kualitas mangrove saat ini.

Pada stasiun A, pengaruh jarak pelabuhan mengindikasikan tingkat pengaruh yang moderat, tinggi dan sangat tinggi. Pada stasiun B menunjukkan dua kategori pengaruh yaitu tinggi dan sangat tinggi. Sedangkan hasil analisis pada stasiun C menunjukkan kategori pengaruh pada tingkat moderat, tinggi dan sebagian kecil rendah.

Pencemaran yang sering terjadi di perairan akibat dari aktivitas pelabuhan dapat berupa tumpahan minyak akibat aktivitas bongkar muat maupun kebocoran pada lambung kapal, hal ini dapat mengakibatkan gangguan fisik pada vegetasi mangrove seperti (daun menguning dan berguguran), dan kerusakan permanen pada mangrove, akibat tertutupnya akar nafas mangrove oleh bahan pencemar seperti tumpahan minyak (Muarif et al., 2016). Berdasarkan Ananda (2017), aktivitas Pelabuhan Benoa yang paling berpotensi memberikan dampak terhadap mangrove adalah aktivitas di dermaga barat, timur, dan selatan, sehingga terjadi penurunan kualitas air laut di perairan dermaga. Berdasarkan hasil analisis tingkatan kerusakan ekosistem hutan mangrove, kondisi ekosistem hutan mangrove mengalami pencemaran. Kondisi kandungan kimia substrat mengalami penurunan kadar N Total dan P Tersedia. Indeks keanekaragaman spesies rendah serta indeks kemerataannya sedang.



**Gambar 13** Peta Kerentanan Mangrove Berdasarkan Jarak Terhadap Pelabuhan

### 3.4 Peta Kerentanan Mangrove Tahura Ngurah Rai

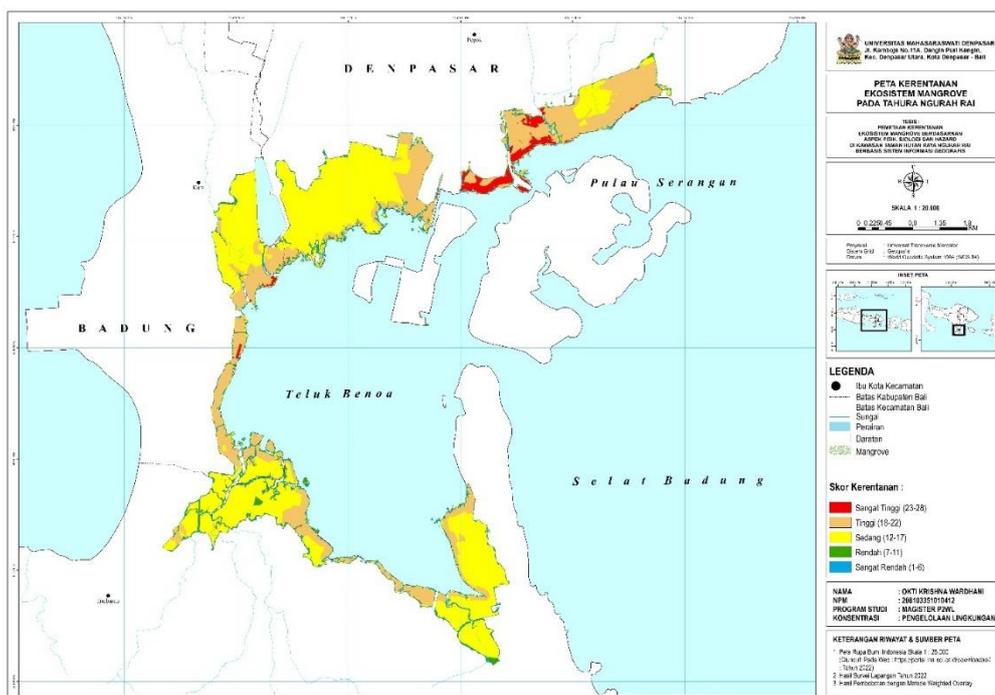
Tingkat kerentanan mangrove di Tahura Ngurah Rai diklasifikasi kedalam lima kategori, yaitu kategori sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Skor MVI dianalisa dari gabungan antara skor BMI dan HMI. Gambar 14 menunjukkan distribusi kerentanan mangrove di kawasan Tahura Ngurah Rai dan Tabel 4 menunjukkan luasan hutan mangrove

berdasarkan skor MVI di masing-masing stasiun. Berdasarkan hasil analisis, pada stasiun A menunjukkan dominansi kategori tingkat kerentanan sedang, tinggi dan sangat tinggi. Pada area yang menunjukkan kerentanan sangat tinggi diakibatkan oleh masifnya aktivitas antropogenik seperti aktivitas di TPA, pelabuhan dan reklamasi yang mengakibatkan sedimentasi (Maharta et al., 2019).

Stasiun B menunjukkan dominansi kerentanan pada tingkat sedang dan tinggi. Kondisi kerentanan pada kategori tinggi terindikasi di muara sungai sehingga dapat diasumsikan adanya pengaruh endapan sedimen dari aliran sungai dan juga eutrofikasi dampak dari bahan pencemar yang mengalir sampai ke muara. Pada titik yang termasuk dalam kategori tinggi dan sedang terdapat pada areal yang dipengaruhi langsung oleh alih fungsi mangrove menjadi peruntukan lain. Stasiun C menunjukkan dominansi tingkat kerentanan pada kategori sedang dan tinggi. Pada area dengan kategori MVI tinggi terjadi karena bentang mangrove yang semakin terdesak oleh masifnya pemukiman dan fasilitas umum di sepanjang jalur bandara menuju ke arah Jimbaran. Masifnya alih fungsi lahan mangrove dan kepadatan pemukiman di sekitar hutan mangrove dapat menurunkan kualitas ekosistem mangrove (Romadoni et al., 2023).

**Tabel 4.** Luasan mangrove berdasarkan skor MVI pada masing-masing stasiun di Tahura Ngurah Rai

Stasiun	Luas mangrove berdasarkan skor MVI (ha)					Total
	Sangat tinggi (23-28)	Tinggi (18-22)	Sedang (12-17)	Rendah (7-11)	Sangat rendah (1-6)	
A	28.82	102.80	64.19	1.64	0.04	197.48
B	2.30	81.04	387.89	7.66	1.07	479.94
C	-	57.73	317.73	17.51	1.41	394.38



**Gambar 14** Peta Kerentanan Ekosistem Mangrove (MVI) di Tahura Ngurah Rai

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan aspek fisik, struktur vegetasi mangrove di Tahura Ngurah Rai memiliki nilai INP yang menunjukkan bahwa jenis *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba* dan *Rhizophora mucronata*, memiliki nilai indek tertinggi pada stasiun A, B dan C. Ketiga spesies di masing – masing stasiun tersebut menunjukkan kemampuan beradaptasi yang baik terhadap habitatnya dan berperan penting dalam menjaga homeostatis dalam ekosistem mangrove. Indek vegetasi terendah pada stasiun A didominasi oleh jenis *Sonneratia alba*, stasiun B jenis *Rhizophora stylosa* dan stasiun C didominasi oleh jenis *Ceriops tagal*. Nilai indek yang rendah menunjukkan bahwa ketiga jenis tersebut hanya berkembang sporadis di masing - masing stasiun tersebut.

Berdasarkan nilai MVI, kondisi mangrove di Tahura Ngurah Rai termasuk dalam kategori kerentanan rendah sampai kategori sangat tinggi di masing-masing stasiun. Stasiun A menunjukkan tingkat kerentanan kategori sedang sampai sangat tinggi. Stasiun B dan C menunjukkan dominasi kerentanan tingkat sedang sampai tinggi. Tingkat kerentanan mangrove pada masing-masing stasiun dipengaruhi oleh aspek biologi (suhu, salinitas, kerapatan, dan jarak terhadap garis pantai) dan antropogenik (sedimentasi, jarak terhadap pemukiman, TPA, dan pelabuhan). Secara keseluruhan, tingkat kerentanan mangrove di Tahura Ngurah Rai adalah sebagai berikut: kerentanan sangat rendah sebesar 0,23%, rendah sebesar 2,5%, sedang sebesar 71,82%, tinggi sebesar 22,54%, dan sangat tinggi sebesar 3 %.

Parameter kerentanan mangrove memiliki peran dan pengaruh yang bervariasi terhadap ekosistem mangrove. Untuk itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji tingkat kerentanan mangrove dengan merumuskan nilai bobot masing-masing parameter fisik, biologi dan antropogenik ekosistem mangrove.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, F. et al., 2021. Mapping the Mangrove Vulnerability Index Using Geographical Information System. *International Journal of Innovative Computing* , Volume 11, pp. 69-81.

Ananda, K.D., 2017. *Kajian Kerusakan Lingkungan Ekosistem Hutan Mangrove TAHURA Ngurah Rai akibat Aktivitas Pelabuhan Benoa* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).

Aprilia, E. & Pratomo, D. G., 2017. Pemodelan Hidrodinamika 3-Dimensi Pola Persebaran Sedimentasi Pra dan Pasca Reklamasi Teluk Jakarta. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 6(2), pp. A539-544.

Clough, B., 2013. Continuing the journey amongst mangroves. *ISME mangrove educational book series*, (1), p.86.

Darmadi, A.A.K. and Ardhana, I.P.G., 2010. Komposisi Jenis-Jenis Tumbuhan Mangrove di Kawasan Hutan Perapat Benoa Desa Pemogan, Kecamatan Denpasar Selatan, Kodya Denpasar, Provinsi Bali. *Jurnal Ilmu Dasar*, 11(2), pp.167-171.

Franz, G., Delpy, M.T., Brito, D., Pinto, L., Leitão, P. and Neves, R., 2017. Modeling of sediment transport and morphological evolution under the combined action of waves and currents. *Ocean Science*, 13(5), pp.673-690.

Lestari, F., 2015. Pengaruh sampah terhadap kandungan klorofil daun dan regenerasi hutan mangrove di kawasan hutan lindung angke kapuk, jakarta utara. *Bonorowo Wetlands*, 5 (2), pp.77-84.

Lovelock, C. E. et al., 2017. *Mangrove dieback during fluctuating sea levels*, s.l.: www.nature.com/scientificreports/2Scientific RepoRts | 7: 1680 | DOI:10.1038/s41598-017-01927-6.

Lugina, M., Alviya, I., Indartik & Pribadi, M., 2017. Strategi Keberlanjutan Pengelolaan Hutan Mangrove Tahura Ngurah Rai Bali. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* , 14(Mei 2017), pp. 61-77.

Lugina, M., Alviya, L., Indartik & Pribadi, M., 2017. STRATEGI KEBERLANJUTAN PENGELOLAAN HUTAN MANGROVE DI TAHURA NGURAH RAI BALI. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* , Volume 14, pp. 61-77.

Maharta, I. P. R. H., Hendrawan, I. G. & Suteja, Y., 2019. Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik. *Journal of Marine and Aquatic Sciences* , Volume 5(1), 44-54 (2019).

Mayalanda, Y., Yulianda, F. and Setyobudiandi, I., 2014. Strategi rehabilitasi ekosistem mangrove melalui analisis tingkat kerusakan di Suaka Margasatwa Muara Angke, Jakarta. *Bonorowo Wetlands*, 4(1), pp.12-36.

Muarif, M., Damar, A., Hariyadi, S., Boer, M. and Soetrisno, D., 2016. Tingkat Kepekaan Mangrove Indonesia Terhadap Tumpahan Minyak (the Sensitivity Levels of Indonesian Mangrove to Oil Spills). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(3), pp.374-380.

Munawar, A., 2011. *Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*. 1st ed. Surabaya: UPN Press; 2011. 4 p.

Onrizal, K.C. and Kusmana, C., 2008. Studi ekologi hutan mangrove di pantai timur Sumatera Utara. *Biodiversitas*, 9(1), pp.25-29.

Prasetyo, H., 2019. *Degradasi Mangrove Indonesia: Fenomena Dieback Pada Kawasan Teluk Benoa Bali*, Denpasar: Mongabay.

Rachmadiani, A.D., Purwanti, F. and Latifah, N., 2018. Analisis kerentanan pantai menggunakan coastal vulnerability index (CVI) di wilayah pesisir Tanjung Pandan, Kabupaten Belitung. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 7(4), pp.298-306.

Romadoni, A. A., Ario, R., & Pratikto, I., 2023. Analisa Kesehatan Mangrove di Kawasan Ujung Piring dan Teluk Awur Menggunakan Sentinel-2A. *Journal of Marine Research*, 12(1), 71-82.

Rumada, I., Kesumadewi, A. & Suyarto, R., 2015. Interpretasi Citra Satelit Landsat 8 Untuk Identifikasi Kerusakan Mangrove di Tahura Ngurah Rai Bali. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4(3), pp.234-243.

Saenger, P., 2002. *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. s.l.:Springer, Science Business Media Dordrecht.

Schaduw, J.N.W., 2019. Struktur Komunitas dan Persentase Penutupan Kanopi Mangrove Pulau Salawati Kabupaten Kepulauan Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Majalah geografi indonesia*, 33(1), pp.26-34.

- Partama, I.G.Y., Wardhani, O.K., Surata, S.P.K., Yastika, P.E., dan Kusuma, K.T.W. (2024). Pemetaan Kerentanan Ekosistem Mangrove Berdasarkan Aspek Fisik, Biologi dan Antropogenik di Kawasan Taman Hutan Raya Ngurah Rai- Bali Berbasis SIG. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 648-657, doi:10.14710/jil.22.3.648-657
- Siburian, H.Y., Rifardi, R. and Tanjung, A., 2020. The Effect of Changes in The Shoreline of The Sea Law Implementation in West Rangsang Subdistrict, Kepulauan Meranti District. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 25(1), pp.53-63.
- Sidik, F., Neil, D. & Lovelock, C., 2016. Effect of high sedimentation rates on surface sediment dynamics and mangrove growth in the Porong River, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, pp. 355-363.
- Sunarni, S., Maturbongs, M.R., Arifin, T. and Rahmania, R., 2019. Zonasi dan struktur komunitas mangrove di pesisir Kabupaten Merauke. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(3), pp.165-178.
- Tomlinson, P., 2016. *The Botany of Mangroves (2nd ed.)*. s.l.:Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139946575.
- Younes, N., Joyce, K.E., Northfield, T.D. and Maier, S.W., 2019. The effects of water depth on estimating Fractional Vegetation Cover in mangrove forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83, p.101924.