

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove adalah salah satu dari tiga ekosistem pesisir yang hidup di daerah pasang surut dan memiliki toleransi terhadap salinitas (Ramadhani et al., 2021). Mangrove memiliki peran ekologis yang sangat penting seperti menjadi pemecah gelombang laut, melindungi pantai dari abrasi dan erosi, menjadi habitat, tempat berlindung dan berkembang biak bagi biota laut. Secara ekonomi, hutan mangrove sering dijadikan sumber daya ekonomi masyarakat sekitar, seperti pemanfaatan kayu mangrove, kegiatan ekowisata, dan kegiatan perikanan yang dapat menjadi sumber mata pencaharian masyarakat lokal. Luas mangrove global diestimasikan mengalami penurunan sebesar 21,57% dari 17,41 Mha (1985) menjadi 13,66 Mha (2020) (Ju et al., 2025). Kerusakan dan degradasi hutan mangrove secara umum disebabkan oleh perubahan iklim dan aktivitas antropogenik. Kegiatan manusia seperti alih fungsi lahan menjadi tambak serta pemukiman dan fenomena perubahan iklim memberikan dampak negatif terhadap kelangsungan hidup mangrove yang menyebabkan populasi mangrove terus berkurang. Menurut Come et al. (2023), berkurangnya populasi mangrove mengakibatkan terancamnya fungsi ekologis dan ekonomi mangrove. Namun, perlindungan ekosistem mangrove dari perubahan iklim dan alih fungsi lahan menjadi tantangan dalam menjaga keberlanjutan ekosistem ini, mengingat ekosistem mangrove mempunyai peran ekologis dan ekonomi yang ditawarkan kepada masyarakat. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya menjaga kelestarian ekosistem mangrove seperti kegiatan konservasi mangrove yang didukung dengan perencanaan, manajemen, dan informasi terbaru terkait dengan ekosistem mangrove (Maurya et al., 2021).

Ekosistem mangrove berperan penting dalam siklus karbon global. Mangrove merupakan salah satu agen penyerap karbon biru (*blue carbon*) terbesar karena kemampuan penyerapan dan kapasitas penyimpanan karbonnya yang tinggi

(Liu et al., 2023). Mangrove memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon lebih besar dibandingkan dengan ekosistem hutan di darat (Banerjee et al., 2020). Karbon yang disimpan berasal dari proses fotosintesis, dimana mangrove menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer kemudian disimpan dalam jaringannya dan sedimen. Sedimen pada ekosistem mangrove mampu untuk menyimpan karbon, sehingga kapasitas karbon yang dapat diserap oleh ekosistem mangrove menjadi lebih besar dan lebih lama. Serasah mangrove yang terurai oleh bakteri menjadi sumber bahan organik yang tersimpan di dalam sedimen mangrove (Yaqin et al., 2022). Pasang surut air laut membawa bahan organik terkubur dalam sedimen mangrove. Menurut K. A. Putri et al. (2024), kondisi anoksik dalam sedimen mangrove akan memperlambat proses dekomposisi bahan organik, sehingga karbon tetap tersimpan di dalam sedimen.

Umumnya, mangrove tumbuh di zona pasang surut pantai tropis dan subtropis. Mangrove tumbuh pada substrat berlumpur, berlempung, atau berpasir dan selalu tergenang air laut pada saat pasang (Syafitri et al., 2024). Daerah ini sering berada pada pertemuan muara sungai air tawar dengan laut yang dapat membantu menurunkan kadar salinitas. Kondisi fisik tersebut menjadikan mangrove sebagai “sabuk hijau” pesisir yang sangat penting dalam melindungi garis pantai dari abrasi, serta menyediakan habitat krusial bagi biota laut (Wulandari et al., 2024). Keanekaragaman jenis mangrove Indonesia juga tinggi, sehingga mencerminkan variasi kondisi lingkungan fisik yang juga variatif di seluruh nusantara. Di pesisir utara Jawa Tengah, ekosistem mangrove di Desa Pasarbanggi, Rembang merupakan kombinasi dari tumbuhan mangrove alami dan hasil penanaman (Saputro et al., 2019). Vegetasi mangrove di Pasarbanggi didominasi oleh tiga spesies, yaitu *R. stylosa*, *R. mucronata*, dan *R. apiculata* dengan kerapatan mencapai 62 pohon per 100 m². Ciri fisik tersebut ditunjang oleh kualitas air pasang surut yang sesuai bagi mangrove, sehingga membuat kondisi hutan mangrove di Pasarbanggi tergolong baik, bahkan disebut sebagai salah satu yang terbaik di wilayah Pantura Jawa Tengah (Joandani et al., 2019).

2.2. Mangrove di Kecamatan Rembang

Berbagai penelitian sebelumnya mengungkapkan kondisi ekosistem mangrove Pasarbanggi. Saputro et al. (2019) melaporkan bahwa komposisi jenis mangrove di Pasarbanggi terdiri atas tiga jenis utama, yakni *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora apiculata* dengan kerapatan tertinggi mencapai 62 individu per 100 m² dan lebar hamparan mangrove mencapai 139 meter. Penelitian lain yang dilakukan oleh Pambudi (2023) menunjukkan bahwa kepadatan pohon mangrove di Pasar Banggi sangat tinggi dengan spesies dominan *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, dan *Avicennia marina*. Penelitian sama juga mencatat keberadaan lima jenis mangrove di Pasarbanggi, yaitu *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina*, dan *Sonneratia alba* yang pada umumnya tumbuh lebat membentuk kanopi hutan bakau.

Kawasan ekosistem mangrove di Kecamatan Rembang mencakup tiga daerah administrasi yaitu Desa Kabongan Lor, Tireman, dan Pasarbanggi. Kondisi mangrove di masing-masing lokasi di Rembang sangat bervariasi seiring waktu. Meskipun berbeda batas administrasi, dampak ekosistem mangrove yang dirasakan oleh ketiga desapun saling berkaitan (Anggraini & Marfai, 2017). Di Desa Kabongan Lor (utara Rembang), mangrove juga menipis dan terfragmentasi. Studi terbaru mengenai komunitas biota menunjukkan ekosistem ini ditekan oleh aktivitas manusia seperti banyak area yang telah dialihfungsikan menjadi tambak dan lokasinya berdekatan permukiman sehingga rawan sampah (Helena et al., 2025). Desa Tireman mengalami perubahan mangrove pada periode 2003-2018 (Tabel 2.1). Studi valuasi ekonomi ekosistem mangrove di Tireman oleh Yoni & Heriyanti (2025) menegaskan bahwa alih fungsi lahan dan eksploitasi berlebih oleh masyarakat pesisir adalah penyebab utama merosotnya tutupan mangrove di Desa Tireman. Desa Pasarbanggi, Kecamatan Rembang, Kabupaten Rembang dikenal luas sebagai kawasan rehabilitasi mangrove yang telah dilakukan sejak tahun 1960-an. Mangrove yang pada tahun 1960-an hanya memiliki tutupan sekitar 3 ha, namun setelah beberapa program penanaman pada tahun 1973, 1988, dan 2000 luasnya membengkak hingga puluhan hektar (Soeprobowati et al., 2024). Sejarah

rehabilitasi menyebabkannya menjadi tegakan mangrove yang relatif rapat dan menjadi rujukan lokal bagi kegiatan konservasi dan penelitian (Annas et al., 2013).

Tabel 2.1. Perubahan luas mangrove Desa Tireman tahun 2003-2018

| Tahun | Luas (ha) | Referensi |
|-------|-----------|-------------------------|
| 2003 | 3,830 | Laraswati et al. (2020) |
| 2013 | 13,321 | |
| 2018 | 10,986 | |

Ekosistem mangrove di Kecamatan Rembang tercatat memiliki peran penting sebagai penyangga pesisir. Penelitian (Anggraini & Marfai, 2017) juga mengatakan bahwa ekosistem mangrove di ketiga desa ini menyediakan jasa penyedia, jasa pengaturan, hingga jasa budaya bagi masyarakat di sekitar kawasan mangrove. Kabongan Lor memiliki potensi ekowisata berbasis mangrove, meskipun pengelolaan masih terbatas dan ketergantungan masyarakat pada sumber daya mangrove cukup tinggi. Sebagian kawasan ini juga mengalami penurunan tutupan akibat alih fungsi lahan untuk pemukiman dan tambak. Kawasan mangrove Pasarbanggi kini menjadi salah satu destinasi ekowisata unggulan di Kabupaten Rembang. Menurut Nafisah et al. (2024), mangrove di Pasarbanggi telah dimanfaatkan sebagai kawasan wisata bahari berbasis kelestarian lingkungan, yang berkembang pesat sebagai objek wisata unggulan daerah. Kawasan Pasarbanggi mulai dikembangkan tahun 1999 oleh kelompok petani Tambak Sidodadi Maju dan diresmikan menjadi objek wisata pada tahun 2013 yang hingga sekarang menjadi objek wisata unggulan di Kabupaten Rembang. Selain itu, mangrove di Pasarbanggi berperan penting bagi habitat biota perikanan, dimana wilayah Rembang, termasuk Pasarbanggi, menjadi salah satu penghasil kepiting bakau (*Scylla* sp.) (Pambudi, 2023). Hal tersebut menunjukkan masyarakat lokal juga memanfaatkan mangrove sebagai lokasi penangkapan dan budidaya kepiting bakau, yang kini menjadi komoditas perikanan penting dan sumber pendapatan masyarakat di kawasan tersebut. Ketiga desa ini membentuk koridor penting bagi ekosistem mangrove di pesisir Kecamatan Rembang, dengan peran ekologisnya dalam menjaga stabilitas garis pantai, mendukung perikanan, serta berpotensi untuk pengembangan ekowisata berkelanjutan.

2.3. Biomassa Permukaan

Biomassa diartikan sebagai suatu material organik yang berasal dari hewan maupun tumbuhan dan bukan berasal dari fosil (Firsbach et al., 2022). Biomassa pada tumbuhan berkaitan dengan stok karbon, dimana sebanyak 47% biomassa di atas permukaan tanah adalah karbon yang tersimpan oleh tumbuhan dari proses fotosintesis (Suardana et al., 2023). Biomassa permukaan tanah atau *Above Ground Biomass* (AGB) merupakan kumpulan bahan organik merupakan parameter dasar untuk investigasi lapangan yang digunakan untuk menampilkan kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon (Han et al., 2019). Ekosistem mangrove merupakan salah satu sumber biomassa dengan produktivitas tinggi. Rifandi (2021) mengungkapkan total biomassa tegakan mangrove sekitar 123,40 ton/ha dengan rata-rata biomassa mangrove jenis *Avicennia alba* sebesar 249,06 kg per pohon di kawasan ekowisata mangrove Desa Mojo, Kabupaten Pemalang. Hasil penelitian Prakoso et al. (2017) menyebutkan bahwa total biomassa mangrove di kawasan konservasi mangrove Desa Bedono, Demak sebesar 253,50 ton/ha. Studi lain yang dilakukan oleh Rahmat et al. (2022) di Pasarbanggi, Rembang juga mengungkapkan bahwa total biomassa tertinggi yang didapatkan sebesar 647,66 ton/ha. Hal ini disebabkan karena daya simpan ekosistem mangrove lebih besar dibandingkan dengan ekosistem hutan tropis lainnya.

Salah satu metode pengukuran biomassa adalah dengan menumbangkan dan mengukur berat kering pohon. Metode ini sangat akurat akan tetapi kurang efektif karena membutuhkan biaya yang besar dan dapat merusak lingkungan (Jachowski et al., 2013). Estimasi biomassa permukaan tanah pada mangrove secara tidak langsung dapat diukur melalui pengukuran diameter batang pohon di atas dada atau *Diameter Breast Height* (DBH), tinggi pohon, dan densitas pohon (Chave et al., 2005).

2.4. Karbon Permukaan

Karbon adalah unsur kimia yang menjadi komponen dasar sebagai penyusun senyawa organik. Karbon dihasilkan dari proses respirasi dan pembusukan material organik yang akan dilepaskan sebagai gas CO₂ di atmosfer

(Ulqodry et al., 2020). Selain itu, aktivitas manusia seperti penggunaan kendaraan bermotor dan kegiatan industri yang menghasilkan asap sangat berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas karbon ke atmosfer. Akumulasi karbon di atmosfer akan menghasilkan efek gas rumah kaca yang dapat meningkatkan suhu global. Dampak dari penumpukan karbon di atmosfer dan efek gas rumah kaca adalah perubahan iklim.

Menurut Ulqodry et al. (2020), proses respirasi dan pembusukan material organik akan melepaskan karbon ke atmosfer. Karbon yang terikat dari atmosfer melalui proses fotosintesis ini disebut sebagai stok karbon (Yusra & Sulistiyowati, 2020). Proses fotosintesis mampu menyimpan karbon di dalam biomassa tumbuhan. Karbon tersimpan dalam 47% biomassa di atas tanah dan 39% biomassa di bawah tanah (Sasmito et al., 2019). Salah satu ekosistem penyimpan karbon dengan kapasitas besar adalah mangrove. Menurut Banerjee et al. (2020), ekosistem mangrove mampu menyimpan karbon 3 – 5 kali lipat lebih besar dibandingkan dengan ekosistem darat lainnya. Ekosistem mangrove tidak hanya menyediakan tempat tinggal bagi berbagai jenis organisme laut, tetapi juga berperan sebagai penyimpan karbon yang signifikan. Pengelolaan dan pelestarian ekosistem pesisir dan laut menjadi sangat penting dalam upaya global untuk mengurangi emisi gas CO₂ dan menjaga keseimbangan iklim global, serta menjaga keanekaragaman hayati laut dan kesejahteraan komunitas pesisir yang bergantung pada ekosistem penyusunnya. Karbon yang diserap oleh mangrove dapat diperkirakan melalui cadangan karbon yang terkandung dalam biomassa mangrove (Suardana et al., 2023).

SEKOLAH PASCASARJANA

2.5. Satelit Landsat

Landsat merupakan salah satu satelit yang menyediakan gambar citra dengan resolusi menengah. Data citra satelit Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) dan Landsat 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) tersedia secara gratis dan dapat diakses oleh umum. Landsat 5 dan 7 dapat digunakan untuk estimasi *above ground biomass* dalam skala lokal maupun regional (López-Serrano et al., 2020). Generasi pertama dari satelit Landsat adalah Landsat 1 yang diluncurkan pada tahun

1972 dan terus berkembang hingga saat ini. Landsat 5 diluncurkan pada 1 Maret 1984 dan beroperasi sampai 5 Juni 2013 pada ketinggian orbit 705 km dengan membawa sensor *Thermal Mapper*. Citra ini memiliki 7 *band spectral* dengan resolusi spasial 30 m yang disajikan pada Tabel 2.2. Sedangkan, Landsat 7 diluncurkan pada 15 April 1999 memiliki 8 *band spectral* dengan membawa sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* beresolusi 30 m yang disajikan pada Tabel 2.3. Kedua citra satelit tersebut diperbarui setiap 16 hari. Landsat 5 dan 7 dapat dimanfaatkan untuk pemetaan penutupan lahan, pemetaan penggunaan lahan, pemetaan geologi, pemetaan suhu permukaan laut, dan lain sebagainya (Suwargana, 2013).

Tabel 2.2. Spesifikasi Band Pita Satelit Landsat 5 TM

| Band ke- | Band | Sensor | Panjang Gelombang Sentral (μm) | Resolusi (m) |
|----------|-------------------|--------|---|--------------|
| 1 | <i>Blue</i> | TM | 0,45-0,52 | 30 |
| 2 | <i>Green</i> | TM | 0,52-0,60 | 30 |
| 3 | <i>Red</i> | TM | 0,63-0,69 | 30 |
| 4 | <i>NIR</i> | TM | 0,76-0,90 | 30 |
| 5 | <i>SWIR 1</i> | TM | 1,55-1,75 | 30 |
| 6 | <i>Thermal IR</i> | TM | 10,40-12,50 | 120 |
| 7 | <i>SWIR 2</i> | TM | 2,08-2,35 | 30 |

Sumber: *Earth Observing System* (2024)

Tabel 2.3. Spesifikasi Band Pita Satelit Landsat 7 ETM+

| Band ke- | Band | Sensor | Panjang Gelombang Sentral (μm) | Resolusi (m) |
|----------|---------------------|--------|---|--------------|
| 1 | <i>Blue</i> | ETM+ | 0,45-0,51 | 30 |
| 2 | <i>Green</i> | ETM+ | 0,52-0,60 | 30 |
| 3 | <i>Red</i> | ETM+ | 0,63-0,69 | 30 |
| 4 | <i>NIR</i> | ETM+ | 0,75-0,90 | 30 |
| 5 | <i>SWIR 1</i> | ETM+ | 1,55-1,75 | 30 |
| 6 | <i>Thermal IR</i> | ETM+ | 10,4-12,5 | 60 |
| 7 | <i>SWIR 2</i> | ETM+ | 2,09-2,35 | 30 |
| 8 | <i>Panchromatic</i> | ETM+ | 0,52-0,90 | 15 |

Sumber: Suwargana (2013)

2.6. Satelit Sentinel-2A

Perkembangan teknologi membawa kemudahan dalam sebuah penelitian seperti contohnya adalah analisis stok karbon. Saat ini analisis stok karbon dikembangkan melalui penginderaan jarak jauh. Data penginderaan jauh dapat berasal dari Satelit Landsat dan Sentinel. Satelit Sentinel-2A adalah satelit dengan instrumen multispectral yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) (Wang et al., 2021).

Satelit Sentinel-2A memiliki 13 pita (*band*) spektral dengan resolusi spasial yang berbeda. Pita spektral pada satelit Sentinel-2A berfungsi sebagai filter sensor untuk menangkap cahaya pantul dengan panjang gelombang berbeda. Setiap pita memiliki karakteristik panjang gelombang sentral dan resolusi yang berbeda. Perbedaan karakteristik pita pada satelit Sentinel-2A dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut.

Tabel 2.4. Spesifikasi Pita Satelit Sentinel-2A

| Band ke- | Band | Sensor | Panjang Gelombang Sentral (μm) | Resolusi (m) |
|----------|----------------------------|--------|---|--------------|
| 1 | <i>Coastal Aerosol</i> | MSI | 0,443 | 60 |
| 2 | <i>Blue</i> | MSI | 0,490 | 10 |
| 3 | <i>Green</i> | MSI | 0,560 | 10 |
| 4 | <i>Red</i> | MSI | 0,665 | 10 |
| 5 | <i>Vegetation Red Edge</i> | MSI | 0,705 | 20 |
| 6 | <i>Vegetation Red Edge</i> | MSI | 0,740 | 20 |
| 7 | <i>Vegetation Red Edge</i> | MSI | 0,783 | 20 |
| 8 | <i>NIR</i> | MSI | 0,842 | 10 |
| 9 | <i>Vegetation Red Edge</i> | MSI | 0,865 | 20 |
| 10 | <i>Water Vapor</i> | MSI | 0,945 | 60 |
| 11 | <i>SWIR-Cirrus</i> | MSI | 1,375 | 60 |
| 12 | <i>SWIR</i> | MSI | 1,610 | 20 |
| 13 | <i>SWIR</i> | MSI | 2,190 | 20 |

Sumber: (Chen et al., 2023)

Satelit Sentinel-2A menghasilkan produk berupa data citra. Setiap pita spektral akan memproduksi data citra berdasarkan panjang gelombang dan cahaya pantul yang ditangkap oleh satelit. Data citra yang dihasilkan kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan penginderaan jauh. Menurut Kyriakos & Vavalis (2023), citra dari setiap pita spektral dapat dikombinasikan menjadi suatu

data indeks spektral. Indeks spektral secara umum digunakan untuk monitoring berbagai kondisi lingkungan di permukaan bumi. Salah satu contoh indeks spektral adalah indeks vegetasi, seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Simple Ratio* (SR), dan *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI). Hasil analisis indeks vegetasi tersebut nantinya dapat dipergunakan dalam analisis estimasi kandungan biomassa dan stok karbon di suatu ekosistem.

2.7. Mangrove Vegetation Index (MVI)

Mangrove Vegetation Index (MVI) adalah indeks vegetasi spesifik yang dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan dalam membedakan vegetasi mangrove dengan vegetasi non-mangrove (Baloloy et al., 2020). Indeks vegetasi ini berbeda dengan indeks seperti NDVI yang bersifat umum. MVI dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik spektral unik mangrove yang tumbuh pada zona pesisir, khususnya pada lingkungan dengan pengaruh pasang surut, substrat berlumpur, dan latar belakang perairan yang kompleks. Kondisi tersebut sering menyebabkan keterbatasan NDVI dalam membedakan mangrove dari vegetasi non-mangrove maupun objek non-vegetasi di wilayah pesisir. Kemampuan tersebut menjadikan MVI banyak digunakan dalam pemetaan mangrove dan pemantauan perubahan tutupan mangrove.

2.8. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index atau NDVI merupakan indeks vegetasi pertama yang dikenalkan oleh Rouse et al. (1974). Indeks vegetasi ini memiliki kemampuan dalam menggambarkan kondisi vegetasi secara cepat. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa NDVI cukup efektif untuk membedakan sabana, hutan rimbon, dan lahan agrikultur. Selain itu, NDVI banyak digunakan karena kesederhanaan dan mudah didapatkan. Menurut Huang et al. (2021), NDVI dapat meningkatkan kemampuan analisa informasi mengenai vegetasi dengan data penginderaan jauh. NDVI adalah sebuah indeks vegetasi yang mengukur tingkat kehijauan vegetasi atau aktivitas fotosintesis pada vegetasi (Andini et al., 2018).

2.9. SWOT

Analisis SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities, Threats*) merupakan sebuah instrumen analisis untuk membandingkan antara faktor internal dan eksternal (Suarto, 2017). SWOT menjadi instrumen yang dapat digunakan untuk menilai kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman dari suatu proyek. Analisis SWOT dapat diterapkan dalam merumuskan strategi rehabilitasi mangrove di wilayah pesisir Kecamatan Rembang, Kabupaten Rembang dengan membandingkan faktor internal dan eksternal dari wilayah tersebut sehingga dapat menghasilkan strategi yang tepat untuk rehabilitasinya.

Analisis SWOT yang mempertimbangkan faktor internal dan eksternal dikenal juga dengan analisis SWOT IFAS (*Internal Factor Analysis Summary*) dan EFAS (*External Factor Analysis Summary*). Analisis SWOT IFAS dan EFAS adalah metode membandingkan faktor internal dengan faktor eksternal untuk mengetahui strategi yang cocok untuk diterapkan dalam rehabilitasi mangrove (Rangkuti, 2008). Faktor internal terdiri dari kekuatan (*Strengths*) dan kekurangan (*Weakness*), sedangkan faktor eksternal terdiri dari peluang (*Opportunities*) dan ancaman (*Threats*). Matriks IFAS digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi faktor-faktor internal yang mencakup kekuatan dan kelemahan suatu objek atau sistem. Sementara itu, matriks EFAS digunakan untuk mengenali faktor-faktor eksternal dengan cara menguraikan peluang dan ancaman yang mungkin memengaruhi kondisi atau kinerja objek yang dianalisis (Rahmawati et al., 2024). Analisis SWOT IFAS dan EFAS dapat diterapkan dalam merumuskan strategi rehabilitasi mangrove di wilayah pesisir Rembang karena metode analisis ini akan membandingkan faktor internal dengan faktor eksternal yang dapat membuat strategi rehabilitasi lebih tepat.