

Penentuan Tingkat Kesehatan Komunitas Mangrove Secara Otomatis Menggunakan Otsu Thresholding

Sarimuddin¹, Mutmainnah Muchtar^{2*}, Yuwanda Purnamasari Pasrun³, Laode Abdul Fajar Hasidu⁴, Riska⁵

^{1,2} Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

³ Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

^{4,5} Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Peternakan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

*Email: muchtarmutmainnah@gmail.com

Abstrak

Hutan mangrove adalah salah satu jenis hutan yang tumbuh di daerah tropis dan subtropis yang memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kesehatan komunitas mangrove adalah dengan melakukan pemantauan dan evaluasi secara teratur dengan menggunakan teknologi modern seperti pengolahan citra digital. Persentase tutupan kanopi mangrove dapat digunakan sebagai indikator penting dalam mengevaluasi kesehatan dan kepadatan populasi mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode thresholding otsu pada sistem berbasis pengolahan citra digital yang mampu menentukan tingkat kesehatan komunitas mangrove secara otomatis berdasarkan persentase tutupan kanopi mangrove. Citra tutupan kanopi mangrove diakuisisi dengan menggunakan teknik hemispherical photography. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dengan menerapkan metode thresholding otsu memiliki RAE rata-rata sebesar 0,034 dan ME rata-rata sebesar 0,052 dengan waktu proses rata-rata selama 5,3 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menentukan tingkat kesehatan komunitas mangrove secara otomatis dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini juga menunjukkan bahwa proses penentuan tingkat kesehatan komunitas mangrove sesuai dengan pengamatan langsung di lapangan.

Kata kunci: komunitas mangrove, pengolahan citra, thresholding Otsu, tutupan kanopi mangrove

Abstract

Mangrove forests are one type of forest that grows in tropical and subtropical regions and plays a crucial role in maintaining ecosystem balance. One way to assess the health of mangrove communities is through regular monitoring and evaluation using modern technology such as digital image processing. The percentage of mangrove canopy cover can serve as a key indicator in evaluating the health and population density of mangrove communities. This study aims to implement the Otsu thresholding method in a digital image processing-based system capable of automatically determining the health status of mangrove communities based on the percentage of mangrove canopy cover. Mangrove canopy cover images were acquired using hemispherical photography techniques. Experimental results show that the system built using the Otsu thresholding method has an average Relative Absolute Error (RAE) of 0.034 and average Mean Error (ME) of 0.052, with an average processing time of 5.3 seconds. This indicates that the system can automatically determine the health status of mangrove communities in a relatively short time. It also suggests that the process of determining the health status of mangrove communities aligns with direct field observations.

Keywords: mangrove communities, image processing, Otsu thresholding, mangrove canopy cover

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki wilayah pesisir atau garis pantai terpanjang kedua setelah negara Kanada (Arianto, 2020). Wilayah pesisir memiliki kesuburan yang tinggi sehingga menjadi sumber zat organik yang penting dalam sistem rantai makanan. Namun, wilayah pesisir sangat rentan terhadap gangguan akibat perubahan aktivitas lingkungan yang terjadi di sekitarnya. Wilayah pesisir biasanya terdiri dari tiga komponen utama, yaitu hutan mangrove, terumbu karang (Riska et al., 2022), dan padang lamun (Febrianto et al., 2019). Hutan mangrove adalah ekosistem hutan yang terdapat di sepanjang garis pantai atau muara sungai, yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Tidore et al., 2021). Komunitas mangrove merujuk pada kumpulan berbagai jenis tumbuhan mangrove yang hidup bersama-sama di suatu wilayah ekosistem pesisir. Secara fisik, mangrove memberikan perlindungan bagi masyarakat pesisir dari badai dan tsunami (Idrus et al., 2018). Selain itu, ekosistem mangrove secara ekologis berfungsi untuk sektor perikanan, mencegah abrasi air laut, melindungi garis pantai, menjadi habitat berbagai biota air, dan dapat menyerap karbondioksida dari udara. Diperlukan suatu upaya pengelolaan yang meliputi upaya pemantauan ekologi terhadap kondisi kesehatan masyarakat mangrove di suatu kawasan pesisir (Idrus et al., 2018). Mangrove yang sehat dapat berfungsi optimal bagi lingkungan sekitarnya.

Kanopi pada tanaman mangrove adalah bagian atas dari tegakan yang tersusun atas struktur ranting/kayu dan daun. Tutupan kanopi atau *canopy cover* mengacu pada persentase area permukaan tanah yang ditutupi oleh ranting dan dedaunan mangrove dari ketinggian tertentu. Analisis pada parameter persentase tutupan kanopi dapat digunakan sebagai indikator penting dalam mengevaluasi kesehatan dan kepadatan populasi mangrove (Dharmawan & Pramudji, 2017).

Secara umum, semakin tinggi persentase tutupan kanopi komunitas mangrove, semakin baik kesehatan mangrove tersebut. Kondisi kesehatan komunitas mangrove yang buruk dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem pesisir dan berdampak negatif pada kehidupan masyarakat maupun ekosistem lainnya yang bergantung pada sumber daya alam pesisir.

Pengolahan citra digital dapat membantu menentukan tingkat kesehatan komunitas mangrove secara otomatis dan efisien dengan menggunakan teknologi modern seperti teknik *hemispherical photography* untuk menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir yang sehat (Dharmawan & Pramudji, 2017). Dengan pengolahan citra digital, persentase tutupan kanopi mangrove dapat dihitung dengan cepat dan akurat sebagai indikator kesehatan dan kepadatan populasi mangrove.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat kesehatan komunitas mangrove secara otomatis dengan memanfaatkan teknik-teknik dalam pengolahan citra digital. Penentuan status atau kondisi kesehatan komunitas mangrove di Indonesia diatur oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 201 tahun 2004 (Dharmawan et al., 2020; Dharmawan & Pramudji, 2017). Dalam standar tersebut, ada tiga kategori kondisi mangrove berdasarkan nilai kerapatan atau tutupan kanopi mangrove yaitu: “Jarang”, “Sedang”, dan “Padat”. Jika status tutupan kanopi masuk dalam kategori “Sedang” dan “Padat”, maka masih dikelompokkan dalam kondisi kesehatan yang “Baik”. Sedangkan jika statusnya adalah “Jarang”, maka dikelompokkan dalam kondisi kesehatan yang “Buruk”.

Melalui penerapan metode segmentasi yaitu *thresholding* Otsu dalam sistem berbasis pengolahan citra digital, maka permasalahan dalam proses analisis citra tutupan kanopi mangrove bisa diselesaikan dengan lebih optimal (Ali & Nayyar, 2020; Pratiwi & Widiartha, 2021). Keuntungan menggunakan metode Otsu adalah cepat dan sederhana karena metode ini menggunakan analisis histogram dan menemukan nilai *threshold* secara otomatis. Sistem ini dirancang untuk mampu menghitung persentase tutupan kanopi mangrove secara otomatis berdasarkan citra yang diperoleh. Untuk mengukur kinerja metode yang diusulkan, digunakan teknik evaluasi RAE (*relative foreground area error*) dan ME (*misclassification error*) (Arifin et al., 2019). Dengan adanya sistem ini diharapkan proses pengukuran tingkat kesehatan ekosistem mangrove dapat lebih efisien dari segi waktu dan tenaga bagi para peneliti mangrove.

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian yang menerapkan teknik pengolahan citra digital telah dilakukan dalam menganalisis data citra komunitas mangrove di suatu kawasan, antara lain dengan menggunakan data citra satelit resolusi tinggi. Manna & Raychaudhuri (2020) mengukur tingkat kesehatan komunitas mangrove menggunakan citra Sentinel-2. Penggunaan *landsat imagery* juga dilakukan pada penelitian oleh Ningrum et al., 2020; Nurhaliza et al., 2021). Selain itu, pemanfaatan teknologi *drone* atau UAV (*unmanned aerial vehicle*) juga dilakukan dalam mengumpulkan citra komunitas mangrove. Penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi & Widiartha (2021) menggunakan citra mangrove hasil akuisisi dengan menggunakan *drone* dan metode Otsu *thresholding* untuk segmentasi area komunitas mangrove, yang menunjukkan hasil penelitian yang cukup baik. Begitu pula penelitian yang dilakukan oleh Zimudzi et al. (2019) yang melakukan segmentasi menggunakan k-means. Namun, kedua teknik ini memiliki beberapa kelemahan. Metode berbasis penginderaan jauh memerlukan citra beresolusi tinggi sehingga membutuhkan waktu proses yang lebih lama, penyimpanan yang lebih besar, dan seringkali tertutup oleh awan (Zimudzi et al., 2019). Sementara itu, teknologi UAV atau *drone* biasanya terkendala oleh undang-undang atau privasi terkait penggunaan UAV di area tertentu. *Hemispherical photography* merupakan salah satu metode fotografi dengan lensa *fish eye* yang dapat diterapkan pada kajian terkait status kesehatan komunitas mangrove di suatu kawasan (Dharmawan et al., 2020; Dharmawan & Pramudji, 2017). Metode ini juga diterapkan dalam proses akuisisi citra berbasis teknologi pengolahan citra digital. Implementasinya mudah dan menghasilkan data yang lebih akurat. Keuntungan dari teknik ini adalah citra tutupan kanopi mangrove yang diambil dari bawah terlihat dengan jelas, dan citra yang diperoleh mudah diproses karena tidak dalam bentuk resolusi yang sangat tinggi.

Setelah citra tutupan kanopi mangrove diperoleh dengan menggunakan teknik fotografi *hemispherical*, umumnya para peneliti bidang ekosistem mangrove melakukan analisis data dengan menghitung persentase piksel dari foto yang diperoleh dengan menggunakan beberapa *software* bantu seperti yang dilakukan oleh Dharmawan & Pramudji (2017) dan Kuncahyo

et al. (2020). Konsep analisis ini adalah pemisahan piksel langit dan tutupan kanopi sehingga dapat dihitung persentase jumlah piksel tutupan kanopi mangrove dalam analisis citra biner (Dharmawan et al., 2020; Kuncahyo et al., 2020). Namun dalam proses analisis penghitungan persentase tutupan mangrove, peneliti masih harus menggunakan perangkat lunak analisis citra yaitu ImageJ dan program *spreadsheet* seperti Microsoft excel. Penggunaan *software* ini khususnya ImageJ memerlukan keahlian khusus sehingga proses penghitungan persentase tutupan kanopi mangrove menjadi lebih lama. Setelah persentase diperoleh, kemudian para ahli menentukan tingkat atau status kesehatan dari komunitas mangrove yang sedang diamati secara manual.

Perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah dengan diterapkannya metode pengolahan citra digital dan *thresholding* Otsu secara spesifik untuk menentukan tingkat kesehatan komunitas mangrove berdasarkan luas tutupannya. Penelitian sebelumnya cenderung menggunakan pendekatan yang lebih umum atau metode yang berbeda dalam mengukur kesehatan mangrove. Dengan fokus pada teknik pengolahan citra digital dan *thresholding* Otsu, penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih tepat dan efektif untuk menentukan kondisi kesehatan mangrove dalam waktu yang relatif singkat untuk mengatasi keterbatasan pada penelitian sebelumnya. Pendekatan baru ini menyederhanakan proses analisis, menghilangkan kebutuhan akan intervensi manual dan keahlian perangkat lunak khusus, sehingga memberikan kontribusi pada penilaian kesehatan mangrove yang lebih mudah diakses dan tepat waktu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Gambar 1 menunjukkan tahapan dari metode yang diusulkan. Tahap pertama adalah akuisisi data yang merupakan kumpulan citra dari tutupan kanopi mangrove dengan menggunakan teknik *hemispherical photography*. Selanjutnya citra dikoreksi pada tahap *preprocessing* dan dilakukan segmentasi menggunakan metode *thresholding* Otsu. Setelah luasan mangrove berhasil dipisahkan dari *background* area, maka dilakukan perhitungan persentase tutupan. Terakhir,

kinerja dari metode yang diusulkan akan dihitung menggunakan RAE (*relative foreground area error*) dan ME (*misclassification error*).



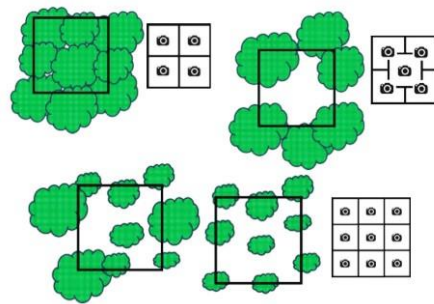
Gambar 1. Metode Penelitian

3.1. Akuisisi Citra Mangrove

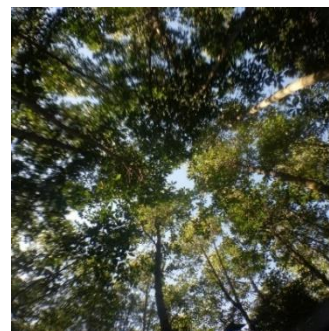
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra tutupan kanopi mangrove yang diperoleh dengan menggunakan teknik *Hemispherical Photography* berdasarkan Pedoman Pemantauan Komunitas Mangrove Pusat Penelitian Oceanografi LIPI (Dharmawan et al., 2020; Dharmawan & Pramudji, 2017). Cara ini seperti terlihat pada Gambar 2, mengharuskan kamera pada satu titik mengambil foto dengan kamera *fish eye* dengan sudut pandang 180 derajat. Data dalam penelitian ini adalah data citra tutupan kanopi mangrove dari beberapa kuadran pengambilan citra. Lokasi komunitas mangrove yang difoto berada di Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai, Sulawesi Tenggara. Sebanyak 36 citra diperoleh dari 3 stasiun/plot akuisisi citra yang terbagi ke dalam 4 kuadran. Gambar 3 merupakan teknik penentuan plot dalam penelitian ini. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan contoh citra tutupan kanopi mangrove yang diperoleh pada penelitian ini.



Gambar 2. Ilustrasi metode *hemispherical photography* (Dharmawan & Pramudji, 2017)

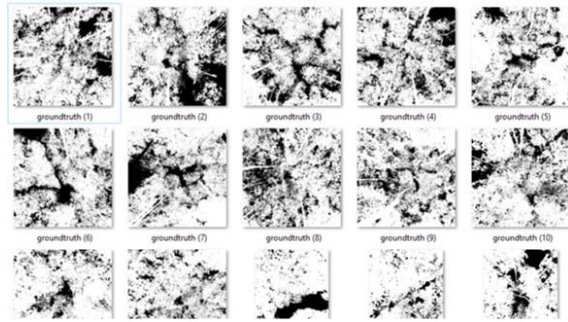


Gambar 3. Penentuan plot dan kuadran pengambilan citra tutupan mangrove (Dharmawan et al., 2020)



Gambar 4. Contoh citra hasil akuisisi dalam penelitian ini

Selain menyiapkan data citra utama, data citra *groundtruth* dari tutupan kanopi mangrove juga turut disiapkan. Citra *groundtruth* merupakan citra biner yang akan dibandingkan dengan citra hasil segmentasi dari penelitian ini, untuk kemudian diukur performansi dari metode segmentasi yang dilakukan. Citra *groundtruth* dibuat dengan menggunakan *software* ImageJ dan melibatkan seorang ahli di bidang analisis data citra komunitas mangrove. Gambar 5 menunjukkan beberapa contoh citra *groundtruth*.

Gambar 5. Contoh beberapa citra *groundtruth*

3.2. Preprocessing

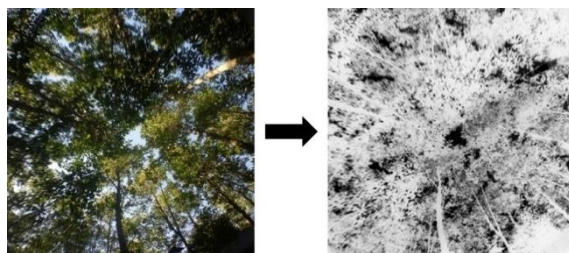
Operasi *preprocessing* citra dilakukan untuk meningkatkan fitur tertentu dari citra (Pasrun et al., 2020). Pada tahap ini, data citra tutupan kanopi mangrove dikonversi dari model RGB ke model CMYK (Guan et al., 2016). Kemudian citra *channel* K yang merupakan *channel* hitam digunakan untuk tahap selanjutnya. Proses ini menghasilkan citra tutupan kanopi mangrove dalam bentuk citra *grayscale* 8-bit yang lebih jelas. Persamaan 1-4 menunjukkan proses konversi citra RGB ke CMYK (Muchtar, 2023). Sedangkan Gambar 6 menunjukkan citra RGB tutupan mangrove yang dikonversi ke citra *grayscale* untuk *channel* K.

$$K = \min(255 - R, 255 - G, 255 - B) \quad (1)$$

$$C = \frac{255 - R - K}{255 - K} \quad (2)$$

$$M = \frac{255 - G - K}{255 - K} \quad (3)$$

$$Y = \frac{255 - B - K}{255 - K} \quad (4)$$

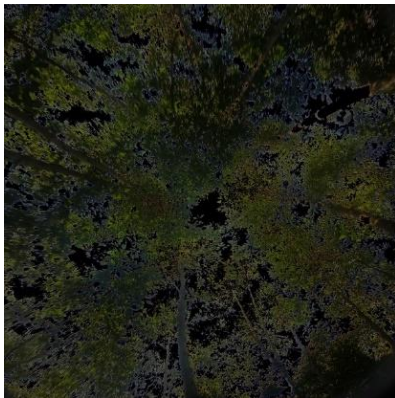
Gambar 6. Konversi citra RGB ke citra *grayscale channel* K

3.3. Metode Thresholding Otsu

Segmentasi citra merupakan salah satu bagian penting dalam proses pengolahan citra digital. Segmentasi citra adalah proses membagi suatu citra menjadi beberapa daerah homogen berdasarkan kriteria tertentu antara kesamaan tingkat keabuan suatu piksel dengan

tingkat keabuan piksel tetangganya, kemudian hasil dari proses segmentasi ini akan digunakan untuk diproses lebih lanjut (Goh et al., 2018; Pratiwi & Widiartha, 2021). Metode *thresholding* Otsu pertama kali diperkenalkan oleh Nobuyuki Otsu pada tahun 1996. Metode ini menerapkan nilai *thresholding* secara otomatis dengan cara mengubah citra *grayscale* menjadi citra biner (hitam putih) berdasarkan perbandingan nilai *threshold* dengan nilai setiap piksel pada citra digital. Metode *thresholding* Otsu memilih nilai ambang dari citra histogram *grayscale* dengan menggunakan pendekatan statistik. Secara ringkas, algoritma untuk *thresholding* Otsu, yaitu: (1) Hitung histogram dan probabilitas dari setiap tingkat intensitas citra; (2) Hitung variansi dalam kelas (*intra-class variance*) untuk setiap ambang batas yang mungkin; (3) Pilih ambang batas yang menghasilkan variansi antar-kelas (*inter-class variance*) terbesar; dan (4) Terapkan ambang batas yang dipilih pada citra untuk mendapatkan citra biner hasil *thresholding* (Setiyorini et al., 2019). Gambar 7 menunjukkan hasil penerapan *thresholding* Otsu pada langkah-langkah segmentasi. Sedangkan Gambar 8 merupakan contoh citra hasil *masking* antara citra biner hasil operasi *thresholding* dengan citra asli.

Gambar 7. Citra biner hasil dari proses *thresholding* Otsu



Gambar 8. Hasil *masking* citra biner dengan citra asli

3.4 Persentase Tutupan Mangrove

Perhitungan persentase tutupan kanopi mangrove pada penelitian ini mengikuti metode yang digunakan dari Pusat Penelitian Oseanografi Indonesia (Dharmawan & Pramudji, 2017). Persentase luas tutupan mangrove merupakan perbandingan jumlah piksel bernilai 255 (P_{255}) dengan jumlah total piksel (ΣP) dikalikan 100% seperti pada Persamaan 5.

$$\text{Area mangrove (\%)} = \frac{P_{255}}{\Sigma P} * 100\% \quad (5)$$

3.5. Analisis Kinerja

Dalam mengukur kinerja, hasil dari setiap pengujian dievaluasi hasil segmentasinya menggunakan RAE (*relative foreground area error*) dan ME (*misclassification error*) (Arifin et al., 2019). RAE mengukur jumlah perbedaan properti objek seperti luas dan bentuk. Pengukuran perbedaan ini dilakukan pada segmentasi citra yang dihasilkan oleh sistem pada citra *groundtruth* (pengamatan ahli). Sedangkan ME didefinisikan sebagai korelasi antara hasil segmentasi dari sistem dengan *groundtruth* (pengamatan ahli). RAE memiliki rentang antara 0 hingga 1, dimana nilai 0 menunjukkan bahwa prediksi luas area *foreground* secara sempurna cocok dengan nilai sebenarnya (tidak ada kesalahan). Sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa prediksi luas area *foreground* tidak cocok sama sekali dengan nilai sebenarnya (terdapat kesalahan penuh). ME juga memiliki rentang antara 0 hingga 1, dimana nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada kesalahan klasifikasi sama sekali (semua prediksi benar), begitu pula sebaliknya. Persamaan 5 dan persamaan 6 masing-masing

menunjukkan cara mendapatkan nilai RAE dan ME.

$$RAE = \begin{cases} \frac{A_O - A_T}{A_O} & \text{if } A_T < A_O, \\ \frac{A_T - A_O}{A_T} & \text{if } A_T \geq A_O, \end{cases} \quad (5)$$

dimana A_O adalah luas gambar *groundtruth*, dan A_T adalah luas gambar yang dihasilkan dari metode yang diajukan.

$$ME = 1 - \frac{|B_O \cap B_T| + |F_O \cap F_T|}{|B_O| + |F_O|} \quad (6)$$

dimana B_O dilambangkan sebagai area latar belakang (objek langit) dari citra *groundtruth* dan F_O adalah area *foreground* (objek mangrove) dari citra *groundtruth*. B_T dilambangkan sebagai area *background* hasil segmentasi, sedangkan F_T adalah area objek *foreground* hasil segmentasi.

Untuk menentukan tingkat kesehatan komunitas mangrove, penelitian ini mengaju pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 tahun 2004 tentang standar baku kerusakan hutan mangrove (Dharmawan & Pramudji, 2017). Tabel 1 menunjukkan cara menentukan kondisi kesehatan komunitas mangrove.

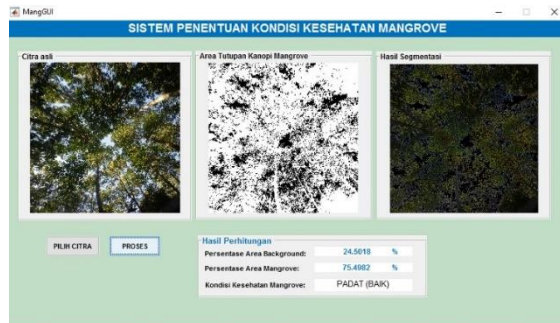
Tabel 1 Standar kerusakan mangrove

Kategori	Tutupan Kanopi	Kerapatan Pohon (ha)
Baik	Padat $\geq 75\%$	≥ 1500
	Sedang 50%-75%	1000-1500
Rusak	Jarang $< 50\%$	< 1000

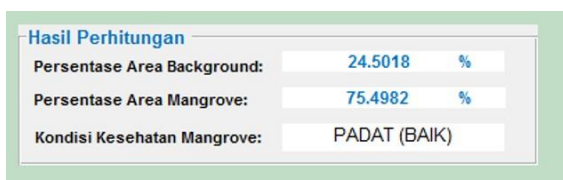
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan analisis terkait metode segmentasi yang diusulkan, dilakukan implementasi sistem. Sistem dibangun dengan menggunakan perangkat lunak Matlab R2018a dan dikembangkan dengan menggunakan metode *Waterfall* yang terdiri dari tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi atau pengkodean, pengujian dan pemeliharaan (Mahardika et al., 2017). Sistem ini terdiri dari 2 tombol utama yaitu tombol untuk memilih data citra mangrove dan tombol untuk menghitung persentase tutupan kanopi mangrove dengan menerapkan langkah-langkah

yang diusulkan. Antarmuka pengguna sistem dapat dilihat pada Gambar 9. Selain angka persentase, keluaran akhir atau *output* dari sistem ini adalah kategori kondisi kesehatan dari citra mangrove yang diuji, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Tampilan antarmuka dari sistem penentu kondisi kesehatan mangrove



Gambar 10. Detail dari bagian kondisi kesehatan komunitas mangrove

Tabel 2, 3, dan 4 secara berturut-turut merupakan hasil penentuan status tutupan kanopi mangrove berdasarkan citra yang diambil dari stasiun atau plot 1, 2, dan 3. Hasil menunjukkan bahwa pada plot 1 dan 3, status tutupan didominasi oleh mangrove dengan persentase tutupan “Sedang”. Sedangkan pada plot 2, didominasi oleh mangrove dengan persentase tutupan “Padat”. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan 36 citra yang diakuisisi, secara keseluruhan kondisi atau status kesehatan komunitas mangrove di lokasi pengumpulan data adalah tergolong “Baik”. Hasil pengujian dengan menggunakan sistem ini sesuai dengan pengamatan langsung dan juga analisis mendalam oleh ahli di bidang komunitas mangrove yang menyatakan bahwa kondisi kesehatan mangrove di Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai adalah “Baik”. Selain itu, hasil pengujian metode segmentasi menunjukkan rata-rata perhitungan RAE adalah sebesar 0,034 dan ME adalah sebesar 0,052. Hal ini terlihat dari hasil perhitungan persentase

tutupan kanopi mangrove yang angkanya tidak jauh berbeda dengan citra *groundtruth*. Ini juga menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan telah mampu memberikan kinerja segmentasi yang baik dan didukung dengan rata-rata waktu proses yang singkat yakni 5,3 detik.

Tabel 2. Hasil penentuan kondisi kesehatan mangrove di plot 1

Citra	Persentase Tutupan (%)	Status Tutupan	RAE	ME	Waktu Proses (detik)
Data1	70,16	Sedang	0,025	0,052	5,88
Data2	63,37	Sedang	0,025	0,055	6,44
Data3	69,04	Sedang	0,035	0,058	7,48
Data4	67,45	Sedang	0,033	0,056	6,20
Data5	76,39	Padat	0,027	0,052	5,91
Data6	71,79	Sedang	0,009	0,053	5,82
Data7	73,47	Sedang	0,008	0,059	6,22
Data8	66,82	Sedang	0,050	0,059	6,35
Data9	74,43	Sedang	0,032	0,056	5,83
Data10	73,09	Sedang	0,025	0,053	5,66
Data11	82,15	Padat	0,021	0,047	5,08
Data12	75,50	Padat	0,026	0,054	5,65

Tabel 3. Hasil penentuan kondisi kesehatan mangrove di plot 2

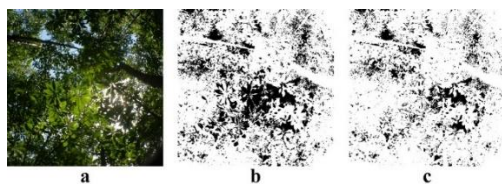
Citra	Persentase Tutupan (%)	Status Tutupan	RAE	ME	Waktu Proses (detik)
Data13	80,57	Padat	0,022	0,053	5,63
Data14	83,70	Padat	0,032	0,055	5,81
Data15	75,20	Padat	0,031	0,055	6,37
Data16	75,40	Padat	0,019	0,053	6,13
Data17	60,46	Sedang	0,040	0,057	5,74
Data18	79,74	Padat	0,005	0,058	5,71
Data19	81,65	Padat	0,019	0,055	5,51
Data20	78,77	Padat	0,019	0,053	5,38
Data21	78,93	Padat	0,026	0,048	4,71
Data22	71,40	Sedang	0,036	0,056	5,55
Data23	71,53	Sedang	0,047	0,055	5,59
Data24	68,98	Sedang	0,052	0,055	5,44

Tabel 4. Hasil penentuan kondisi kesehatan mangrove di plot 3

Citra	Persentase Tutupan (%)	Status Tutupan	RAE	ME	Waktu Proses (detik)
Data25	77,59	Padat	0,040	0,044	4,41
Data26	73,66	Sedang	0,060	0,051	5,10

Data27	68,29	Sedang	0,087	0,061	5,25
Data28	74,16	Sedang	0,108	0,053	3,83
Data29	76,20	Padat	0,005	0,039	3,78
Data30	74,97	Sedang	0,007	0,039	4,51
Data31	74,98	Sedang	0,037	0,045	4,77
Data32	59,11	Sedang	0,047	0,048	4,66
Data33	76,10	Padat	0,111	0,047	4,89
Data34	75,95	Padat	0,001	0,050	4,89
Data35	77,64	Padat	0,040	0,049	4,63
Data36	64,33	Sedang	0,014	0,047	4,44

Berdasarkan uji performansi metode segmentasi, nilai RAE terkecil ditunjukkan oleh citra “Data34.jpg” dengan nilai 0,001 sedangkan ME terkecil ditunjukkan oleh “Data29.jpg” dan “Data30.jpg” dengan nilai 0,039. Sementara itu, pada citra “Data33.jpg” menunjukkan nilai RAE tertinggi sebesar 0,111, sedangkan ME tertinggi ditemukan pada citra “Data27.jpg” dengan nilai *error* sebesar 0,061. Gambar 11 (a) menunjukkan citra “Data33.jpg” yang diproses menggunakan metode yang diajukan. Hasil segmentasi ditunjukkan oleh Gambar 11(b), sedangkan *groundtruth* nya pada Gambar 11(c). Pada gambar terlihat bahwa terdapat perbedaan antara citra hasil segmentasi dengan citra *groundtruth* dimana sistem mendeteksi objek mangrove lebih sedikit dibandingkan dengan citra *groundtruth*. Oleh karena itu, hasil segmentasi citra ini menunjukkan nilai *error* tertinggi dibandingkan dengan semua citra yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 11,1%. Kondisi pencahayaan pada proses akuisisi citra mempengaruhi tingkat error dalam perhitungan luas tutupan mangrove. Oleh karena itu, ke depannya, akuisisi citra mangrove sebaiknya dilakukan pada saat kondisi cuaca yang cerah berawan untuk meminimalisir sinar matahari berlebih. Gambar akan tersegmentasi dengan lebih baik jika objek di sekitarnya tidak terlalu terang dan tidak terlalu gelap.



Gambar 11. Citra dengan error tertinggi. Citra: (a) input; (b) segmentasi; (c) *groundtruth*

Parameter persentase tutupan kanopi mangrove merupakan parameter utama yang umumnya digunakan dalam penentuan status kesehatan komunitas mangrove. Namun demikian, masih terdapat parameter pendukung lainnya dalam penentuan status kesehatan komunitas mangrove, di antaranya adalah kerapatan atau jumlah pohon per hektar. Oleh karena itu ke depannya penelitian yang menyeluruh dengan menyertakan parameter kerapatan bisa dilakukan. Selain itu, untuk mengurangi nilai *error* dalam segmentasi, diperlukan metode tambahan untuk mengurangi atau menghilangkan area yang dianggap sebagai *noise*.

SIMPULAN

Berdasarkan rangkaian langkah-langkah yang telah dilakukan dan didukung dengan analisis hasil percobaan, disimpulkan bahwa penentuan tingkat kesehatan komunitas mangrove berdasarkan luas tutupannya, dapat dilakukan dengan menerapkan teknik pengolahan citra digital dan *thresholding* Otsu. Metode yang diusulkan mampu menentukan tingkat kondisi kesehatan komunitas mangrove dengan kinerja yang baik dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini ditunjukkan dengan nilai RAE rata-rata sebesar 0,034, ME rata-rata sebesar 0,052 serta waktu proses 5,3 detik.

Untuk meningkatkan kinerja metode secara keseluruhan, maka perlu dilakukan penanganan terhadap *noise* yang muncul pada citra yang dikarenakan hadirnya cahaya matahari berlebih pada proses akuisisi citra. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan penanganan terhadap *noise* yang muncul pada citra akibat cahaya matahari berlebih, serta mempertimbangkan integrasi teknologi sensor yang lebih canggih untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) atas dukungan dan pendanaan yang telah diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., & Nayyar, Z. A. (2020). Extraction of mangrove forest through Landsat 8 Mangrove Index (L8MI). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(21).

- <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06138-4>
- Arianto, M. F. (2020). Jurnal Geografi: Geografi dan Pengajarannya. *Jurnal Geografi: Geografi Dan Pengajarannya*, 3(1), 1–7.
- Arifin, A. Z., Tanuwijaya, E., Nugroho, B., Priyatno, A. M., Indraswari, R., Astuti, E. R., & Navastara, D. A. (2019). Automatic image slice marking propagation on segmentation of dental CBCT. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(6), 3218–3225. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v17i6.13220>
- Dharmawan, I. W. E., & Pramudji. (2017). Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove. In *Pusat Penelitian Oseanografi LIPI* (2nd ed.). COREMAP CTI LIPI.
- Dharmawan, I. W. E., Suyarso, Ulumuddin, Y. I., Prayudha, B., & Pramudji, P. (2020). *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia* (S. W & A. D. Gumelar, Eds.; 1st ed., Vol. 1). PT Media Sains Nasional. <https://www.researchgate.net/publication/344000335>
- Febrianto, S., Hartoko, A., & Suryanti. (2019). *EKOSISTEM MANGROVE COASTAL BLUE CARBON* (0 ed., Vol. 1). Undip Press.
- Goh, T. Y., Basah, S. N., Yazid, H., Aziz Safar, M. J., & Ahmad Saad, F. S. (2018). Performance analysis of image thresholding: Otsu technique. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 114(March 2017), 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.052>
- Guan, Z., Song, L., & Song, X. (2016). A New Algorithm Research of License Plate Tilt Correction. *International Conference on Applied Mathematics, Simulation and Modelling*, 138–140.
- Idrus, A. Al, Ilhamdi, M. L., Hadiprayitno, G., & Mertha, G. (2018). Sosialisasi Peran dan Fungsi Mangrove Pada Masyarakat di Kawasan Gili Sulat Lombok Timur. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 1(1), 52–59.
- Kuncahyo, I., Pribadi, R., & Pratikto, I. (2020). Komposisi dan Tutupan Kanopi Vegetasi Mangrove di Perairan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Marine Research*, 9(4), 444–452. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i4.27915>
- Mahardika, F., Kabul, A. P., & Saputra, D. I. S. (2017). IMPLEMENTASI METODE WATERFALL PADA PROSES DIGITALISASI CITRA ANALOG. *VOLT Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 63–72.
- Manna, S., & Raychaudhuri, B. (2020). Mapping distribution of Sundarban mangroves using Sentinel-2 data and new spectral metric for detecting their health condition. *Geocarto International*, 35(4), 434–452. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1520923>
- Muchtar, M. (2023). DETEKSI AREA KERUSAKAN PADA CITRA TERUMBU KARANG AKIBAT CORAL BLEACHING BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL. *Jurnal Innovation and Future Technology (IFTECH) P-ISSN*, 5, 2656–1719.
- Ningrum, I. P., Muchtar, M., Saputra, R. A., Sajiah, A. M., Harati, S. R., & Jaya, H. (2020). Fuzzy Logic Methods to Identify Potential Area Mapping for Mangrove Forests in Kendari using Landsat Image. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 797(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/797/1/012019>
- Nurhaliza, A. P., Damayanti, A., & Dimyati, M. (2021). Monitoring Area and Health Changes of Mangrove Forest Using Multitemporal Landsat Imagery in Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 673(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/673/1/012050>
- Pasrun, Y. P., Muchtar, M., Basyarah, A. N., & Noorhasanah. (2020). Indonesian License Plate Detection Using Morphological Operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 797(1), 4–10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/797/1/012037>

- Pratiwi, N. M. D., & Widiartha, I. M. (2021). Mangrove Ecosystem Segmentation from Drone Images using Otsu Method. *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana*, 9(3), 361–396.
- Riska, R., Tasabaramo, I. A., Lalang, L., Muchtar, M., & Asni, A. (2022). Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Ekosistem Terumbu Karang di Pulau Bokori Sulawesi Tenggara. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 6(4), 331–342. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2022.vol.6.no.4.252>
- Setiyorini, A., Purnama, I. P. N., Sari, J. Y., Muchtar, M., & Ngii, E. (2019). Vehicle number plate identification using template matching algorithm for automatic parking system. *ACM International Conference Proceeding Series*, 196–200. <https://doi.org/10.1145/3330482.3330483>
- Tidore, S., A Sondak, C. F., Rumengan, A. P., Kaligis, E. Y., Like Ginting, E., & Kondoy, C. (2021). STRUKTUR KOMUNITAS HUTAN MANGROVE DI DESA BUDO KECAMATAN WORI KABUPATEN MINAHASA UTARA (Mangrove Community Structure at Budo Village Wori District North Minahasa Regency). *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 9(2), 71–78.
- Zimudzi, E., Sanders, I., Rollings, N., & Omlin, C. (2019). Segmenting mangrove ecosystems drone images using SLIC superpixels. *Geocarto International*, 34(14), 1648–1662. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1497093>