



**MITIGASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP
EKOSISTEM MANGROVE PULAU KECIL DI TAMAN
NASIONAL KARIMUNJAWA**

**M. Arief Rahman Halim
NIM 30000119520016**

SEKOLAH PASCASARJANA

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2023

**MITIGASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM
TERHADAP EKOSISTEM MANGROVE PULAU
KECIL DI TAMAN NASIONAL KARIMUNJAWA**

Disertasi

Untuk memperoleh gelar Doktor
Dalam bidang Ilmu Lingkungan di Universitas Diponegoro

Untuk dipertahankan di hadapan
Dekan Sekolah Pascasarjana dan Tim Penguji pada Ujian Tertutup Disertasi
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro
Pada tanggal 6 bulan November tahun 2023 pukul 13.00 WIB

Oleh:

M. Arief Rahman Halim
NIM 30000119520016

SEKOLAH PASCASARJANA

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**MITIGASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP
EKOSISTEM MANGROVE PULAU KECIL DI TAMAN
NASIONAL KARIMUNJAWA**

Oleh:

M. Arief Rahman Halim
NIM 30000119520016

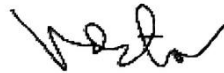
Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 6 bulan November tahun 2023
oleh Tim penguji Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

Promotor



Prof. Dr. Tri Retnaningsih
Soeprubowati, M.AppSc
NIP. 19640429 198903 2 001

Co-Promotor



Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc.
NIP.19751028 199903 1 004

Mengetahui,

Dekan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro



Dr. R. Silarto, S.H., M.Hum
NIP. 19670101 199103 1 005

Ketua Program Studi
Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro



Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si
NIP. 19750824 199903 1 003

HALAMAN PERSETUJUAN

**MITIGASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP
EKOSISTEM MANGROVE PULAU KECIL DI TAMAN
NASIONAL KARIMUNJAWA**

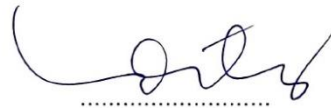
Oleh:

M. Arief Rahman Halim
NIM 30000119520016

Telah disetujui oleh:

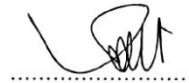
Pimpinan Sidang:

Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc. IPU



Sekretaris Sidang:

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.



Anggota Tim Penguji:

Prof. Dr. Ir. Erny Poedjirahajoe, M.P



Prof. Dr. Ir. Sutrisno Anggoro, M.S



Prof. Dr. Dra. Endah Dwi Hastuti, M.Si.



Prof. Dr. Tri Retnaningsih Soeprbowati, M.App.Sc



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Nama: M. Arief Rahman Halim, S.Kel., M.Ling.

NIM: 30000119520016

Tempat/Tanggal Lahir: Semarang, 19 September 1996

Program Studi: Doktor Ilmu Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi yang saya susun dengan judul :

“Mitigasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ekosistem Mangrove Pulau Kecil di Taman Nasional Karimunjawa”

Adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan plagiat dari disertasi atau karya ilmiah orang lain kecuali dengan acuan atau kutipan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila di kemudian hari pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademis yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk dapat dipergunakan bilamana diperlukan.

Semarang, 9 November 2023
Yang Membuat Pernyataan



M. Arief Rahman Halim, S.Kel., M.Ling
NIM. 30000119520016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT senantiasa penulis haturkan atas segala rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul **“Mitigasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ekosistem Mangrove Pulau Kecil di Taman Nasional Karimunjawa “**.

Tulisan disertasi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Doktor (S3) sebagai Doktor Ilmu Lingkungan pada Program Doktor Ilmu Lingkungan. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penyusunan proposal penelitian ini, yang terhormat:

1. Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum selaku Dekan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
2. Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
3. Prof. Dr. Tri Retnaningsih Soeprbowati, M.App.Sc. selaku Promotor yang banyak membantu dan memberi masukan dalam penyusunan Disertasi.
4. Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc, selaku Co-Promotor yang dengan sabar selalu mengarahkan dan membimbing dalam penyusunan Disertasi.
5. Istriku tercinta, Devita Faradina yang telah menjadi support system selama menyelesaikan studi S3.
6. Orang tua tercinta, Bapak Ali Sofyan dan Ibu Endang Suliana yang senantiasa berdoa dan memberikan motivasi sehingga program S3 ini dapat terselesaikan.
7. Bapak dan Ibu mertua tercinta, Bapak Didik Tri Prasetyo dan Ibu Erna Muryantini yang senantiasa berdoa dan memberikan motivasi sehingga program S3 ini dapat terselesaikan
8. Tim Penelitian Karimunjawa, Nirwan Niagara, Riandi Teguh, Teuku Fauzan, Herwiko Novian, Aulia Rahim, Atmari, Bapak Jumari, Mas Nurul, Mas Rokib, Dimas, yang turut membantu dalam survey lapangan, analisis data, dan analisa laboratorium.

9. Teman-teman DIL XIII dan DIL XIV, yang selalu memberikan semangat kebersamaan dan dukungan selama menjadi mahasiswa di program studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
10. Seluruh staff dan karyawan Program Doktor Ilmu Lingkungan dan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu - persatu.
11. Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan hibah dana penelitian kepada penulis melalui program Pendanaan Penelitian Perguruan Tinggi skema Penelitian Disertasi Doktor (PDD).

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan disertasi masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan disertasi. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang ilmu lingkungan.

Semarang, 9 November 2023



M. Arief Rahman Halim, S.Kel., M.Ling
NIM. 30000119520016

SEKOLAH PASCASARJANA

BIODATA PENULIS

1. Nama : M. Arief Rahman Halim
2. Tempat/Tgl.Lahir : Semarang/19 September 1996
3. Alamat : Jl. Kumudasmoro Dalam VII/4 Semarang
4. Riwayat Pendidikan :
 - S1 Oseanografi Universitas Diponegoro (2013 – 2017)
 - S2 Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro (2018 – 2019)
5. Riwayat Pekerjaan:
 - Surveyor rencana pembangunan TPST Kabupaten Boyolali, Kabupaten Magelang, dan Kota Magelang tahun 2018 - 2019
 - Tim penyusun UKL-UPL tahun 2018 - 2019
 - Tim penyusun dokumen Daya Dukung Daya Tampung Lingkungan Hidup (DDDTLH) Kabupaten Melawi tahun 2020
 - Magang di Dinas Hidro Oseanografi TNI AL tahun 2016
 - Tenaga harian lepas di Pascasarjana Undip 2021
6. Pengalaman Penelitian:
 - Tahun 2021, Judul Riset: Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi di Taman Nasional Karimunjawa. Sumber dana: Kemenristek Dikti skema Penelitian Disertasi Doktor (PDD).
 - Tahun 2019, Judul Riset: Potensi Jasa Lingkungan Berdasarkan Pendugaan Cadangan Karbon Tegakan dan Sedimen di Ekosistem Mangrove Mangunharjo. Sumber dana: Pascasarjana Undip.
 - Tahun 2017, Judul Riset: Identifikasi Faktor Oseanografi yang Berpengaruh Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Kembung di Kabupaten Pati. Sumber dana: Penelitian bersama dosen dan mahasiswa FPIK
7. Pengalaman Seminar Nasional dan Internasional
 - Tahun 2018: Judul 3th International Conference on Energy, Environment, Epidemiology and Information System (3th ICENIS), Penyelenggara: Fakultas Pascasarjana, UNDIP.
 - Tahun 2018: Seminar Nasional Geografi II Pemanfaatan Big Data dalam Pengembangan Keilmuan Geografi, Penyelenggara: Fakultas

Geografi Universitas Gadjah Mada.

- Tahun 2021: Judul 6th International Conference on Energy, Environment, Epidemiology and Information System (6th ICENIS), Penyelenggara: Fakultas Pascasarjana, UNDIP.
8. Publikasi Ilmiah yang dihasilkan
- Tipe: Jurnal Nasional. Judul: Identifikasi Faktor Oseanografi yang Berpengaruh Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Kembung di Perairan Kabupaten Pati. Penerbit/ Jurnal/ Media: Journal of Oceanography 6(3):500-515 (2017)
 - Tipe: Prosiding Internasional terindeks Scopus. Judul: Mangrove forest development determined for ecotourism in Mangunharjo Village Semarang. Penerbit/ Jurnal/ Media : E3S Web of Conferences/EDP Science 73, 04010 (2018)
 - Tipe: Prosiding Internasional terindeks Scopus. Judul: The Effect On Mangrove Density With Sediment Rate in Coastal Pasar Banggi Of Rembang Regency. Penerbit/ Jurnal/ Media : E3S Web of Conferences/EDP Science 73, 04020 (2018)
 - Tipe Prosiding Internasional terindeks Scopus. Judul: Community participation in conservation of petungkriyono protected areas in pekalongan district. Penerbit/ Jurnal/ Media : E3S Web of Conferences/EDP Science 202, 06002 (2020)
 - Tipe Prosiding Internasional terindeks Scopus. Judul: The technology of rob water treatment becomes clean water by using the combination of electrolysis, filtration, and ozonation methods. Penerbit/ Jurnal/ Media : IOP Publishing 1943, 012161 (2021)
 - Tipe: Jurnal Internasional Terindeks Scopus Q3. Judul: Potential for Environmental Services Based on the Estimation of Reserved Carbon in the Mangunharjo Mangrove Ecosystem. Penerbit/ Jurnal/ Media: Polish Journal of Environmental Studies 30(4):3545-3552 (2021)
 - Tipe: Jurnal Internasional Terindeks Scopus Q3. Judul: Identification of potential water pollution in coastal areas from

anthropogenic activities in Karimunjawa National Park. Penerbit/
Jurnal/ Media: AACL Bioflux 15(6):2969-2981 (2022)



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR ISI

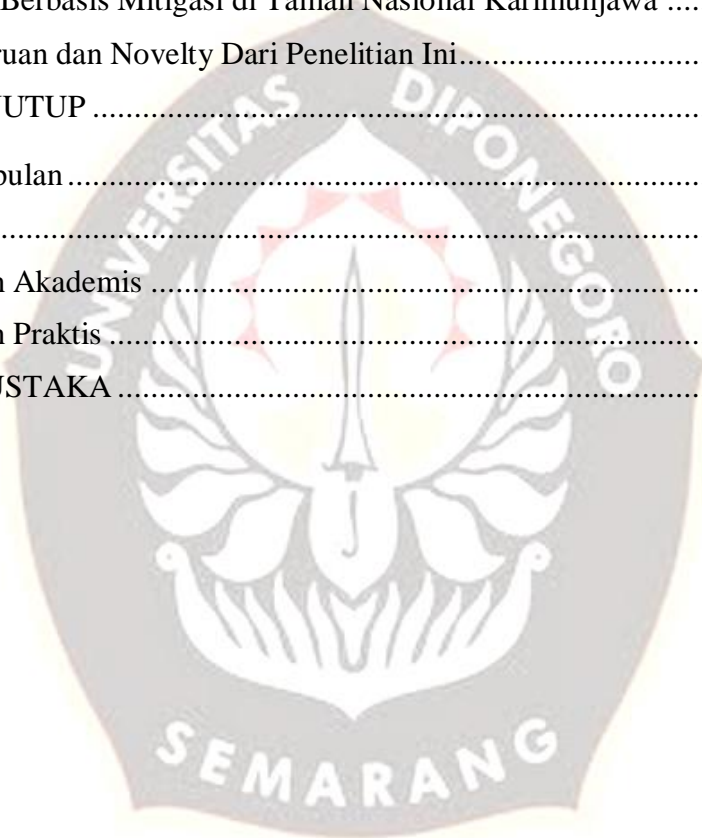
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
BIODATA PENULIS	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR GLOSARIUM	xix
ABSTRAK	xx
ABSTRACT	xxi
INTISARI	xxii
SUMMARY	xxx
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	9
1.4 Manfaat Penelitian:	10
1.5 Kerangka Teori dan Kerangka Konsep	11
1.6 Kebaruan (Novelty)	15
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	26
2.1 Pengertian Ekosistem Mangrove	26
2.2 Faktor Lingkungan yang Berpengaruh di Ekosistem Mangrove	28
2.2.1 Topografi Pantai	28
2.2.2 Iklim	28

2.2.3 Salinitas	30
2.2.4 Arus	31
2.2.5 Pasang Surut.....	31
2.2.6 Keterlindungan.....	31
2.2.7 Batimetri	32
2.2.8 Substrat Mangrove	33
2.2.9 Oksigen Terlarut.....	33
2.3 Zonasi Ekosistem Mangrove	34
2.4 Fungsi dan Manfaat Ekosistem Mangrove	35
2.5 Mitigasi Bencana Perubahan Iklim dan Konsep Pengelolaan Ekosistem Mangrove.....	41
2.5.1 Peranan Ekosistem Mangrove Sebagai Zona Penyangga	48
2.6 Pengertian dan Kualifikasi Pulau-Pulau Kecil.....	56
2.6.1 Jasa Lingkungan Pulau-Pulau Kecil.....	59
2.6.2 Pemanfaatan Pulau-Pulau Kecil.....	62
2.6.3 Dampak regulatif UU 23 tahun 2014	66
2.7 Kerentanan Pulau-Pulau Kecil.....	67
2.7.1 Konsep Kerentanan	69
2.7.2 Indeks Kerentanan.....	72
2.8 Pengertian Mitigasi	73
2.9 Analisis Citra Radiometrik, Atmosferik, Geometrik	75
2.10 Pengelolaan Ekosistem Mangrove	77
2.12 Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir Berbasis Masyarakat	81
BAB III. METODE PENELITIAN	82
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	82
3.2 Jenis dan Metode Pengambilan Data	83
3.2.1 Data Sosial, Ekonomi, dan Kelembagaan.....	84
3.2.2 Data Parameter Ekologi Ekosistem Mangrove	86
3.2.3 Data Vegetasi, biomassa, dan cadangan karbon Mangrove	88
3.3 Analisis Data.....	92
3.3.1 Indeks Sensitivitas.....	92
3.3.2 Indeks Kapasitas Adaptif.....	98
3.3.3 Indeks Keterpaparan.....	109

3.4 Penyusunan Model Spasial Indeks Kerentanan	118
3.5 Analisis Vegetasi, Perhitungan Biomassa dan Karbon Mangrove	118
3.5.1 Komposisi Jenis	118
3.5.2 Indeks Keanekaragaman.....	119
3.5.3 Indeks Kemerataan.....	120
3.5.4 Perhitungan Biomassa dan Karbon Mangrove Kategori Pohon menggunakan Persamaan Allometrik	120
3.5.5 Analisis Kualitas Air	121
3.5.5 Analisis Data Sampel Sedimen	122
3.6 Prediksi Efektivitas Ekosistem Mangrove Taman Nasional Karimunjawa Sebagai <i>Buffer Zone</i>	126
3.7 Metode Analisis Perubahan Luas Mangrove di Taman Nasional Karimunjawa	127
3.8 Keberlanjutan Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi	131
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	133
4.1 Kondisi Umum Taman Nasional Karimunjawa.....	133
4.1.1 Letak Geografis dan Luas Wilayah.....	133
4.1.2 Kondisi Iklim dan Curah Hujan	134
4.1.3 Kondisi Hidrologi di Karimunjawa.....	135
4.1.4 Geomorfologi Karimunjawa	136
4.1.5 Kondisi Hidro-Oseanografi di Karimunjawa.....	137
4.1.6 Nilai Parameter Perairan di Wilayah Karimunjawa.....	139
4.2 Kondisi Sosial Ekonomi di Kecamatan Karimunjawa	146
4.2.1 Profil Penduduk.....	146
4.2.2 Sarana dan Prasarana di Karimunjawa	148
4.2.3 Perekonomian di Karimunjawa.....	149
4.3 Ekosistem Mangrove di Taman Nasional Karimunjawa, Pulau Kemujan, dan Pulau Menjangan Besar	152
4.3.1 Komposisi Jenis Mangrove dan Jenis Sedimen	152
4.3.2 Indeks Nilai Penting	155
4.3.3 Biomassa dan Kandungan Karbon Mangrove	164
4.4 Indeks Sensitivitas.....	169
4.4.1 Infrastruktur dan Permukiman	Error! Bookmark not defined.
4.4.2 Penataan Ruang	170

4.4.3 Kemiskinan	170
4.4.4 Kelompok Masyarakat Rentan.....	171
4.4.5 Pendapatan Perkapita.....	172
4.4.6 Kepemilikan Lahan	173
4.4.7 Kesehatan.....	173
4.4.8 Aset Kritis	174
4.4.9 PDRB Sektor Terdampak	174
4.4.10 Sarana Prasarana dan Utilitas.....	Error! Bookmark not defined.
4.5 Indeks Keterpaparan.....	177
4.5.1 Topografi	177
4.5.2 Geomorfologi.....	178
4.5.3 Abrasi/Sedimentasi.....	178
4.5.4 Penggunaan Lahan	179
4.5.5 Keterisolasian Pulau	179
4.5.6 Jarak Dari Sumber Bencana.....	180
4.5.7 Demografi	181
4.5.8 Luas Ekosistem Mangrove.....	181
4.5.9 Kualitas Air Laut.....	Error! Bookmark not defined.
4.6 Indeks Kapasitas Adaptif.....	185
4.6.1 Regulasi dan Perencanaan	185
4.6.2 Pembiayaan Kebencanaan	186
4.6.3 Peringatan Dini Kebencanaan.....	187
4.6.4 Kelembagaan dalam bentuk Pusat Layanan Kebencanaan.....	188
4.6.6 Program Kebencanaan.....	189
4.6.7 Pendidikan, Penyuluhan, dan Pengetahuan Masyarakat	190
4.6.8 Dokumen Mitigasi Bencana.....	191
4.6.9 Kesiapsiagaan dan Kontigensi	192
4.6.10 Infrastruktur Pengendali Bencana	192
4.6.11 Kearifan Lokal	193
4.7 Hasil Penentuan Indeks Kerentanan.....	195
4.8 Ekosistem Mangrove Sebagai Zona Penyangga	198
4.9 Kondisi Luas dan Kerapatan Ekosistem Mangrove Taman Nasional Karimunjawa di Masa Lalu, Sekarang, dan Masa Depan	200
4.10 Prediksi Kandungan Karbon Mangrove Karimunjawa	214

4.10 Prediksi Luasan Ekosistem Mangrove 20 Tahun Ke depan	217
Prediksi Pulau Karimunjawa dan Kemujan.....	217
4.11 Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berkelanjutan.....	221
4.11.1 Internal Factor Analysis Strategic Pulau Karimunjawa-Kemujan dan Parang-Nyamuk	221
4.11.2. External Factor Analysis Strategic Pulau Karimunjawa-Kemujan dan Parang-Nyamuk	224
4.11.3 Penyusunan Matriks dan Diagram SWOT Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi di Taman Nasional Karimunjawa	226
4.12 Kebaruan dan Novelty Dari Penelitian Ini.....	231
BAB V. PENUTUP	243
5.1 Kesimpulan	243
5.2 Saran.....	244
5.2.1 Saran Akademis	244
5.2.2 Saran Praktis	244
DAFTAR PUSTAKA	246



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Teori Penelitian.....	12
Gambar 1.2 Kerangka Konsep Penelitian	14
Gambar 1.3 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian Indeks Kerentanan.....	87
Gambar 3.2. Lokasi Pengambilan Data Mangrove, Sedimen, Kualitas Air	89
Gambar 3.3 Plot Pengukuran Vegetasi Mangrove	91
Gambar 3.4 Kategorisasi Tingkat Sensitivitas Berdasarkan Nilai Indeks Sensitivitas. Huruf Pada Kategorisasi Adalah Sangat Tinggi (ST), Tinggi (T), Sedang (S), Rendah I, Dan Sangat Rendah (SR).....	98
Gambar 3.5 Kategorisasi Tingkat Kapasitas Berdasarkan Nilai Indeks Kapasitas Adaptif. Huruf Pada Kategorisasi Adalah Sangat Tinggi (ST), Tinggi (T), Sedang (S), Rendah I, Dan Sangat Rendah (SR)	109
Gambar 3.6 Kategorisasi Tingkat Kerentanan Berdasarkan Nilai Indeks Total. Huruf Pada Kategorisasi Adalah Sangat Tinggi (ST), Tinggi (T), Sedang (S), Rendah (R), dan Sangat Rendah (SR).....	118
Gambar 3.7 Model Matriks <i>Grand Strategy</i>	132
Gambar 4.1 Titik Lokasi Pengambilan Sampel Kualitas Air.....	141
Gambar 4.2 Nilai Parameter Kualitas Perairan di Karimunjawa	142
Gambar 4.3 Prosentase Jenis Profesi Penduduk Karimunjawa	150
Gambar 4.4 Persentase jenis dan jumlah sedimen berdasarkan kedalaman. (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3	154
Gambar 4.5 Perbandingan total nilai stok C sedimen berdasarkan kedalaman pada semua stasiun. (a) Station 1, (b) Station 2, (c) Station 3.....	167
Gambar 4.6 Diagram Komponen Indeks Sensitivitas.....	176
Gambar 4.7 Grafik Indeks Sensitivitas Setiap Pulau	176
Gambar 4.8 Diagram Komponen Indeks Keterpaparan.....	184
Gambar 4.9 Grafik Indeks Keterpaparan Setiap Pulau	185
Gambar 4.10 Diagram Komponen Indeks Kapasitas Adaptif	194
Gambar 4.11 Grafik Indeks Kapasitas Adaptif di Setiap Pulau	195
Gambar 4.12 Indeks Kerentanan Karimunjawa Secara Spasial	197
Gambar 4.13 Perubahan luas Ekosistem Mangrove Pulau Karimunjawa dan Kemujan Tahun 2000 – 2022	201
Gambar 4.14 Hasil Overlay Peta Luas Ekosistem Mangrove Karimunjawa dan Kemujan Tahun 2000 – 2022	203
Gambar 4.15 Luas Ekosistem Mangrove Pulau Parang Tahun 2000 – 2022.....	205
Gambar 4.16 Hasil Overlay Peta Luas Ekosistem Mangrove Pulau Parang Tahun 2000 – 2022	206
Gambar 4.17 Luas Ekosistem Mangrove Pulau Nyamuk Tahun 2000 – 2022 ...	207
Gambar 4.18 Hasil Overlay Peta Luas Ekosistem Mangrove Pulau Nyamuk Tahun 2000 – 2022	208
Gambar 4.19 Kerapatan Ekosistem Mangrove Pulau Karimunjawa dan Kemujan Tahun 2005 – 2022	209

Gambar 4.20 Kerapatan Ekosistem Mangrove Pulau Parang Tahun 2005 – 2022	211
Gambar 4.21 Kerapatan Ekosistem Mangrove Pulau Nyamuk Tahun 2005 – 2022	213
Gambar 4.22 Grafik Prediksi kandungan karbon mangrove Karimunjawa, Kemujan, Parang, dan Nyamuk tahun 2000 – 2022	215
Gambar 4.23 Overlay Luas Mangrove Pulau Karimunjawa dan Kemujan Tahun 2022 – 2042	217
Gambar 4.24 Overlay Luas Mangrove Pulau Parang Tahun 2022 – 2042	219
Gambar 4.25 Luas Mangrove Pulau Nyamuk Tahun 2032 dan 2042	220
Gambar 4.26 Diagram SWOT Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi di Pulau Karimunjawa-Kemujan	227
Gambar 4.27 Diagram SWOT Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi di Pulau Parang-Nyamuk.....	227
Gambar 4.28 Bentuk Implementasi Penelitian Kepada Masyarakat Tentang Edukasi Mitigasi Ekosistem Mangrove	232
Gambar 4.29 Rekomendasi Lokasi Penanaman Mangrove di Pulau Karimunjawa dan Kemujan.....	233
Gambar 4.30 Perbandingan Potensi Penyerapan Karbon di Berbagai Tipe Ekosistem Hutan.....	235
Gambar 4.31 Fluktuasi Perubahan Luas Ekosistem Mangrove Pulau Karimunjawa - Kemujan	241
Gambar 4. 32 Fluktuasi Perubahan Luas Ekosistem Mangrove Pulau Parang ...	241
Gambar 4.33 Fluktuasi Perubahan Luas Ekosistem Mangrove Pulau Nyamuk..	242

SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 2.1 Lebar Jalur Hijau dan Untung Ruginya	51
Tabel 3.1. Komponen dan Indikator Penyusunan Model Spasial Indeks Sensitivitas	92
Tabel 3.2. Metode perolehan data pada setiap komponen dan indikator model spasial indeks sensitivitas.....	94
Tabel 3.3 Komponen dan Bobot Indikator Berdasarkan Model Spasial Indeks Sensitivitas	Error! Bookmark not defined. 96
Tabel 3.4 Komponen dan Indikator Penyusunan Model Spasial Indeks Kapasitas Adaptif	99
Tabel 3.5 Metode Perolehan Data Setiap Komponen dan Indikator Model Spasial Indeks Kapasitas Adaptif	101
Tabel 3.6 Komponen dan Bobot Indikator Model Spasial Indeks Kapasitas Adaptif	104
Tabel 3.7 Komponen dan Indikator Penyusun Model Spasial Indeks Keterpaparan	110
Tabel 3.8 Metode Perolehan Data pada Setiap Komponen dan Indikator Model Spasial Indeks Keterpaparan	113
Tabel 3.9 Nilai Komponen dan Indikator Model Spasial Indeks Keterpaparan .	115
Tabel 3.10 Beberapa Persamaan Allometrik Untuk Menghitung Biomassa.....	121
Tabel 3.11 Parameter Perairan Yang di Uji Dalam Penelitian.....	122
Tabel 3.12 Skala Wentworth.....	123
Tabel 4.1 Zonasi di Karimunjawa	134
Tabel 4.2 Data Curah Hujan Bulanan Selama 10 Tahun di Karimunjawa	135
Tabel 4.3 Jumlah, Pertumbuhan dan Kepadatan Penduduk di Karimunjawa	147
Tabel 4.4 Komposisi Jenis Mangrove di Lokasi Penelitian	152
Tabel 4.5 Indeks Nilai Penting Kategori Pohon.....	156
Tabel 4.6 INP Kategori Pancang	Error! Bookmark not defined. 157
Tabel 4.7 INP Kategori Semai.....	158
Tabel 4.8 Nilai Biomassa dan Karbon Tegakan.....	164
Tabel 4.9 Status Indeks Pencemaran Perairan di Karimunjawa.....	183
Tabel 4.10 Nilai Rerata Keseluruhan Indeks Kerentanan.....	196
Tabel 4.11 Prediksi Lebar Ideal dan Kekurangan Lebar Ideal Masing-masing Pulau	198
Tabel 4.12 Data Tabulasi Prediksi Luas Ekosistem Mangrove Karimunjawa Tahun 2000 – 2042	215
Tabel 4.13 Data Tabulasi Prediksi Simpanan Karbon Mangrove Karimunjawa Tahun 2000 – 2042	215
Tabel 4.14 Internal Faktor Analysis Strategic Pulau Karimunjawa dan Kemujan (IFAS)	222

Tabel 4.15 Internal Faktor Analysis Strategic Pulau Parang dan Nyamuk (IFAS)	223
Tabel 4.16 External Factor Analysis Strategic Pulau Karimunjawa dan Kemujan	224
Tabel Tabel 4.17 External Factor Analysis Strategic Pulau Parang dan Nyamuk	225
Tabel 4.18 Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi	229
Tabel 4.19 Klasifikasi Parameter Untuk Penanaman Mangrove	233
Tabel 4.20 Kandungan Karbon Sedimen Mangrove di Beberapa Negara	238



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR SINGKATAN

TNKJ	: Taman Nasional Karimunjawa
BTNKJ	: Balai Taman Nasional Karimunjawa
ZEE	: Zona Ekonomi Eksklusif
PBB	: Perserikatan Bangsa Bangsa
GNP	: Gross National Product
DPSIR	: Drivers Pressures States Impacts Responses
SMART	: Simple Multi Attribute Rating Technique
IPCC	: Intergovernmental Panel Climate Change
GRK	: Gas Rumah Kaca
GIS:	: <i>Geographic Information System</i>
Keppres	: Keputusan Presiden Indonesia
PPK	: Pulau-Pulau Kecil
OTEC	: Ocean Thermal Energy Conversion
KKP	: Kementerian Kelautan dan Perikanan
KLHK	: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
PSWP-BM	: Pengelolaan sumberdaya wilayah pesisir berbasis masyarakat
TSS	: Totas Suspended Solid
DBH	: Diameter Breast Height
INP	: Indeks Nilai Penting
BNPB	: Badan Nasional Penanggulangan Bencana
Bappeda	: Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah
RPJM	: Rencana Pembangunan Jangka Menengah
RADPRB	: Rencana Aksi Daerah Pengurangan Resiko Bencana
SOP	: Standar Operating Procedure
RTRW	: Rencana Tata Ruang Wilayah
SWOT	: Strength, Weakness, Opportunity, Threats

DAFTAR GLOSARIUM

- Mainland island: Pulau induk dari beberapa pulau kecil
- ZEE: Zona yang luasnya 200 mil laut dari garis dasar pantai, yang mana dalam zona tersebut sebuah negara pantai mempunyai hak atas kekayaan alam di dalamnya, dan berhak menggunakan kebijakan hukumnya.
- Nursery ground: Daerah asuh bagi organisme yang masih kecil
- Feeding ground: Tempat mencari makan bagi organisme
- Spawning ground: Tempat bertelur dan memijah bagi organisme
- Zonasi: Pembagian atau pemecahan suatu areal menjadi beberapa bagian, sesuai dengan fungsi dan tujuan pengelolaan.
- Kerentanan: Karakteristik dan situasi sebuah masyarakat, sistem, atau aset yang membuat mereka mudah terkena dampak merugikan dari sebuah bahaya atau dampak perubahan iklim.
- Degradasi: keadaan dimana kondisi ekosistem yang menurun tingkat keanekaragaman flora dan fauna yang merupakan akibat dari adanya dampak dari manusia atau dampak perubahan iklim
- Abrasi: suatu proses alam berupa pengikisan tanah pada daerah pesisir pantai yang diakibatkan oleh ombak dan arus laut yang sifatnya merusak
- Rob: banjir di tepi pantai karena permukaan air laut yang lebih tinggi daripada bibir pantai atau daratan di pesisir pantai
- Stakeholder: Pemangku kepentingan pengambil keputusan sampai proses implementasinya.
- Ekowisata: kegiatan pariwisata yang berwawasan lingkungan dengan mengutamakan aspek konservasi alam, aspek pemberdayaan sosial budaya ekonomi masyarakat lokal serta aspek pembelajaran dan pendidikan
- Konservasi: upaya yang dilakukan manusia untuk melestarikan atau melindungi alam
- Mitigasi: segala upaya untuk mengurangi risiko bencana
- Ekosistem: suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik tak terpisahkan antara makhluk hidup dengan lingkungannya.

ABSTRAK

Ekosistem mangrove pulau-pulau kecil rentan terhadap tekanan dari aktivitas manusia dan perubahan iklim. Ancaman dari perubahan iklim dapat berupa bencana alam seperti badai, angin topan, banjir pasang, dan tsunami juga turut mempengaruhi eksistensi ekosistem mangrove. Dampak dari berbagai hal yang telah diuraikan tadi dapat menyebabkan degradasi sumberdaya yang terdapat pada ekosistem mangrove. Mitigasi dampak perubahan iklim sangat penting sebagai basis pengelolaan mangrove karena mangrove memiliki peran penting dalam mengurangi dampak perubahan iklim seperti tempat penyimpanan karbon, pelindung alami pulau, keanekaragaman hayati yang tinggi, dan sebagai tempat mata pencaharian penduduk pulau. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah merumuskan strategi mitigasi untuk masing-masing pulau kecil dengan pendekatan pengelolaan ekosistem mangrove dan mengacu pada indeks kerentanan, efektivitas ekosistem mangrove, dan stakeholder analysis. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif digunakan dalam kegiatan observasi, analisis visual, studi pustaka, dan interview. Metode kuantitatif digunakan pada saat analisa statistik. Potensi karbon tersimpan rata-rata di vegetasi sebesar 146,22 t C ha⁻¹, dan sedimen sebesar 360.61 t C ha⁻¹. Nilai indeks kerentanan tertinggi berada di Pulau Parang (0,563) dan masuk kategori sedang. Efektivitas ekosistem mangrove Pulau Kemujan sebagai zona buffer merupakan yang terbaik diantara pulau lainnya, sedangkan Pulau Nyamuk merupakan pulau terentan karena memiliki kekurangan lebar ideal mangrove terbanyak. Prediksi luas ekosistem mangrove pulau Karimunjawa dan Kemujan selama 20 tahun ke depan mengalami penurunan sebesar 138,53 ha, Pulau Parang berkurang 2,74 ha, dan Pulau Nyamuk berkurang 11,25 ha. Pendekatan mitigasi antar pulau kecil berbeda-beda tergantung dengan karakteristik pulau. Analisis SWOT Pulau Karimunjawa-Kemujan berada pada kuadran I dan menerapkan strategi agresif. Kondisi ini merupakan upaya memanfaatkan kekuatan yang dimiliki untuk mengoptimalkan berbagai sumberdaya yang ada demi terciptanya keberlanjutan. Analisis SWOT Pulau Parang-Nyamuk berada pada kuadran IV dimana akan menerapkan strategi defensif. Posisi ini menggambarkan bahwa kegiatan mitigasi di Pulau Parang-Nyamuk berada pada situasi yang kurang menguntungkan, karena terdapat kelemahan internal dan ancaman dari luar. Strategi defensif dalam kegiatan mitigasi pulau kecil harus berfokus kepada tindakan penyelamatan seluruh ekosistem yang ada di pulau agar terlepas dari kerugian yang lebih besar.

Kata Kunci: Taman Nasional Karimunjawa, Mitigasi, Kerentanan, Mangrove, Pulau Kecil

ABSTRACT

Mangrove ecosystems on small islands are vulnerable to pressure from human activities and climate change. Climate change, which can take the form of natural disasters such as storms, hurricanes, tidal floods and tsunamis, also affects the existence of the mangrove ecosystem. The impact of the various things described above can cause degradation of resources in the mangrove ecosystem. Mitigating the impacts of climate change is very important as a basis for mangrove management because mangroves have an important role in reducing the impacts of climate change such as carbon storage, natural protection for islands, high biodiversity, and as a source of livelihood for island residents. The main objective of this research is to formulate a mitigation strategy for each small island using a mangrove ecosystem management approach and referring to the vulnerability index, effectiveness of the mangrove ecosystem, and stakeholder analysis. This research uses a qualitative and quantitative method approach. Qualitative methods are used in observation activities, visual analysis, literature studies and interviews. Quantitative methods are used during statistical analysis. The average carbon potential stored in vegetation is $146.22 \text{ t C ha}^{-1}$, and sediment is $360.61 \text{ t C ha}^{-1}$. The highest vulnerability index value is on Parang Island (0.563) and is in the medium category. The effectiveness of Kemujan Island's mangrove ecosystem as a buffer zone is the best among other islands, while Nyamuk Island is the most vulnerable island because it has the largest shortage of ideal mangrove width. The predicted area of the mangrove ecosystem on Karimunjawa and Kemujan islands over the next 20 years will decrease by 138.53 ha, Parang Island will decrease by 2.74 ha, and Mosquito Island will decrease by 11.25 ha. Mitigation approaches between small islands vary depending on island characteristics. The SWOT analysis of Karimunjawa-Kemujan Island is in quadrant I and applies an aggressive strategy. This condition is an effort to utilize the strengths we have to optimize various existing resources to create desires. The SWOT analysis of Parang-Nyamuk Island is in quadrant IV where defense strategies will be implemented. This position illustrates that mitigation activities on Parang-Nyamuk Island are in a less favorable situation, because there are internal weaknesses and external threats. Defense strategies in small island mitigation activities must focus on actions to save the entire ecosystem on the island so that it avoids greater losses.

Keywords: Karimunjawa National Park, Mitigation, Vulnerability, Mangrove Ecosystem.

Intisari

Letak geografis Indonesia yang sangat rentan terhadap bencana alam seperti tsunami, meletusnya gunung berapi, gelombang pasang, banjir dan kekeringan menjadikan pulau-pulau kecil rentan terhadap degradasi sumberdaya pesisir. Beberapa ancaman tadi ditambah naiknya permukaan air laut dampaknya sudah mulai dirasakan masyarakat TNKJ. Indikasi adanya rob dan abrasi serta perbedaan pasang surut dalam 20 tahun terakhir, mengindikasikan bahwa TNKJ telah terkena dampak dari perubahan iklim. Selain ancaman dari perubahan iklim, degradasi ekosistem juga terjadi akibat pemanfaatan yang tidak lestari. Minimnya informasi tentang kerentanan (*vulnerability*) lingkungan di TNKJ menjadikan kawasan ini rentan terhadap kerusakan. Selain itu laju degradasi ekosistem pesisir, khususnya ekosistem mangrove pada TNKJ cukup besar dan dikhawatirkan akan mengalami penurunan luasan yang lebih besar pada masa yang akan datang. Mengingat pentingnya ekosistem mangrove yang mempunyai fungsi ekologi sebagai pereduksi gelombang dan penghambat laju abrasi, maka ekosistem ini penting untuk dikaji dalam rangka meminimalkan kerentanan pada TNKJ. Sejak beberapa generasi masyarakat di TNKJ telah menggunakan kayu mangrove sebagai bahan bangunan, kayu bakar, makanan dan obat-obatan. Semua pemanfaatan ini bisa berkelanjutan sepanjang pemanfaatannya bersifat non-komersial. Seiring berjalannya waktu, terjadi perkembangan pasar komersial untuk kayu mangrove sebagai kayu bakar dan bahan bangunan di pulau-pulau Karimunjawa, serta untuk patok tambak. Akibatnya, terjadi tekanan pemanfaatan/penebangan kayu mangrove di pulau-pulau yang ada di Taman

Nasional Karimunjawa.

Dalam jangka panjang, pemanfaatan yang tidak lestari ini bisa menyebabkan gangguan ekosistem dan lingkungan seperti terjadinya abrasi, rob, sedimentasi dermaga, wabah penyakit, dan hilangnya habitat bagi ikan ekonomis. Berdasarkan penelitian Suryanti et al. (2011), terdapat 4 jenis kegiatan yang berdampak terhadap degradasi mangrove. Kegiatan tersebut antara lain, pembukaan lahan tambak, perluasan pemukiman, jalur wisata. Dampak dari kegiatan pariwisata ke ekosistem mangrove di TNKJ semakin bertambah seiring dibuat landasan pesawat terbang. Kemudian jumlah populasi manusia yang meningkat menyebabkan jumlah luas pemukiman bertambah, dari semula 3,8 ha (1991) menjadi 135 ha (2020) (Fajarini et al., 2020).

Untuk menganalisa permasalahan dalam penelitian ini digunakan pendekatan DPSIR (*Drivers-Pressures-States-Impacts-Responses*). Faktor pendorong (*drives*) yaitu pemanfaatan yang tidak lestari untuk pemenuhan kebutuhan ekonomi, kebutuhan rumah tangga, peningkatan populasi penduduk, dan naiknya permukaan air laut. Indikasi yang terjadi adalah memanfaatkan kayu mangrove untuk kebutuhan rumah tangga, alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak. *Pressure* atau tekanan pada ekosistem akibat faktor pendorong tersebut adalah meningkatnya kerentanan suatu pulau, degradasi ekosistem mangrove dan pencemaran lingkungan. Indikasi pada aspek *pressure* adalah tekanan yang berupa meningkatnya jumlah penduduk dan pemukiman. Kemudian degradasi ekosistem mangrove akibat faktor manusia dan faktor alam. *States* merupakan indikator status yang menggambarkan kondisi sistem dan tipe maupun karakteristik secara fisik, kimiawi, dan biologi, dalam kasus

ini adalah adanya indikasi abrasi, sedimentasi, rob, kualitas perairan, dan degradasi sumberdaya pesisir. *Impact* yang merupakan akibat dari tekanan pada ekosistem yang pada penelitian ini dibagi dalam tiga dimensi yaitu ekologi, sosial, dan ekonomi, dimensi ini akan mengalami penurunan fungsi akibat dari tekanan yang ada. *Response* adalah berbagai tindakan yang dilakukan oleh *stakeholders* untuk memitigasi kerusakan ekosistem dengan cara mengurangi, mencegah, dan memperbaiki ekosistem yang terdegradasi.

Pengelolaan ekosistem mangrove di pulau kecil menghadapi tantangan dan masalah yang signifikan, mempengaruhi keberlanjutan lingkungan, kesejahteraan masyarakat, dan ketahanan pulau terhadap bencana alam. Perubahan iklim, urbanisasi, polusi, dan aktivitas manusia lainnya dapat berdampak negatif pada ekosistem mangrove dan keanekaragaman hayati di pulau kecil tersebut. Berdasarkan hal di atas, diperlukan penelitian mendalam untuk mengidentifikasi, mengatasi masalah yang terkait, dan merumuskan strategi pengelolaan ekosistem mangrove secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tantangan dan masalah yang dihadapi dalam pengelolaan ekosistem mangrove di pulau kecil, serta untuk menyelidiki strategi dan pendekatan yang berpotensi untuk meningkatkan keberlanjutan dan konservasi ekosistem tersebut. Penelitian ini akan melibatkan analisis data ekologi, data GIS, partisipasi masyarakat lokal dan stakeholder terkait, dan analisis kerentanan terhadap ekosistem mangrove. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan strategi baru dan rekomendasi kebijakan untuk meningkatkan pengelolaan ekosistem mangrove dan meningkatkan ketahanan pulau kecil terhadap perubahan iklim dan bencana alam.

Identifikasi mangrove yang terancam punah merupakan langkah penting dalam upaya konservasi ekosistem pesisir yang sangat berharga di Karimunjawa. Faktor-faktor seperti perubahan iklim, perubahan penggunaan lahan, pencemaran, dan aktivitas manusia telah menyebabkan penurunan populasi mangrove secara signifikan. Kehilangan mangrove bukan hanya berdampak pada flora dan fauna yang bergantung kepadanya, tetapi juga berpotensi mempengaruhi masyarakat pesisir yang bergantung pada ekosistem ini untuk mata pencaharian dan perlindungan pantai dari badai dan abrasi. Terdapat 97 jenis mangrove dan tumbuhan asosiasi yang ditemukan berdasarkan pengamatan langsung di lapangan dan sumber literatur dari Balai Taman Nasional Karimunjawa. Integrasi data mangrove di Karimunjawa dengan data *red list* IUCN menghasilkan kebaharuan penelitian/novelty yaitu ditemukan 19 jenis mangrove yang statusnya hampir terancam (*near threatned*) hingga langka (*endangered*). Implementasi dalam penelitian ini sudah dilakukan yaitu dengan melakukan kegiatan edukasi terhadap penduduk dan pelaku usaha pariwisata di Karimunjawa. Mereka diminta tidak hanya bergantung kepada hasil ekonomi saja melainkan juga harus peduli dengan kondisi lingkungan yang ada. Konsep pengembangan dan penyelenggaraan kegiatan pariwisata berbasis pemanfaatan lingkungan untuk perlindungan serta partisipasi aktif dari masyarakat dengan penyajian produk bermuatan pendidikan dan pembelajaran, maka akan timbul dampak positif terhadap lingkungan serta memberikan kontribusi positif terhadap pembangunan daerah di Karimunjawa. Sebagai bentuk usaha melindungi ekosistem mangrove dari kerusakan yang semakin besar, maka perlu adanya tindakan yang tepat. Bentuk implementasi kedua yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menentukan lokasi optimal untuk

penanaman mangrove berdasarkan jenis dan habitatnya. Syahid et al (2020) melakukan penelitian tentang analisis kesesuaian lahan untuk rehabilitasi mangrove global di Indonesia dengan parameter suhu udara, kelerengan pantai, ketinggian, dan tingkat presipitasi. Parameter tersebut kemudian di klasifikasikan menjadi 4 kategori yaitu tidak bisa ditanami, kondisi daerah yang buruk, kondisi yang cukup, dan sesuai. Terdapat keterbatasan dalam penelitian ini yaitu belum dapat didukung dengan kapan perlapisan sedimen ini diendapkan. Sebenarnya sudah ada upaya yang ingin dilakukan, namun alat yang di BATAN rusak sehingga harus dikirim ke ANSTO Australia yang akan menambah biaya. Terdapat cara untuk mengetahui usia mangrove selain analisa langsung ke Laboratorium BATAN/ANSTO, yaitu integrasi data dari penelitian lain yang sejenis dan melakukan analisa penentuan umur sedimen berdasarkan kedalaman tertentu. Penentuan umur lapisan sedimen mangrove bisa dilakukan dengan polen and diatom. Berdasarkan penelitian dari Soeprbowati et al (2020) di muara ekosistem mangrove BKT, lapisan sedimen mangrove pada kedalaman 140 cm memiliki usia akumulasi selama 160 tahun. Laju akumulasi sedimen yang hampir konstan terjadi dari tahun 1855 hingga 1981 dengan rata-rata $0,059 \text{ gr/cm}^2/\text{tahun}$. Merujuk kesamaan pada hasil penelitian di Karimunjawa, dimana pengambilan sampel sedimen berada pada kedalaman 100 cm dan kondisi ekosistem yang setipe yaitu mangrove data tersebut bisa di integrasikan dengan data penelitian dari Soeprbowati et al (2020). Lebih lanjut Soeprbowati menjelaskan bahwa pada layer 30-35 cm usia sedimennya 18 tahun, 65-70 cm usia sedimennya 39 tahun dan layer 100 cm umur sedimennya 105 tahun. Hal ini menjadi dasar acuan bahwa umur lapisan sedimen yang diambil di mangrove BKT sama dengan umur lapisan sedimen yang ada di Karimunjawa.

Potensi penyimpanan karbon pada sedimen mangrove berbeda-beda disetiap daerah, tergantung dengan kondisi, iklim, jenis spesies, dan hidro-oseanografi. Beberapa lokasi hutan mangrove yang ada di beberapa negara dan perbedaan kandungan karbon sedimennya. Berdasarkan tabel tersebut, nilai estimasi penyimpanan karbon pada sedimen mangrove dapat dijadikan acuan dasar dalam penilaian manfaat ekonomis mangrove dalam bentuk komoditi jasa lingkungan penyerapan karbon. Kerentanan pulau-pulau kecil dapat diartikan kemudahan suatu sistem pulau-pulau kecil mengalami kerusakan. Semakin tinggi tingkat kerentanan suatu pulau, semakin mudah pulau tersebut mengalami kerusakan dimana paling rawan dan rentan terhadap kenaikan muka air laut (Mimura, 1999). Kerentanan pada pulau besar dan pulau kecil tentu tidak dapat disamakan. Wilayah pesisir pulau kecil cenderung lebih rentan dibandingkan dengan pulau besar, karena wilayah di pulau kecil umumnya memiliki sumberdaya yang terbatas. Hadirnya fenomena perubahan iklim dan tekanan penduduk di pulau kecil, ditambah dengan rendahnya kapasitas adaptasi penduduk dalam menghadapi berbagai dampak perubahan iklim ini menjadi alasan mengapa secara proporsional wilayah pulau kecil lebih rentan dibandingkan dengan pulau besar. Penilaian kerentanan yang telah dilakukan dalam penelitian ini telah menghasilkan keterbaharuan data. Integrasi antar data, metode, dan hasil yang diperoleh akan dirumuskan menggunakan analisis SWOT untuk menentukan langkah mitigasi yang cocok di setiap pulau yang ada di Kecamatan Karimunjawa. Penilaian kerentanan yang dibagi menjadi tiga dimensi indeks, yaitu indeks sensitivitas, indeks keterpaparan, dan indeks kapasitas adaptif menghasilkan tingkat kerentanan sedang untuk masing-masing pulau. Kerentanan suatu pulau juga dipengaruhi kondisi salah satu ekosistem pelindung pesisirnya yaitu

mangrove. Kondisi mangrove yang baik dan persebarannya merata maka akan melindungi pulau yang ada di dalamnya. Sebaliknya, jika kondisi ekosistem mangrove mengalami degradasi maka pulau tersebut akan terkena dampak dari gelombang laut yang dapat menenggelamkan sebagian atau keseluruhan pulau. Berdasarkan hasil prediksi luasan mangrove selama 22 tahun, kondisi mangrove di masing-masing pulau yang ada di Karimunjawa mengalami fluktuasi penambahan dan pengurangan luasan. Kondisi ekosistem mangrove di Pulau Karimunjawa-Kemujan pada periode tahun 2000 – 2015 mengalami trend penurunan. Tahun 2000 – 2005 luasannya sebesar 3,51% kemudian menyusut menjadi 2,57% pada tahun 2005 – 2010, dan puncaknya tahun 2015 mengalami penurunan luas yang cukup tajam yaitu nilainya sebesar -15,34%. Kondisi ini diduga terjadi karena pembukaan lahan tambak, pemukiman, resort wisata, kondisi geomorfologi, topografi, abrasi serta regulasi yang saling tumpang tindih antar instansi yang akhirnya dimanfaatkan sebagian pihak untuk mengeksploitasi lahan mangrove. Faktor diatas sesuai dengan analisis indeks kerentanan dimana terdapat beberapa komponen dari faktor manusia dan alam yang menyebabkan ekosistem mangrove di Karimunjawa-Kemujan mengalami degradasi. Sementara, untuk ekosistem mangrove yang ada di Pulau Parang dan Nyamuk, degradasi yang terjadi yaitu akibat dari pengaruh gelombang tinggi dan perluasan pemukiman penduduk. Berdasarkan analisis indeks kerentanan di pulau Parang dan Nyamuk, komponen keterisolasian pulau, penggunaan lahan, abrasi, kemiskinan, infrastruktur, pendidikan merupakan komponen kerentanan dengan nilai yang tinggi. Hal tersebut berdampak secara langsung dan tidak langsung terhadap kerusakan ekosistem mangrove. Nilai indeks kerentanan dapat mempengaruhi upaya mitigasi perubahan iklim. Wilayah dengan kerentanan tinggi

mungkin memerlukan lebih banyak sumber daya dan bantuan untuk mereduksi dampak perubahan iklim dan menerapkan solusi mitigasi yang efektif. Nilai indeks kerentanan dan kondisi geografis yang berbeda membuat mitigasi di setiap pulau berbeda.



SEKOLAH PASCASARJANA

SUMMARY

Indonesia's geographical location is very vulnerable to natural disasters such as tsunamis, volcanic eruptions, tidal waves, floods and drought, making small islands vulnerable to coastal resource degradation. Several of these threats, plus rising sea levels, have already begun to be felt by the TNKJ community. Indications of tidal erosion and abrasion as well as differences in tides in the last 20 years indicate that TNKJ has been impacted by climate change. Apart from the threat of climate change, ecosystem degradation also occurs due to unsustainable use. The lack of information about environmental vulnerability in TNKJ makes this area vulnerable to damage. Apart from that, the rate of degradation of coastal ecosystems, especially mangrove ecosystems in TNKJ is quite large and it is feared that the area will experience a greater decline in the future. Considering the importance of the mangrove ecosystem which has an ecological function as a wave reducer and a barrier to abrasion, it is important to study this ecosystem in order to minimize the vulnerability of KNP. For several generations, people in TNKJ have used mangrove wood as building materials, firewood, food and medicine. All of these uses can be sustainable as long as the use is non-commercial. Over time, there has been a development of a commercial market for mangrove wood as firewood and building materials on the Karimunjawa islands, as well as for pond stakes. As a result, there is pressure on the use/logging of mangrove wood on the islands in Karimunjawa National Park.

In the long term, this unsustainable use can cause ecosystem and environmental disturbances such as abrasion, flooding, dock sedimentation, disease outbreaks, and loss of habitat for economic fish. Based on research by Suryanti et al. (2011), there are 4 types of activities that have an impact on mangrove degradation. These activities include, among other things, opening up pond land, expanding residential areas, and tourist routes. The impact of tourism activities on the mangrove ecosystem in TNKJ is increasing as an airplane runway is built. Then the increasing human population caused the total area of settlement to increase, from 3.8 ha (1991) to 135 ha (2020) (Fajarini et al., 2020). To analyze the problems in this research, the DPSIR (Drivers-Pressures-States-Impacts-Responses) approach was used. Driving factors (drives) are unsustainable use to meet economic needs, household needs, increasing population, and rising sea levels. Indications of what is happening are the use of mangrove wood for household needs, the conversion of mangrove land into ponds. Pressure or pressure on the ecosystem due to these driving factors is increasing the vulnerability of an island, degradation of the mangrove ecosystem and environmental pollution. An indication of the pressure aspect is pressure in the form of increasing population and settlements. Then there is degradation of the mangrove ecosystem due to human and natural factors. States is a status indicator that describes the condition of the system and type as well as physical, chemical and biological characteristics, in this case there are indications of abrasion, abrasion, sedimentation, tidal waves, water quality and degradation of coastal resources. Impact which is the result of pressure on the ecosystem, which in this research is divided into three dimensions, namely ecological, social and economic, this dimension will experience a decline in function as a result of the

existing pressure. Response is various actions taken by stakeholders to mitigate ecosystem damage by reducing, preventing and repairing degraded ecosystems. Management of mangrove ecosystems on small islands faces significant challenges and problems, affecting environmental sustainability, community welfare and island resilience to natural disasters. Climate change, urbanization, pollution and other human activities can have a negative impact on the mangrove ecosystem and biodiversity on the small island. Based on the above, in-depth research is needed to identify, overcome related problems, and formulate effective mangrove ecosystem management strategies. This research aims to analyze the challenges and problems faced in managing mangrove ecosystems on small islands, as well as to investigate strategies and approaches that have the potential to increase the sustainability and conservation of these ecosystems. This research will involve analysis of ecological data, GIS data, participation of local communities and related stakeholders, and analysis of the vulnerability of the mangrove ecosystem. It is hoped that the results of this research can provide new strategies and policy recommendations to improve mangrove ecosystem management and increase the resilience of small islands to climate change and natural disasters.

Identification of endangered mangroves is an important step in efforts to conserve the valuable coastal ecosystem in Karimunjawa. Factors such as climate change, land use changes, pollution and human activities have caused a significant decline in mangrove populations. Mangrove loss not only impacts the flora and fauna that depend on them, but also has the potential to affect coastal communities who depend on these ecosystems for livelihoods and coastal protection from storms and abrasion. There are 97 types of mangroves and associated plants found based

on direct observations in the field and literature sources from the Karimunjawa National Park Office. The integration of mangrove data in Karimunjawa with IUCN red list data resulted in new research, namely the discovery of 19 types of mangroves whose status was near threatened to endangered. The implementation of this research has been carried out, namely by carrying out educational activities for residents and tourism businesses in Karimunjawa. They are asked not only to depend on economic results but also to care about existing environmental conditions. The concept of developing and organizing tourism activities based on the use of the environment for protection and active participation from the community by presenting products containing education and learning, will have a positive impact on the environment and make a positive contribution to regional development in Karimunjawa. As a form of effort to protect the mangrove ecosystem from increasing damage, appropriate action is needed. The second form of implementation carried out in this research is determining the optimal location for planting mangroves based on their type and habitat.

Syahid et al (2020) conducted research on land suitability analysis for global mangrove rehabilitation in Indonesia using the parameters of air temperature, coastal slope, altitude and precipitation levels. These parameters are then classified into 4 categories, namely unplantable, poor area conditions, adequate conditions, and suitable. There is a limitation in this research, namely that it cannot be supported by when this sediment layer was deposited. Actually, there were efforts to be made, but the equipment at BATAN was damaged so it had to be sent to ANSTO Australia which would increase costs. There are ways to find out the age of mangroves other than direct analysis at the BATAN/ANSTO Laboratory, namely

integrating data from other similar research and carrying out analysis to determine the age of sediment based on a certain depth. Determining the age of mangrove sediment layers can be done using pollen and diatoms. Based on research from Soeprbowati et al (2020) at the estuary of the BKT mangrove ecosystem, the mangrove sediment layer at a depth of 140 cm has an accumulation age of 160 years. An almost constant rate of sediment accumulation occurred from 1855 to 1981 with an average of 0.059 gr/cm²/year. Referring to the similarities in research results in Karimunjava, where sediment samples were taken at a depth of 100 cm and ecosystem conditions of the same type, namely mangroves, this data can be integrated with research data from Soeprbowati et al (2020). Soeprbowati further explained that in the 30-35 cm layer the sediment age was 18 years, the 65-70 cm sediment age was 39 years and the 100 cm layer sediment age was 105 years. This is a basic reference that the age of the sediment layer taken in the BKT mangrove is the same as the age of the sediment layer in Karimunjava.

The potential for carbon storage in mangrove sediments varies in each region, depending on conditions, climate, species type and hydro-oceanography. Several locations of mangrove forests in several countries and differences in sediment carbon content. Based on this table, the estimated value of carbon storage in mangrove sediments can be used as a basic reference in assessing the economic benefits of mangroves in the form of carbon absorption environmental service commodities. The vulnerability of small islands can be interpreted as the ease with which a system of small islands is damaged. The higher the level of vulnerability of an island, the easier it is for the island to experience damage as it is most vulnerable and vulnerable to sea level rise (Mimura, 1999). The vulnerability of

large islands and small islands certainly cannot be the same. Coastal areas of small islands tend to be more vulnerable than large islands, because areas on small islands generally have limited resources. The presence of the phenomenon of climate change and population pressure on small islands, coupled with the low adaptive capacity of the population in facing the various impacts of climate change, is the reason why small island areas are proportionally more vulnerable than large islands. The vulnerability assessment carried out in this research has resulted in updated data. Integration between data, methods and results obtained will be formulated using SWOT analysis to determine suitable mitigation measures for each island in Karimunjawa District. The vulnerability assessment which is divided into three index dimensions, namely the sensitivity index, exposure index and adaptive capacity index produces a moderate level of vulnerability for each island. The vulnerability of an island is also influenced by the condition of one of its coastal protective ecosystems, namely mangroves. Mangroves are in good condition and evenly distributed, which will protect the islands within them. On the other hand, if the condition of the mangrove ecosystem experiences degradation, the island will be affected by sea waves which can submerge part or all of the island. Based on the results of predictions of mangrove area for 22 years, the condition of mangroves on each island in Karimunjawa experienced fluctuations in area increase and decrease. The condition of the mangrove ecosystem on Karimunjawa-Kemuja Island in the period 2000 – 2015 experienced a downward trend. In 2000 – 2005 the area was 3.51%, then shrank to 2.57% in 2005 – 2010, and at its peak in 2015 experienced a quite sharp decline in area, namely -15.34%. This condition is thought to have occurred due to the opening of pond land, settlements, tourist resorts,

geomorphological conditions, topography, abrasion and overlapping regulations between agencies which in the end were used by some parties to exploit mangrove land. The above factors are in accordance with the vulnerability index analysis where there are several components of human and natural factors that cause the mangrove ecosystem in Karimunjawa-Kemujan to experience degradation. Meanwhile, for the mangrove ecosystem on Parang and Mosquito Islands, the degradation that occurs is the result of the influence of high waves and the expansion of residential areas. Based on the analysis of the vulnerability index on Parang and Nyamuk islands, the components of island isolation, land use, abrasion, poverty, infrastructure, education are components of vulnerability with high scores. This has a direct and indirect impact on damage to the mangrove ecosystem. The value of the vulnerability index can influence climate change mitigation efforts. Highly vulnerable areas may need more resources and assistance to reduce the impacts of climate change and implement effective mitigation solutions. Vulnerability index values and different geographical conditions make mitigation on each island different.

SEKOLAH PASCASARJANA