

## Kajian Pustaka Asesmen Status Kondisi Ekosistem Mangrove

Gathot Winarso<sup>1,3</sup>, Muhammad Kamal<sup>2</sup>, Mohammad Syamsu Rosid<sup>3</sup>, Wikanti Asriningrum<sup>1</sup> and Jatna Supriatna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN Jl. Kalisari No. 8 Jakarta Timur

<sup>2</sup> Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Yogyakarta

<sup>3</sup> Fakultas MIPA Universitas Indonesia, Depok Indonesia

\*Corresponding author

E-mail address: [gathot\\_winarso@lapan.go.id](mailto:gathot_winarso@lapan.go.id) (Gathot Winarso)

Peer review di bawah tanggung jawab Departemen Biologi Universitas Sriwijaya

### Abstract (English)

*The mangrove area of the world has been decreasing and Indonesia has lost 1.6 million ha of mangrove during the period 1980-2005. In 2015 the status of Indonesia's mangroves was 3.5 million ha with 48% in good condition and 52% in degraded conditions. Therefore, mangrove forests should be conserved properly and utilized sustainably. Assessment of the status of mangrove conditions is essential in conservation planning and management so that it can be done better. However, the method for assessing the condition of mangrove forests is still diverse and has not been standardized, so a literature review and review of how to assess the condition of mangrove ecosystems from various literature needs to be done. The results of the study of various literatures, in general there are two types of assessments. The first assessment used canopy density indicators, tree density, structure and composition of vegetation including diversity index and environmental parameters which are used singly or a combination of some or all parameters and some that be correlated with ecological integrity. For the second assessment, using a comparison between the existing mangrove forest and the potential area to be overgrown with mangroves. There is a difference when assessing the potential area, there is the opinion of the area potentially seen by the status of the area whether or not the forest area, from the landsystem, the level of abrasion, pond area and the comparison of the coastline length overgrown with mangrove with a total coastline length. Both assessments with each indicator can be used in accordance with the objectives of the assessment of the condition.*

*Keywords: status, condition, mangrove*

### Abstrak (Indonesia)

*Kawasan mangrove dunia terus menyusut dan Indonesia telah kehilangan 1,6 juta ha mangrove selama kurun 1980-2005. Pada tahun 2015 status luas mangrove Indonesia adalah 3,5 juta ha dengan 48% dalam kondisi baik dan 52% dalam kondisi terdegradasi. Oleh karena itu, hutan mangrove harus dikelola dengan baik dan dimanfaatkan secara lestari. Asesmen tentang status kondisi mangrove merupakan hal yang esensial dalam perencanaan dan pengelolaan konservasi agar bisa dilakukan dengan lebih baik. Akan tetapi metode asesmen (penilaian) kondisi hutan mangrove masih beragam dan belum baku, sehingga perlu dilakukan kajian pustaka dan ulasan mengenai bagaimana asesmen kondisi ekosistem mangrove dari berbagai pustaka. Hasil kajian dari berbagai pustaka, secara garis besar ada dua macam penilaian. Pada penilaian pertama digunakan indikator kerapatan kanopi, kerapatan pohon, struktur dan komposisi vegetasi termasuk indeks keanekaragaman serta parameter lingkungan, yang digunakan secara tunggal atau kombinasi dari sebagian atau seluruh parameter dan ada yang menghubungkan dengan ecological integrity. Untuk penilaian kedua menggunakan perbandingan antara hutan mangrove eksisting dengan area berpotensi ditumbuhi mangrove. Terjadi perbedaan ketika menilai area yang berpotensi tersebut, ada pendapat area berpotensi dilihat status kawasan apakah kawasan hutan ataupun bukan, dari landsystem, tingkat abrasi, kawasan tambak dan perbandingan panjang garis pantai yang ditumbuhi mangrove dengan total panjang garis pantai. Idealnya metode penilaian dengan parameter yang lengkap sehingga komprehensif adalah metode terbaik tetapi akan membutuhkan effort yang banyak. Kedua penilaian dengan masing-masing indikatornya bisa digunakan sesuai dengan tujuan dari penilaian kondisi tersebut akan digunakan untuk dan dapat disesuaikan dengan kemampuan sumberdaya.*

*Kata Kunci : status, kondisi, mangrove*

Diterima: November 10, 2020, Disetujui: December 10, 2020

## 1. Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang penting di wilayah pesisir dan bernilai secara global atas perannya secara ekologi dan ekonomi serta merupakan sumber kesuburan bagi ekosistem pesisir secara umum. Apalagi dengan adanya perdagangan karbon pada dekade akhir ini, mangrove sebagai penyimpan cadangan karbon terbesar [1] menjadikan ekosistem mangrove lebih penting lagi. Akan tetapi ekosistem ini rentan terhadap tekanan akibat perubahan iklim dan aktifitas manusia. Kawasan mangrove dunia terus menyusut dan Indonesia kehilangan 1,6 juta ha mangrove selama kurun 1980-2005 [2]. Pada tahun 2015 status luas mangrove Indonesia adalah 3,5 juta ha dengan 48% dalam kondisi baik dan 52 dalam kondisi terdegradasi [3]. Indonesia sebagai negara memiliki hutan mangrove terluas di Asia bahkan di dunia [4]; [5], memiliki kewajiban mengelola kawasan mangrove dengan baik agar tetap dapat dimanfaatkan secara lestari. Salah satu informasi yang diperlukan adalah status kondisi hutan mangrove di seluruh Indonesia. Asesmen tentang status kondisi mangrove merupakan hal yang esensial dalam perencanaan dan pengelolaan konservasi dengan lebih baik [6]. Informasi status kondisi ini diperlukan ketika kita akan melakukan pengelolaan, ketika sedang melakukan pengelolaan dan akhir dari program pengelolaan. Pada awal pengelolaan informasi status kondisi diperlukan untuk mengetahui kondisi inisial ekosistem tersebut yang menentukan langkah yang tepat untuk pengelolaan. Pada saat sedang dalam proses pengelolaan, status kondisi juga diperlukan untuk memantau apakah pengelolaan membuat ekosistem menjadi lebih baik atau bahkan lebih buruk, dan bisa sebagai evaluasi dari sebuah program pengelolaan. Selain untuk pengelolaan secara umum, secara khusus informasi kondisi ekosistem mangrove diperlukan, salah satunya dalam program reboisasi untuk menentukan lokasi yang tepat.

Akan tetapi belum ada metode baku yang bisa digunakan untuk menilai status kondisi ekosistem mangrove yang representatif dan bisa digunakan secara umum. Indikator asesmen ekosistem mangrove yang ada adalah dengan menghitung spesies, kerapatan kanopi dan luas kanopi [7]. Indikator lain untuk menilai adalah adanya keterbukaan tajuk pohon yang besar akibat kegiatan manusia, perubahan kelimpahan relatif pada tingkat tajuk dan semai, perubahan keragaman dan penurunan kualitas air [8]. Penilaian kondisi masih menggunakan banyak parameter dan rumit serta memerlukan waktu dan biaya penelitian yang banyak, sehingga untuk memberikan informasi status kondisi hutan mangrove di seluruh wilayah Indonesia sulit dilakukan dan memerlukan waktu yang sangat lama karena kawasan mangrove yang luas. Penginderaan jauh akan membantu permasalahan tersebut, beberapa parameter seperti indeks

vegetasi, tutupan kanopi dan/atau *leaf area index* (LAI) bisa diekstrak dari data penginderaan jauh, akan tetapi semua masih diperdebatkan karena banyak kekurangan dari informasi yang dikeluarkan.

Salah satu aplikasi penginderaan jauh untuk vegetasi adalah menghitung indeks vegetasi yang menggambarkan kerapatan kanopi vegetasi pada setiap piksel citra. Dari sekitar ratusan indeks vegetasi, indeks yang paling umum digunakan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Indeks*) [9] yang dikembangkan pertama kali oleh Rouse *et al.*, [10]. Kerapatan mangrove dari indeks vegetasi NDVI ini telah digunakan untuk menilai kerusakan mangrove dimana nilai indeks yang rendah dikategorikan dalam kategori mangrove yang telah rusak [11]. Kajian mengenai hubungan antara NDVI dan kerapatan mangrove telah dilakukan oleh Faizal dan Amran [12]. Namun korelasi NDVI dengan kerapatan pohon bagus ketika kondisi mangrove masih belum rusak yang mana masih didominasi oleh mangrove sejati. NDVI akan mengalami kejenuhan (saturasi) pada tutupan kanopi yang tinggi, artinya NDVI menjadi tidak sensitive pada nilai LAI yang tinggi [13].

Kemudian dikembangkan indeks baru untuk vegetasi mangrove (diberi nama Indeks Mangrove) yang diperkenalkan oleh Winarso & Purwanto [14], dengan indeks baru ini mampu menggantikan NDVI yang gagal menunjukkan kondisi sebenarnya di Segara Anakan Cilacap dimana kawasan ini dapat dikategorikan kawasan yang sudah relatif rusak. Tetapi secara umum NDVI dengan Indeks Mangrove (indeks baru untuk mangrove) memiliki sebaran yang sama di Alas Purwo Banyuwangi, karena kawasan ini termasuk kawasan yang terjaga dan belum rusak [15]. Indeks Mangrove memiliki potensi untuk dikembangkan baik secara sendiri digunakan maupun bersama-sama dengan NDVI. Untuk mengembangkan Indeks Mangrove menjadi indikator status kondisi mangrove masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yaitu menganalisa hubungan Indeks Mangrove dengan tingkat kerusakan atau kondisi mangrove dari pengukuran lapangan. Akan tetapi melakukan penilaian kondisi mangrove untuk bisa dikorelasikan dengan Indeks Mangrove terkendala dengan beragamnya metode dan parameter penilaian kondisi mangrove. Oleh karena itu perlu dilakukan studi pustaka mengenai metode dan parameter penilaian kondisi mangrove berbasis data lapangan secara komprehensif. Selain mengulas metode penilaian, juga mengumpulkan sebanyak mungkin indikator sehingga semakin terbuka peluang indikator lapangan mana yang berkorelasi dengan data penginderaan jauh Tujuan dari tulisan ini adalah mempelajari dan membahas metode dan parameter penilaian kondisi mangrove yang ada kemudian dianalisa metode yang paling komprehensif, yang memungkinkan untuk dioperasionalkan. Hasil dari kajian ini akan bermanfaat bagi penelitian selanjutnya yaitu analisa yang paling besar

mempunyai peluang berkorelasi dengan data penginderaan jauh.

### **Istilah Status Kondisi**

Pada tulisan ini penulis menggunakan istilah status kondisi. Dua istilah tersebut sebenarnya memiliki arti yang hampir sama jika ditinjau dari sudut pandang pengelolaan ekosistem atau konservasi jadi bisa menggunakan salah satu bisa status saja atau kondisi saja. Akan tetapi dari sudut pandang yang lain kadang dipermasalahkan karena memiliki arti yang luas. Status menurut KBBI artinya keadaan atau kedudukan (orang, badan dan sebagainya) dalam hubungannya dengan masyarakat sekelilingnya. Dalam konteks ekosistem di permukaan bumi, maka lebih tepat ke makna keadaan, tetapi keadaan bisa menjelaskan keadaan berbagai aspek seperti baik buruknya (sebagaimana dimaksud dalam tulisan ini), keadaan luas dan sebarannya tetapi bisa ke dalam makna kedudukan dimana suatu kawasan bisa sebagai kawasan lindung atau kawasan pemanfaatan dalam konteks kedudukan kawasan dalam tata ruang. Kondisi menurut KBBI memiliki makna persyaratan atau keadaan. Tetapi kondisi juga masih luas maknanya, kondisi apanya? Kondisi kesehatan, kondisi ekonomi, kondisi lingkungan dan sebagainya. Kondisi bisa dalam 2 keadaan, kondisi baik dan kondisi buruk, maka akan memberikan makna keadaan suatu parameter tergantung dari konteks pembicaraannya. Status dalam tulisan ini mencoba mengacu pada istilah yang digunakan oleh Hadi et al., [16] untuk mendiskripsikan keadan baik buruknya terumbu karang di Indonesia yang menggunakan parameter persen tutupan karang hidup sebagai indikatornya.

Istilah lain yang bisa digunakan untuk menyatakan keadaan baik buruknya sesuatu dengan istilah kesehatan. Akan tetapi istilah kesehatan sudah menjadi istilah yang untuk individu manusia atau makhluk hidup lainnya. Menurut Pimentel, Laura Westra, & Noss, [17], kesehatan (*health*) untuk organisme mempunyai arti mampu menjalankan semua fungsi vital secara normal dan semestinya, untuk lingkungan adalah suplai barang dan jasa yang diperlukan tetap berkelanjutan. Istilah kesehatan adalah kependekan dari kondisi yang bagus dan yang paling sesuai adalah istilah *ecological health* [17]. Sementara Rapport, Costanza and McMichael [18] menjelaskan memang secara umum kesehatan digunakan untuk menyatakan vitalitas secara individual walaupun akhir-akhir ini juga digunakan untuk populasi baik

manusia, hewan piaraan maupun hewan liar. Perluasan makna kesehatan dalam ekosistem regional sebagai respon terhadap ekosistem yang menjadi hilangnya fungsi secara ekologi, dimana pada gagasan yang lebih luas lagi dalam tingkat regional (ekosistem, daerah tangkapan air, basin dan lanskap) memberikan kesempatan baru untuk mengintegrasikan ilmu sosial, ilmu alam dan ilmu kesehatan [18]. Definisi kesehatan ekosistem sangat dekat dengan konsep stres secara ekologi.

Istilah yang lain yang digunakan adalah “Ecological Integrity” atau integritas ekologi yang diperkenalkan oleh Pimentel, Laura Westra and Noss [17] sebagai respon adanya degradasi alam dengan hilangnya kenakeragaman hayati dan fungsi ekosistem baik di daratan maupun di perairan yang didorong oleh kegiatan ekonomi yang tidak berdasar lestari karena keseluruhan permintaan telah melewati produktifitas alam dan kemampuan penyerapan limbah. Sementara ahli ekonomi, ahli ekologi dan ahli lingkungan masih fokus pada masing-masing bidangnya sehingga tidak mampu memberikan solusi kepada keadaan tersebut [17]. Sehingga diperlukan pendekatan yang holistik multidisiplin. Konsep integritas ekologi menyediakan informasi yang berharga untuk asesmen kondisi ekosistem dan efektifitas pengelolaan, dan merupakan komponen penting monitoring berbasis ekologi [19]. Konsep ini telah digunakan untuk mengembangkan Mangrove Quality Indeks [20].

### **Metode-metode Asesmen Status Kondisi Mangrove**

Dari penelusuran pustaka ditemukan ada beberapa metode atau kriteria dalam menentukan status kondisi mangrove, diantaranya adalah dengan mengukur *Diversity Index* atau Indeks Keanekaragaman [21], mengukur kerapatan kanopi dan kerapatan pohon menurut Permen LH No. 201/2004 yang diadopsi oleh Pusat Penelitian Oseanologi LIPI untuk kegiatan COREMAP [22], mengukur beberapa parameter menurut Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove, Ditjen Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan terbitan Mei 2005, mengukur parameter komposisi dan struktur vegetasi ditambah kondisi lingkungan menurut Ardli [23]. Secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua macam penilaian yaitu kondisi hutan mangrove eksisting dan menilai kondisi dari perbandingan eksisting hutan mangrove dengan potensi lahan yang bisa ditumbuhi hutan mangrove. Secara ringkas disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Metode Asesmen dan Parameter yang Digunakan

Metode	Parameter
Indeks Keanekaragaman Hayati [21]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Species Richness</li> <li>- Species Evenness</li> <li>- Shannon-Wiener Indeks</li> <li>- Simpson Diversity Indeks</li> </ul>
Kementerian Negara Lingkungan Hidup (Kepmen LH No. 201 Tahun 2004), COREMAP [22] Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Mangrove Kritis [24]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kerapatan Kanopi</li> <li>- Kerapatan Pohon</li> <li>- Penggunaan lahan</li> <li>- Kerapatan Kanopi</li> <li>- Landsystem</li> <li>- Kerapatan pohon</li> <li>- Kerapatan Permudaan</li> <li>- Lebar Jalur Hijau Mangrove</li> </ul>
Ardli [23]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Struktur dan komposisi vegetasi</li> <li>- Faktor Lingkungan (suhu udara, suhu air, suhu tanah, intensitas cahaya, pH tanah, salinitas tanah, kandungan N dan P total, kandungan pasir liat, debu, water content dan kandungan bahan organic.</li> </ul>
Potensi [24]; [25]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luas mangrove/ luas potensi berdasarkan landsystem.</li> <li>- Luas mangrove/ luas tambah</li> <li>- Panjang pantai bermangrove/ panjang pantai total</li> </ul>
Farida-Hanum et al. [20]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biomasa di atas tanah</li> <li>- Kelimpahan kepiting</li> <li>- Nitrogen dalam tanah</li> <li>- Karbon dalam tanah</li> <li>- Jumlah spesies phytoplankton</li> <li>- Jumlah spesies Diatom</li> <li>- Oksigen terlarut</li> <li>- Kekeruhan</li> <li>- Lama (tahun) pendidikan</li> <li>- Lama (jam) pendidikan</li> </ul>
Tidak terkategori	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laju fotosintesis [26]</li> <li>- Hydroperiod [27]</li> <li>- kesehatan spesial sentinel (kerang sebagai bio-indikator) oleh Aguirre-Rubí et al. [28],</li> <li>- Fungsi ekologi terhadap kesejahteraan manusia [29]</li> <li>- variasi pigmen dengan mengetahui psikologi, penuaan, dan stres [30]</li> </ul>

*Biodiversity* (keanekaragaman hayati) menjadi bahan pembicaraan yang cukup ramai akhir-akhir ini. Walaupun awalnya kata keanekaragaman hayati menjadi kata yang sulit dan hanya menarik bagi sedikit orang [31]. Dijelaskan lebih lanjut, nyatanya keanekaragaman hayati seharusnya berupa konsep sederhana, karena pada esensinya, dia merupakan tanda keberadaan alam, kehidupan, dan keragaman aspek hidup dalam sejumlah level, dari yang paling kecil dan mendasar (seperti gen dan bakteri) sampai pada spesies binatang dan tumbuhan, menuju level yang paling kompleks (ekosistem). Semua level ini saling bersilangan dan mempengaruhi satu sama lain dan juga evolusi yang

lainnya. Keanekaragaman hayati yang kita lihat sekarang adalah hasil dari evolusi selama jutaan tahun, terbentuk dari proses alam dan bertambah, karena pengaruh manusia [32]. Keanekaragaman hayati ternyata mempunyai hubungan yang erat dengan kesehatan ekosistem, karena mengukur keanekaragaman hayati adalah membedakan antara perbedaan tahapan dari perkembangan ekosistem, perbedaan tahapan akan berasosiasi dengan perbedaan kondisi kesehatan [33]. Keanekaragaman dapat diukur dari berbagai indeks, pertama dari species richness (R), Shannon-Wiener Indeks (H) [34], Species Evenness dan Simpsons Diversity Indeks [35]. Penggunaan data inderaja untuk estimasi Kekayaan Spesies (Species Richness) dan



Simpsons Indeks telah dilakukan oleh Mohammadi, Shataee and Babanezhad [36], yang menghasilkan nilai korelasi sebesar 0,61 untuk hubungan Kekayaan Spesies dengan band 4,5 dan 7, DVI dan variance dari band 5 dan 4. Simpsons Indeks berkorelasi dengan nilai R2 sebesar 0,57 dengan band 1, brightness, greenness dan varian dari band 4 dan 3 [36]. Beberapa indeks keanekaragaman hayati ini berpotensi menjadi indikator kesehatan dan akan dikorelasikan dengan Indeks Mangrove dan indeks vegetasi yang lainnya maupun parameter lain dari data penginderaan jauh seperti reflektansi pada kanal-kanal yang ada.

Indeks Keanekaragaman sudah banyak digunakan dalam melakukan penelitian terhadap sebuah ekosistem atau komunitas vegetasi seperti dilakukan oleh Supriadi et al. [37]; Antu et al. [38]; Nehru and Balasubramanian [39]; dan Sreelekshmi et al. [40]. Nehru and Balasubramanian [39] menggunakan indeks keanekaragaman untuk mengetahui perubahan kondisi sebelum dan sesudah kejadian tsunami yang menimpa daerah penelitian, sementara 3 pustaka yang lain hanya untuk mempelajari status hutan mangrove saja tanpa membandingkan dengan waktu pengukuran yang berbeda.

Secara resmi Menteri Negara Lingkungan Hidup (Meneg LH) telah mengeluarkan Kepmen LH No. 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Pada Keputusan ini mangrove dikategorikan memiliki kondisi baik jika tutupan kanopi  $\geq 50\%$  dan kerapatan pohon  $\geq 1000$  pohon/ Ha. Sementara Rusak dikategorikan jika tutupan kanopi kurang dari 50 % dan kerapatan pohon kurang dari 1000 pohon/Ha. Kriteria ini masih digunakan oleh Pusat Penelitian Oseanografi LIPI melalui Panduan Monitoring Status Ekosistem Mangrove Edisi 2 terbitan tahun 2017 [22]. Kajian penggunaan tutupan kanopi berbasis data penginderaan jauh sudah dilakukan oleh Nugroho *et al.*, [41], dengan akurasi sebesar 86 % dengan koefisien kappa 79. Tutupan kanopi berhubungan yang erat dengan tingkat erosi yang akan mempengaruhi kondisi lingkungan [42].

Kriteria ini jika digunakan secara bersama-sama akan menunjukkan penilaian yang cukup obyektif, tetapi jika digunakan sendiri-sendiri akan ada sedikit masalah. Untuk indikator menggunakan kerapatan pohon, bermasalah pada kawasan-kawasan mangrove yang masih bagus dan berusia tua, yg komposisi pohonnya banyak dihuni oleh pohon mangrove yang besar-besar. Karena persaingan secara alami maka akan bertahan pohon-pohon yang besar dan kalahnya pohon lain sehingga membuat jumlah pohon per unit luas berkurang. Padahal kondisi masih bagus tetapi proses alami menunjukkan jumlah pohon yg sedikit. Sementara pada kawasan yang baru tumbuh atau dalam proses recovery cenderung angka jumlah pohon per unit luas tinggi tetapi terdiri dari pohon mangrove yang masih muda dan rapat. Kriteria ini masih diperdebatkan.

Sementara untuk kerapatan kanopi berbasis lapangan cukup representatif, walaupun banyak faktor yang belum diperhitungkan dan mempengaruhi kondisi ekosistem mangrove. Kerapatan kanopi banyak diaplikasikan menggunakan data penginderaan jauh dengan pendekatan menggunakan indeks vegetasi (NDVI). Akan tetapi kerapatan kanopi ini ada beberapa masalah yaitu adanya saturasi pada kerapatan daun yg tinggi dan keberadaan mangrove asosiasi jenis semak yang membuat nilai kerapatan kanopi yang tinggi pada kawasan-kawasan yg terindikasi rusak [14]. Dominasi mangrove asosiasi yang berupa semak pada suatu kawasan telah dijadikan indikasi kerusakan sebuah ekosistem [43]. Selain itu kerapatan kanopi berbasis NDVI mengalami saturasi (kejenuhan) pada tutupan kanopi / LAI tinggi, ini maksudnya nilai NDVI menjadi tidak sensitif pada leaf area index yang tinggi [13]. Kerapatan kanopi berbasis lapangan menggunakan kamera fish eye digunakan oleh Dharmawan and Pramudji [22]. Hal ini bisa menjadi solusi masalah-masalah penggunaan kerapatan kanopi berbasis indeks vegetasi dari penginderaan jauh, tetapi untuk mendapatkan data ini perlu usaha dan biaya yang tinggi untuk wilayah dan luas serta cakupan spasialnya kurang bagus karena dalam satu kawasan hanya diwakili oleh beberapa titik pengamatan. Pengamatan pada transek permanen menjadi metode yang cukup representatif untuk memantau perubahan yang terjadi dari sisi kerapatan kanopi.

Studi penentuan kerusakan mangrove yang lebih komprehensif telah dilakukan oleh Ardli [23] yang memberikan kriteria baik sedang rusak dari kriteria struktur dan komposisi vegetasi dan dari faktor lingkungan yaitu suhu udara, suhu air, suhu tanah, intensitas cahaya, pH tanah, salinitas tanah, Kandungan N dan P total, kandungan pasir liat, debu, water content, dan kandungan bahan organik. Pada tulisan tersebut disebutkan bahwa pengambilan data berbasis data dan dilakukan interpolasi untuk merubah menjadi data spasial.

Ketiga metode di atas termasuk dalam kategori pertama yaitu status kondisi untuk hutan mangrove yang masih ada (eksisting), walaupun sebenarnya pada kawasan yang tidak ada vegetasi mangrovenya masuk kategori rusak. Untuk kebutuhan reboisasi atau penanaman kembali maka diperlukan informasi lahan yang bisa direboisasi dengan menanam mangrove pada kawasan tersebut. Oleh karena itu diperlukan informasi potensi lahan yang bisa ditumbuhi mangrove. Dari kebutuhan ini muncul metode penilaian kondisi yaitu dengan membandingkan antara mangrove eksisting dengan potensi lahan yang bisa direboisasi seperti dikembangkan oleh Pribadi *et al.*, [25] ketika menyusun Penyiapan Penyusunan Baku Kerusakan Mangrove Jawa Tengah. Pribadi *et al.*, [25] menggunakan kriteria luas eksisting mangrove dibandingkan dengan luas tambak dan membandingkan panjang garis pantai yang bermangrove dengan total garis pantai. Penilaian dengan

metode ini juga dilakukan oleh Departemen Kehutanan [24] untuk mencari lahan yang bisa direboisasi dengan melakukan pembobotan dan skoring untuk mencari lahan mangrove kritis. Metode ini berdasarkan Pedoman Inventarisasi dan identifikasi Lahan Kritis Mangrove, Ditjen Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan terbitan Mei 2005 [24]. Pada pedoman yang masih digunakan oleh KLHK Ditjen Pengendalian DAS dan Hutan Lindung sampai sekarang, menggunakan 2 opsi yaitu jika ada data inderaja maka digunakan data inderaja dan jika tidak ada menggunakan data survey langsung. Metode pertama dengan metode GIS dan data Inderaja yaitu dengan menganalisis jenis penggunaan lahan (kawasan hutan, tambak tumpang sari/perkebunan dan penggunaan lahan lainnya), masing-masing memiliki skor tersendiri, kemudian dari data inderaja menggunakan kerapatan kanopi berdasar nilai NDVI dengan tingkat kerapatan lebat, sedang dan jarang. Kemudian dari jenis tanah ada 3 kelas jenis tanah tidak peka erosi, jenis tanah peka erosi dan jenis tanah sangat peka erosi, yang diperoleh dari peta *landsystem*. Sedangkan berbasis data survei berdasarkan parameter jenis penggunaan lahan, jumlah pohon / hektar, jumlah permudaan per hektar dan lebar jalur hijau mangrove. Metode ini sudah digunakan diberberapa penelitian baik menggunakan secara penuh maupun sebagian [44].

Dari dua metode tersebut ditemukan ada perbedaan ketika menentukan lahan potensi mangrove. Pada metode penentuan lahan mangrove kritis, potensi diperoleh dari berbagai data seperti data kawasan hutan, *landsystem*, dan tingkat erosi. Pada metode yang hanya berbasis data lapangan, kriteria penggunaan lahan lebih didetailkan lagi yaitu menjadi hutan mangrove murni, hutan mangrove bercampur tegakan lain, hutan mangrove bercampur dengan tambak tumpang sari atau areal tambak tumpangsari murni, hutan mangrove bercampur dengan penggunaan non-vegetasi dan area tidak bervegetasi serta ada tambahan parameter yaitu lebar jalur hijau. Kawasan hutan menjadi kriteria daerah potensi mangrove karena kawasan hutan merupakan kewenangan dari KLHK sehingga hal ini sebagai pembatas bagi KLHK. Sementara instansi lain seperti KKP dan Pemerintah Daerah memiliki kewenangan di luar kawasan hutan. Faktor pembatas lainnya adalah *landsystem*. *Landsystem* atau sistem lahan adalah peta tematik bentuk lahan dengan pendekatan bentang lahan menurut Christian dan Stewart (1968) dalam (Nurwadjedi [45] yang disebut dengan *landsystem* atau sistem lahan [45]. Selanjutnya dijelaskan, Peta Sistem Lahan ini telah banyak dimanfaatkan dalam menganalisa potensi lahan pertanian, peternakan, perikanan, zonasi kawasan konservasi, pariwisata dan lain-lain. Untuk kawasan mangrove baik untuk studi ekologi, penentuan lahan kritis, dan penentuan lahan potensi mangrove, peta sistem lahan ini telah banyak digunakan [46]; [47]; [48]; [49];[24].

Pribadi [25] menggunakan parameter kawasan tambak dan garis pantai sebagai kawasan yang berpotensi mangrove. Jadi status hutan mangrove dihitung dari perbandingan luas mangrove eksisting dengan lahan tambak dan panjang garis pantai bermangrove dibanding panjang garis pantai. Menurut saya ini adalah simplifikasi karena kebanyakan kawasan mangrove dijadikan tambak dan asumsi bahwa tambak bisa ditanami mangrove dan akan tumbuh. Walaupun agak kurang tepat karena tambak-tambak yang dibangun manusia ada yang bukan di kawasan mangrove dan tidak setiap garis pantai berpotensi ditumbuhi mangrove. Sebagai contoh adalah pantai-pantai yang tidak terlindung tidak bisa ditumbuhi mangrove. Kasus yang mungkin bisa dijadikan pembahasan adalah Kabupaten Cilacap, berdasarkan Ardli and Wolff [43] terjadi konversi kawasan mangrove menjadi lahan pertanian (sawah) bukan ke tambak, sehingga mengakibatkan persentase mangrove eksisting dengan potensi (dari tambah) menjadi 100%. Hal ini menyebabkan tingkat kondisi menjadi sedang, sedangkan Ardli [23]; dan Winarso et al. [14] menyatakan bahwa kawasan mangrove Cilacap termasuk kawasan yang terdegradasi atau rusak. Walaupun kalau dibandingkan dengan kondisi mangrove pantau utara Jawa Tengah masih sangat jauh lebih bagus.

Dari banyak parameter yang digunakan untuk mengetahui potensi, menurut saya ada satu yang terlewatkan yaitu faktor pasang surut. Mangrove selalu dikaitkan dengan pasang surut ketika mendefinisikan hutan mangrove [4]. Dalam skala lokal, morfologi sistem mangrove dicirikan dari interaksi yang kompleks antara arus kanal karena pasang surut dan permukaan bervegetasi yang dangkal dan tergenang [27]. Pohon dibentuk dari persingungan tinggi rendahnya 3 faktor yang meliputi faktor sumber / input yaitu ketersediaan nutrien, tingkat pencahayaan, dan ruang yang tersedia, faktor regulator yaitu salinitas dan pH, faktor hidriperiode yaitu frekuensi, tinggi dan durasi genangan, bersama-sama menentukan pola dari geokimia tanah (Clark et al. (1998) dalam [27] dan produktifitas mangrove (Chen and Twilley (1998) dan Twilley and Rivera-Monroy (2009) dalam [27]). Interface proses bio-geo-kimia ini bergantian dengan proses fisika dari suplai sedimen, penurunan tanah dan pemadatan otomatis [27]. Dari penjelasan ini maka faktor pasang surut yaitu frekuensi, tinggi dan lama genangan akan sangat berpengaruh terhadap kehidupan hutan mangrove.

Laju fotosintesis dan stress secara fisiologi bisa digunakan untuk mengetahui kesehatan mangrove juga [26], ketika mempelajari pengaruh sedimen tersuspensi terhadap degradasi mangrove. Kesehatan mangrove bisa diketahui juga dari kesehatan spesial sentinel (kerang sebagai bio-indikator) oleh Aguirre-Rubí *et al.* [28], dengan mengukur fungsi ekologi terhadap kesejahteraan manusia [29], menggunakan variasi pigmen dengan mengetahui psikologi, penuaan, dan stres [30]. Dari

pustaka-pustaka dalam alinea ini merupakan indikator kesehatan sesaat pengukuran dan bukan merupakan hasil dari sebuah proses yang bisa naik dan turun pada kondisi lingkungan yang berbeda.

Faridah-Hanum et al. [20] mengembangkan metode penilaian status kondisi mangrove yang diberi nama *Mangrove Quality Index* berbasis integritas ekologi dengan menggunakan 42 variabel yang dikelompokkan ke dalam 5 kategori yaitu mangrove *biotic integrity index*, *mangrove soil index*, *marine-mangrove index*, *mangrove hydrology index* dan *mangrove socio-economic index*. Dari 42 variabel kemudian dipilih yang paling mempengaruhi menggunakan principal component analysis menjadi hanya 10 variabel, dengan 10 variabel ini dibangun Mangrove Quality Index baik secara umum maupun pada setiap kategori yang dibagi menjadi 5 tingkat yaitu mengawatirkan, jelek, sedang, baik dan istimewa. MQI merupakan penilaian status kondisi yang lebih holistik dan menggambarkan seluruh keadaan, tetapi karena banyaknya parameter yang digunakan akan sangat membutuhkan usaha dan biaya jika diaplikasikan pada area yang luas seperti di Indonesia.

## 2. KESIMPULAN

Penilaian kondisi bisa menggunakan parameter yang terkait dengan proses pertumbuhan. Seperti vegetasi dalam berkembang biak maka ujung dari prosesnya adalah kelebatan daun (kerapatan kanopi) atau jumlah pohon dalam satuan luas atau. Kerapatan kanopi yang rendah atau kerapatan pohon yang rendah bisa menjadi indikator adanya proses pertumbuhan yang kurang baik. Kerapatan kanopi dan pohon memang tidak khusus untuk hutan mangrove tetapi berlaku umum untuk semua vegetasi dan biasa digunakan untuk penilaian kondisi hutan. Proses lebih lanjut dari pertumbuhan adalah tingkat keanekaragaman karena nilai ini merupakan hasil interaksi dengan makhluk hidup lain maupun lingkungan. Indikator kondisi bisa juga menggunakan parameter input dalam proses, sebagai contoh adalah salinitas, ketersediaan nutrisi, dimana hutan mangrove akan berkembang dengan baik dan sehat jika hidup pada salinitas yang ideal dan nutrisi yang cukup. Perubahan salinitas yang cukup signifikan akan mempengaruhi perkembangan ekosistem dan menurunkan kesehatan, seperti berkembangnya mangrove asosisasi berupa semak atau nipah. Indikasi kesehatan awal ini bisa digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi di dalam hutan mangrove. Penyebab perubahan bisa ditelusik dari indikator pertama kemudian mengukur parameter-parameter lain yang terkait dalam proses pertumbuhan sehingga diketahui penyebab kerusakan hutan mangrove tersebut. Pemilihan indikator yang akan digunakan tergantung dari sisi kemudahan mendapatkan data, konsistensi ketika diukur ulang dan faktor tujuan pengukuran.

Untuk digunakan sebagai metode baku yang berlaku secara nasional untuk asesmen kondisi ekosistem mangrove nasional, maka diperlukan kesepakatan antar pemangku kepentingan dengan pertimbangan-pertimbangan teknis mengingat luas wilayah Indonesia yang luas. Kesepakatan ini diperlukan agar tersedia data yang cukup dan seragam dalam asesmennya sehingga bisa diintegrasikan secara nasional. Dalam rangka mencapai kesepakatan nasional sudah diinisiasi oleh Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Walaupun inisiasi LIPI ini dengan tujuan untuk Proyek COREMAP, tetapi bisa saja diadopsi jika disepakati oleh pemangku kepentingan yang lain. Untuk keperluan pengembangan indikator kesehatan berbasis data penginderaan jauh, telah banyak terkumpul parameter-parameter yang bisa dipilih dan diuji. Untuk melakukan pemilihan dan pengujian diperlukan analisa lanjut dan melakukan penelitian sehingga ditemukan

## 3. UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini adalah bagian dari penelitian yang dibiayai oleh Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui insentif riset Insinas tahun 2018 dengan kontrak Nomor : 11/INS-1/PPK/E4/2018. Kami ucapkan terima kasih kepada pihak Kemenristekdikti, Biro Renor LAPAN dan Pusfatja LAPAN yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Kami ucapkan terima kasih juga kepada FMIPA UI sebagai mitra dalam penelitian ini dan Dr. Erwin Adli dari Universitas Jenderal Soedirman.

## References

- [1] Donato, D. C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M and Kanninen, M (2011) 'Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics', *Nature Geoscience*. Nature Publishing Group, 4(5), pp. 293–297. doi: 10.1038/ngeo1123.
- [2] FAO (2007) *The World's Mangroves 1980-2005*, FAO of UN. FAO of UN. doi: 978-92-5-105856-5.
- [3] Kuswando, A. et al. (2018) *The Distribution of Degraded Mangrove Ecosystem in Indonesia*, Coordinating Ministry for Maritime Affairs, Ministry of Environmental and Forestry.
- [4] Noor, Y. R., Khazali, M. and Suryadiputra, I. N. . (2006) *Panduan Pengenal Mangrove di Indonesia*. Wetlands International.
- [5] Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Maske, J., Duke, N (2011) 'Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data', *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), pp. 154–159. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x.
- [6] Schmitt, K. and Duke, N. C. (2016) 'Tropical Forestry Handbook', pp. 1–29. doi: 10.1007/978-3-642-41554-8.

- [7] Duke, N.C and Mackenzie, J. (2012) 'A revision of mangrove plants of the Solomon Islands, Vanuatu, Fiji, Tonga and Samoa: A Report for the MESCAL Project, IUCN Oceania Office, Suva. Centre for Tropical Water & Aquatic Ecosystem Research (TropWATER). James Cook University. Townsville
- [8] Kusmana et al., (2010) Indikator-indikator Ekosistem Hutan Mangrove. Institute Pertanian Bogor
- [9] Li, P., Jiang, L. and Feng, Z. (2013) 'Cross-comparison of vegetation indices derived from landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and landsat-8 operational land imager (OLI) sensors', *Remote Sensing*, 6(1), pp. 310–329. doi: 10.3390/rs6010310.
- [10] Rouse, J. W. et al. (1973) 'Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS', *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium*, 1, pp. 309–317. doi: citeulike-article-id:12009708.
- [11] Kementerian, L. H. (2004) 'Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004'. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- [12] Faizal, A., dan Amran, M.A.. (2005) Model Transformasi Indeks Vegetasi yang Efektif untuk Prediksi Kerapatan Mangrove Rhizophora Mucronata. Prosiding PIT MAPIN XIV ITS Surabaya, 14-15 September 2005
- [13] Gu, Y., Wylie, B.K., Howard, D.M., Phuyal, K.P., Ji. (2013) 'NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA', *Ecological Indicators*. Elsevier Ltd, 30, pp. 1–6. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.01.041.
- [14] Winarso, G. and Purwanto, A. D. (2014) 'Evaluation of Mangrove damage Level based on Landsat 8 Image', *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*, 11(2), pp. 105–116.
- [15] Winarso, G., Purwanto, A. and Yuwono, D. (2014) 'New Mangrove Index As Degradation Health Indicator Using Remote Sensing Data: Segara Anakan and Alas Purwo Case Study', *12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC 2014)*, 2009(November), pp. 4–7.
- [16] Hadi, T. A. et al. (2018) *Status Terumbu Karang Indonesia 2018*. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- [17] Pimentel, D., Laura Westra and Noss, R. F. (2002) *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation, and Health., The Quarterly Review of Biology*. The University of Chicago Press. doi: 10.1086/345240.
- [18] Rapport, D. J., Costanza, R. and McMichael, A. J. (1998) 'Assessing ecosystem health', *Trends in Ecology and Evolution*, 13(10), pp. 397–402. doi: 10.1016/S0169-5347(98)01449-9.
- [19] Faber-Langendoen, D. et al. (2016) *An Introduction to NatureServe's Ecological Integrity Assessment Method*. Available at: [http://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/eia\\_2019.pdf](http://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/eia_2019.pdf).
- [20] Faridah-Hanum, I., Yussof, F.M., Fitriato, A., Nuruddin, A., Ainuddin., Gandaseca, S., Zaiton, S., Norizah., Nurhidayu, S., Roslan, M.K., Hakeem, K.R., Shamsuddin, I., Adnan, I., Awang, A.G.Noor., A.R.S, Balqis, Rhyma, P.P., Aminah, I.S., Hilaluddin, F., Fatin, R., Harun, N.Z.N (2019) 'Development of a comprehensive mangrove quality index (MQI) in Matang Mangrove: Assessing mangrove ecosystem health', *Ecological Indicators*, 102(February), pp. 103–117. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.02.030.
- [21] Supriatna, J., (2018) *Konservasi Biodiversitas : Teori dan Praktek di Indonesia*. Yayasan Obor Indonesia
- [22] Dharmawan, I. W. E. and Pramudji (2017) *Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove*. 2nd edn. CRITC, COREMAP, Pusat Penelitian Oseabografi LIPI
- [23] Ardli, E. R. (2010) 'Distribusi Spasial Derris trifoliata Lour si Segara Anakan Cilacap sebagai Agen Biomonitoring Kerusakan Mangrove', in *Seminar Nasional Biodiversitas dan Bioteknologi Sumberdaya Akuatik*. Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman.
- [24] Departemen Kehutanan (2005) 'Pedoman inventarisasi dan identifikasi lahan kritis mangrove', p. 13.
- [25] Pribadi, R. et al. (2017) Laporan Akhir Penyiapan Penyusunan Baku Kerusakan Mangrove Jawa Tengah. Kerjasama Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dengan Universitas Diponegoro.
- [26] Fu, W., Liu, D., Yin, Q., Wu, Y., Li, P. (2014) 'Suspended sediment in tidal currents: An often-neglected pollutant that aggravates mangrove degradation', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 84(1–2), pp. 164–171. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.05.015.
- [27] Spencer, T. and Möller, I. (2013) *Mangrove Systems, Treatise on Geomorphology*. doi: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00290-6.
- [28] Aguirre-Rubí, J. et al. (2018) 'Assessment of ecosystem health disturbance in mangrove-lined Caribbean coastal systems using the oyster *Crassostrea rhizophorae* as sentinel species', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 618, pp. 718–735. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.098.
- [29] Hsieh, H. L. et al. (2015) 'Ecosystem functions connecting contributions from ecosystem services to human wellbeing in a mangrove system in Northern Taiwan', *International Journal of Environmental*



- Research and Public Health*, 12(6), pp. 6542–6560. doi: 10.3390/ijerph120606542.
- [30] Pastor-Guzman, J. *et al.* (2015) ‘Spatiotemporal variation in mangrove chlorophyll concentration using Landsat 8’, *Remote Sensing*, 7(11), pp. 14530–14558. doi: 10.3390/rs71114530.
- [31] Milano, S., Ponzio, R. and Sardo, P. (2018) *Biodiversity*. Slow Food Foundation for Biodiversity.
- [32] Rawat, U. S. and Agarwal, N. K. (2015) ‘Biodiversity: Concept, Threats and Conservation Biodiversity: Concept, threats and conservation’, *Environment Conservation Journal*, 16 (3)(December), pp. 18–28.
- [33] Kimmins, J. P. (1997) ‘Biodiversity and its relationship to ecosystem health and integrity’, *The Forestry Chronicle*, 73(2), pp. 229–232.
- [34] Tuhumury, A. and Latupapua, L. (2014) ‘Keragaman Jenis Satwa Burung Berdasarkan Ketinggian Tempat pada Hutan Desa Rambatu Kabupaten Seram Bagian Barat Provinsi Maluku’, *Jurnal Hutan Tropis*, 2(3), pp. 94–106.
- [35] Mulder, A. C. P. H. *et al.* (2018) ‘Nordic Society Oikos Species Evenness and Productivity in Experimental Plant Communities Lorenzen and B. Schmid Published by: Wiley on behalf of Nordic Society Oikos Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/3548005> Nordic Society Oikos, Wiley are coll’, 107(1), pp. 50–63.
- [36] Mohammadi, J., Shataee, S. and Babanezhad, M. (2011) ‘Estimation of forest stand volume, tree density and biodiversity using landsat ETM+ data, comparison of linear and regression tree analyses’, *Procedia Environmental Sciences*, 7, pp. 299–304. doi: 10.1016/j.proenv.2011.07.052.
- [37] Supriadi, Romadhon, A. and Farid, A. (2015) ‘Struktur Komunitas Mangrove di Desa Martajasah Kabupaten Bangkalan’, *Jurnal Kelautan Universitas Trunojoyo*, 8(1), pp. 44–51.
- [38] Antu, R., Sahami, F. M. and Hamzah, S. N. (2015) ‘Keanekaragaman Jenis dan Indeks Nilai Penting Mangrove di Desa Tabulo Selatan Kecamatan Manunggu Kabupaten Boalemo Provinsi Gorontalo’, *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 3(Maret), pp. 11–15.
- [39] Nehru, P. and Balasubramanian, P. (2018) ‘Mangrove species diversity and composition in the successional habitats of Nicobar Islands, India: A post-tsunami and subsidence scenario’, *Forest Ecology and Management*. Elsevier, 427(March), pp. 70–77. doi: 10.1016/j.foreco.2018.05.063.
- [40] Sreelekshmi, S. *et al.* (2018) ‘Diversity, stand structure and zonation pattern of Mangroves in Southwest coast of India’, *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.japb.2018.08.001.
- [41] Nugroho, S. *et al.* (2011) ‘Kajian Metode Deteksi Degradasi Hutan Menggunakan Citra Sateit Landsat di Hutan Lahan Kering Taman Nasional Halimun Salak’, *Jurnal Teknosains*, 1(No. 1 Desember 2011), pp. 26–34.
- [42] Lathifah, D. H. and Yunianto, T. (2013) ‘Hubungan Antara Fungsi Tutupan Vegetasi Dan Tingkat Erosi Das Secang Kabupaten Kulonprogo’, *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(1).
- [43] Ardli, E. R. and Wolff, M. (2009) ‘Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia’, *Regional Environmental Change*, 9(4), pp. 235–243. doi: 10.1007/s10113-008-0072-6.
- [44] Graha, Y. I., Hidayah, Z. and Nugraha, W. A. (2009) ‘Penentuan Kawasan Lahan Kritis Hutan Mangrove di Pesisir Kecamatan Modung Memanfaatkan Teknologi SIG dan Penginderaan Jauh’, *Jurnal Kelautan Universitas Trunojoyo*, 2(2), pp. 106–116.
- [45] Nurwadjadi (2000) ‘Klasifikasi Bentuk Lahan Semi Detil (Skala 1:50.000/1:25.000) Hasil Pengembangan Peta Reppprot Skala 1:250.000’, *Globe*, 2(2), pp. 72–83.
- [46] Onrizal (2002) *Evaluasi Kerusakan Kawasan Mangrove Dan Alternatif Rehabilitasinya Di Jawa Barat Dan Banten*. USU digital library.
- [47] Onrizal and Kusmana, C. (2008) ‘Studi Ekologi Hutan Mangrove di Pantai Timur Sumatera Utara Ecological study on mangrove forest in East Coast of North Sumatra’, *Biodiversitas*, 9(1), pp. 25–29.
- [48] Nurlailita, Kusmana, C. and Widiatmaka (2015) ‘Keragaan Biofisik Ekosistem Mangrove Di Kecamatan Birem Bayeun Dan Kecamatan Rantau Selamat, Aceh Timur’, *Jurnal Silvikultur Tropika*, 06(2), pp. 71–77.
- [49] Kementerian Kehutanan, (2010) Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomer P.35/Menhut-II/2010. Tentang Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi dan Lahan DAS pada Ekosistem Mangrove dan Sepadan Pantai. Kementerian Kehutanan