



Available online at :

<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/IJIDS/index>
IJIDS

(Indonesian Journal of Intelligence Data Science)



Pemetaan Ekosistem Mangrove Menggunakan *Unsupervised Learning* dengan Data *Remote Sensing*

Yesica Stivany Simangunsong*¹, Winsy Christo Deilan Weku²,
Marline Sofiana Paendong³

^{1,2,3} Sistem Informasi / Matematika, FMIPA, UNSRAT

e-mail: ¹yesicativany@gmail.com, ²winsy_weku@unsrat.ac.id,
³marlinepaendong@unsrat.ac.id

ARTICLE INFO

History of the article:

Received December 1, 2023
Revised December 21, 2023
Accepted January 12, 2024

Keywords:

3 to 5
Keywords

Correspondece:

Yesica Stivany Simangunsong
E-mail:
¹yesicativany@gmail.com

ABSTRAKSI (10pt)

The Mangrove Ecosystem is one of the coastal ecosystems that experiences a lot of threats from various activities. The latest land use and land cover information is very necessary in regional development planning and environmental monitoring. One way to obtain this information is through remote sensing satellite image data processing. Therefore, this research aims to identify changes in mangrove forests using Machine Learning algorithms, namely K-Means and Random Forest, as well as determine the ability of the K-Means and Random Forest algorithms in identifying these land changes. The results of land cover changes in the mangrove ecosystem of Palaes Village in 2013 and 2021 based on Unsupervised Learning using the K-Means and Random Forest algorithms were clustered into 4 and 5 land cover classes based on different color classes, namely mangrove, sea water, other plants, raised sand and soil . Selection of the number of clusters is very important to get accurate results. The cluster results show that the clustering of the Palaes Village mangrove ecosystem looks more accurate on the 5 cluster K-Means map.

Keyword: Landsat, Data Citra, K-Means, Random Forest

PENDAHULUAN

Pengembangan ekowisata *mangrove* merupakan salah satu upaya pemanfaatan jasa lingkungan dari kawasan pesisir secara berkelanjutan. Ekowisata pada hutan *mangrove* dipandang dapat bersinergi dengan langkah konservasi ekosistem hutan secara nyata. Hutan *mangrove* adalah hutan yang berkembang di daerah pantai yang berair tenang, dengan eksistensi yang bergantung pada adanya aliran air laut dan aliran sungai. Hutan *mangrove* umumnya terdapat pada daerah yang berbatasan dengan daratan pada jangkauan air pasang tertinggi, sehingga ekosistem ini merupakan daerah transisi yang dipengaruhi oleh faktor-faktor darat dan laut. Indonesia termasuk ke dalam salah satu negara yang mempunyai wilayah pesisir yang luas serta area garis pantai yang panjang. Hal ini membuat Indonesia mempunyai luasan ekosistem *mangrove* terluas di seluruh dunia, meskipun sering terjadi deforestasi atau penebangan hutan [1].

Ekosistem mangrove adalah salah satu ekosistem pesisir yang mendapatkan begitu banyak gangguan ancaman dari berbagai kegiatan [2]. Informasi tata guna lahan dan tutupan lahan terkini sangat

diperlukan dalam perencanaan pembangunan daerah dan pemantauan lingkungan. Salah satu cara untuk memperoleh informasi tersebut adalah melalui pengolahan data citra satelit penginderaan jauh. Saat ini penginderaan jauh menjadi tren dalam melakukan pemetaan.

Terdapat beberapa studi penelitian tentang ekosistem *mangrove* yang telah dilakukan menggunakan penginderaan jauh, yaitu penelitian dengan judul Pemetaan Ekosistem *Mangrove* di Kabupaten Kubu Raya Menggunakan *Machine Learning* pada *Google Earth Engine* [3], penelitian ini membahas beberapa *future work* terkait pemetaan mangrove di Kabupaten Kubu Raya menggunakan GEE. *Machine learning* yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: CART, *Random Forest*, *GMO Max Entropy*, *Voting SVM*, *Margin SVM*. Penelitian lain dengan judul Pemetaan Ekosistem Mangrove menggunakan Satelit Sentinel-1 dan Sentinel-2 dan Algoritma *Random Forest* di *Google Earth Engine* [4], Penelitian lain dengan judul Analisa Distribusi Spasial Vegetasi *Mangrove* di Desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gombang [5], penelitian ini menganalisis sebaran mangrove, luas vegetasi mangrove dan presentase kategori tutupan vegetasi mangrove melalui pendekatan penginderaan jauh. Yang menjadi berbeda dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan metode penelitian yang digunakan, yaitu penelitian ini membandingkan metode *K-Means* dan *Random Forest*.

Desa Palaes merupakan salah satu Desa di Kecamatan Likupang Barat yang memiliki daerah ekowisata hutan *mangrove*. Informasi penggunaan dan tutupan lahan terbaru sangat diperlukan dalam perencanaan pembangunan wilayah dan pemantauan lingkungan. Salah satu cara untuk memperoleh informasi tersebut yaitu melalui klasterisasi *Unsupervised Learning* pemetaan ekosistem *mangrove* dengan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*). Klasterisasi *Unsupervised* dapat dilakukan dengan algoritma *machine learning*. *Machine learning* memiliki daya komputasi yang terus meningkat, dapat mengintervensi big data, dan dapat dilakukan secara otomatis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan hutan *mangrove* menggunakan algoritma *machine learning* yaitu *K-Means* dan *Random Forest*, serta mengetahui kemampuan algoritma *K-Means* dan *Random Forest* dalam mengidentifikasi perubahan lahan tersebut.

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan mulai dari September 2022 sampai dengan Juni 2023 mulai dari penyusunan proposal, pengambilan data, pengolahan data dan analisis data. Penelitian bertempat di Ekosistem *Mangrove* pesisir pantai Desa Palaes, Kecamatan Likupang Barat, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara.

B. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur: Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian [6], [7].
2. Dokumentasi: Dokumentasi adalah proses pengumpulan, pemilihan, pengolahan, dan penyimpanan informasi dalam bidang pengetahuan. Dokumentasi juga dapat diartikan sebagai pemberian atau pengumpulan bukti dan keterangan, seperti gambar, kutipan, guntingan koran, dan bahan referensi lain [8], [9].

C. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder citra satelit penginderaan jauh yang diunduh dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>. citra satelit Landsat 7/ETM+ *surface reflectance* tier 1 dengan akuisisi bulan Juli tahun 2013. Path 112 dan row 059 dan citra satelit Landsat 8/ETM+ *surface reflectance* tier 1 dengan akuisisi bulan Juli tahun 2021. Path 112 dan row 059. Penelitian ini mengolah data citra digital yang kemudian akan diolah dengan menggunakan algoritma *unsupervised learning K-Means* dan *Random Forest* menggunakan aplikasi R-Studio.

D. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa metode yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Random Forest

Random Forest (RF) adalah salah satu algoritma *machine learning* yang sering digunakan dalam masalah klasifikasi dan regresi. *Random Forest* disebut juga metode ensemble yaitu metode untuk meningkatkan akurasi klasifikasi dengan mengkombinasikan metode klasifikasi [10]. *Random forest* adalah pengklasifikasi yang bersifat ensemble, yaitu random forest akan menciptakan sebuah hutan (*forest*) menggunakan sejumlah pohon keputusan (*decision tree*). Jumlah suara terbanyak (*voting*) dari seluruh pohon keputusan akan digunakan untuk menentukan kelas dari sebuah input data. Hal ini secara langsung dapat mengatasi masalah ketika melakukan klasifikasi hanya menggunakan satu pohon keputusan saja sering kali tidak optimal, tetapi dengan memasukkan banyak pohon keputusan, maka akan diperoleh nilai akurasi yang optimal secara global [11].

2. K-Means

Algoritma *K-means clustering* merupakan metode *clustering* yang dikenalkan oleh MacQueen JB pada tahun 1976. Metode *K-Means* adalah metode yang terkenal cepat dan simpel. *K-Means clustering* merupakan salah satu metode data *clustering* non-hirarki yang mengelompokkan data dalam bentuk satu atau lebih *cluster* atau kelompok. Data-data yang memiliki karakteristik yang sama dikelompokkan dalam satu *cluster* atau kelompok dan data yang memiliki karakteristik yang berbeda dikelompokkan dengan *cluster* atau kelompok yang lain sehingga data yang berada dalam satu *cluster* atau kelompok memiliki tingkat variasi yang kecil [12]. Metode *K-Means* berusaha mengelompokkan data yang ada ke dalam beberapa kelompok. Data dalam satu kelompok mempunyai karakteristik yang sama satu sama lainnya dan mempunyai karakteristik yang berbeda dengan data yang ada di dalam kelompok yang lain. Metode ini berusaha untuk meminimalkan variasi antar data yang ada di dalam suatu *cluster* dan memaksimalkan variasi dengan data yang ada di klaster lainnya [13], [14].

3. Silhouette Coefficient

Silhouette coefficient merupakan metode yang digunakan untuk melihat kualitas dan kekuatan dari *cluster*. Metode *silhouette coefficient* merupakan gabungan dari dua metode yaitu metode cohesion yang berfungsi untuk mengukur seberapa dekat relasi antara objek dalam sebuah *cluster*, dan metode separation yang berfungsi untuk mengukur seberapa jauh sebuah *cluster* terpisah dengan *cluster* lain [15], [16]. Nilai hasil *silhouette coefficient* terletak pada kisaran nilai -1 hingga 1. Semakin nilai *silhouette coefficient* mendekati nilai 1, maka

semakin baik pengelompokan data dalam satu cluster. Sebaliknya jika nilai silhouette coefficient mendekati nilai -1, maka semakin buruk pengelompokan data di dalam satu cluster.

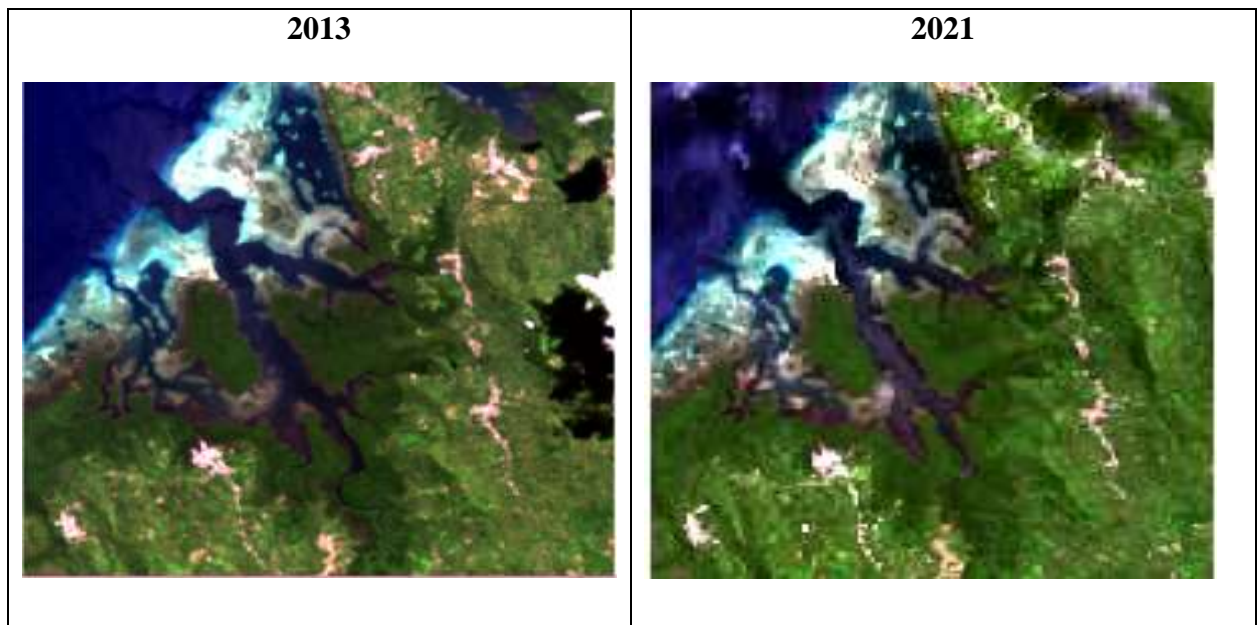
E. Tahapan Pengolahan Data

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan dimulai dari kajian pustaka, dengan membaca jurnal dan artikel terkait dengan penginderaan jauh, algoritma *K-Means* dan *Random Forest*. Lalu dilanjutkan dengan pengolahan citra dengan menggunakan klasterisasi *unsupervised* menggunakan algoritma *K-Means* dan *Random Forest*, Kemudian dilanjutkan dengan melakukan validasi data terhadap hasil klasterisasi menggunakan validasi *Silhouette Coefficient*. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Akuisisi data citra landsat tahun 2013 dan 2021.
2. Melakukan pemotongan citra landsat berdasarkan *Area Of Interest (AOI)*.
3. Melakukan klasterisasi citra *unsupervised* terhadap data yang telah dibuat dengan algoritma *K-Means* dan *Random Forest* dengan bantuan perangkat lunak R-Studio.
4. Menganalisis data hasil klasterisasi terkait perubahan tutupan lahan pada data citra satelit tahun 2013 dan tahun 2021 dengan bantuan perangkat lunak R-Studio.
5. Melakukan validasi data terhadap hasil klasterisasi menggunakan Validasi *Silhouette Coefficient*
6. Membuat output berupa peta perubahan dari objek yang diteliti
7. Analisis
8. Kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tutupan Lahan Mangrove



Gambar 1. Tutupan Lahan Mangrove

Gambar 1 menampilkan hasil plot tutupan lahan *mangrove* di Desa Palaes pada tahun 2013 dan 2021. Terlihat perbedaan perubahan *Mangrove* di Desa Palaes selama 8 tahun, dimana terlihat perubahan tanah kosong pada tahun 2013 berubah menjadi tumbuhan lain pada tahun 2021.

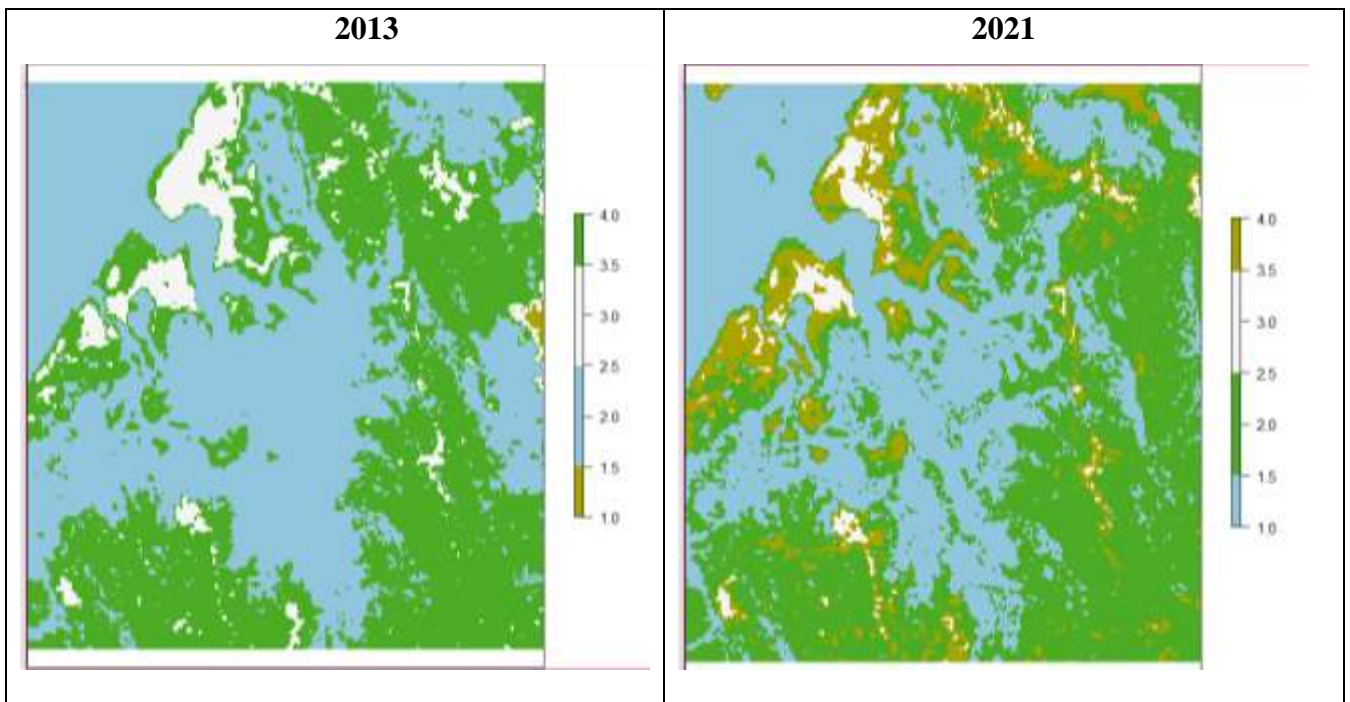
A. Analisis kluster

Klastering mengelompokkan objek-objek yang memiliki kemiripan dengan objek lain. Data yang akan diklaster dipilih secara acak. Data dikelompokkan dengan karakteristik yang sama menggunakan metode klastering. Penentuan nilai hasil cluster dilihat dari jarak terdekat antar objek data.

Pada penelitian ini pemilihan klastering dipilih berdasarkan visualisasi peta keadaan sesungguhnya daerah penelitian yaitu ekosistem *mangrove* Desa Palaes. Dilihat dari visualisasi peta bahwa ekosistem *mangrove* memiliki 4 sampai 5 kluster atau kelas, yang terdiri dari *mangrove*, air laut, pasir timbul, tumbuhan lain dan tanah.

B. K-Means 4 kluster

Gambar 2 menunjukkan peta kluster dengan pewarnaan 4 kelas *K-Means* untuk ekosistem *mangrove* Desa Palaes pada tahun 2013 dan 2021. Pada tahun 2013 ekosistem mangrove yang seharusnya berwarna hijau tidak terdeteksi dengan baik pada tempatnya sesuai dengan visualisasi peta. Pada tahun 2021 sebaran ekosistem *mangrove* mulai terdeteksi menyebar tetapi tidak signifikan.



Gambar 2. Peta K-Means 4 Kluster

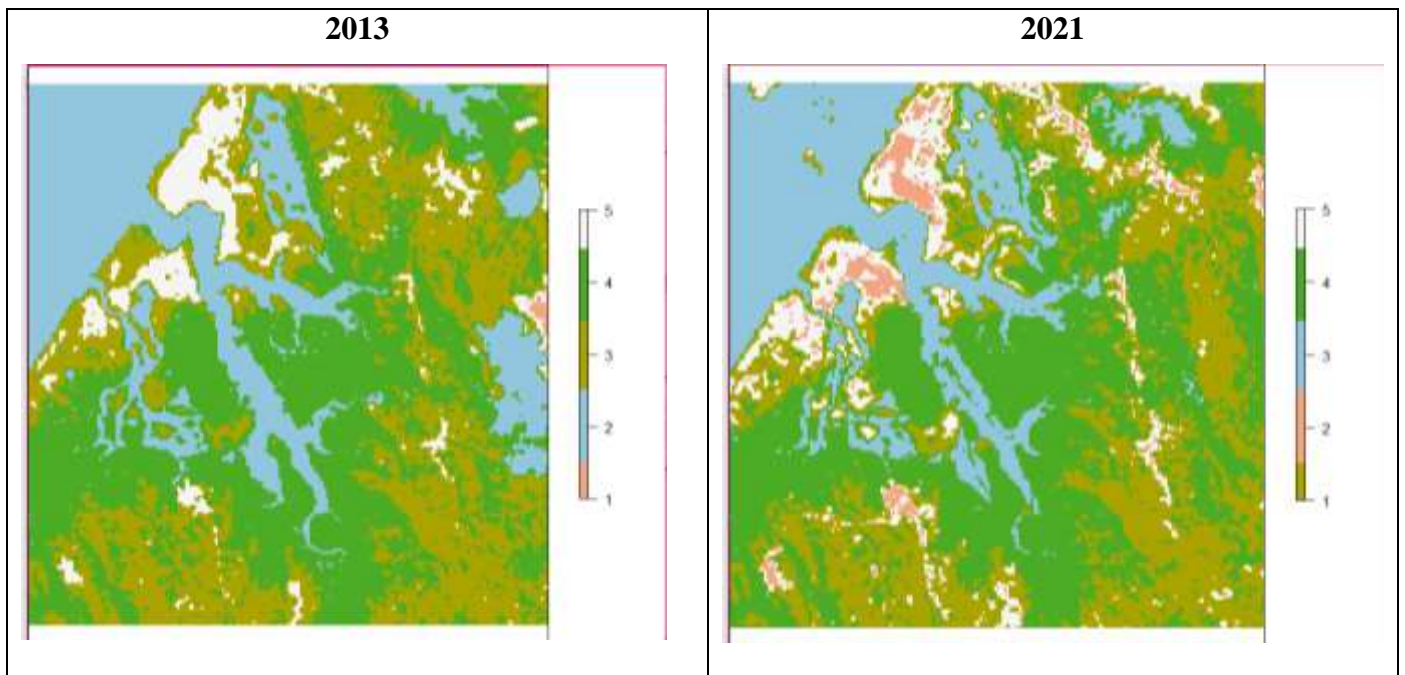
Klasterisasi dengan pewarnaan 4 kelas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pewarnaan 4 kelas *Unsupervised K-Means*

KELAS	WARNA
<i>Mangrove</i> dan tumbuhan lain	Hijau
Air Laut	Biru
Pasir timbul	Putih
Tanah	Coklat

C. K-Means 5 klaster

Gambar 3 menunjukkan peta 5 klaster dengan pewarnaan kelas *K-Means* untuk ekosistem *Mangrove* Desa Palaes pada tahun 2013 dan 2021. Terlihat bahwa peta *K-Means* dengan 5 klaster lebih menunjukkan hasil yang signifikan dengan visualisasi peta. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan klaster sangat penting untuk mendapatkan hasil peta yang akurat. Pada tahun 2021 terlihat pertumbuhan *mangrove* tetapi tidak signifikan, pada tahun 2021 juga warna coklat dengan kelas tumbuhan lain dan merah muda kelas tanah memiliki perubahan luasan dari tahun 2013. Hal ini menunjukkan algoritma *K-Means* melakukan pengolahan dengan baik dalam melakukan klasterisasi, serta adanya perubahan luasan tiap kelas di ekosistem *mangrove* Desa Palaes pada tahun 2013 dan 2021.



Gambar 3. Peta K-Means 5 klaster

Klasterisasi dengan pewarnaan 5 kelas dapat dilihat pada Tabel 2.

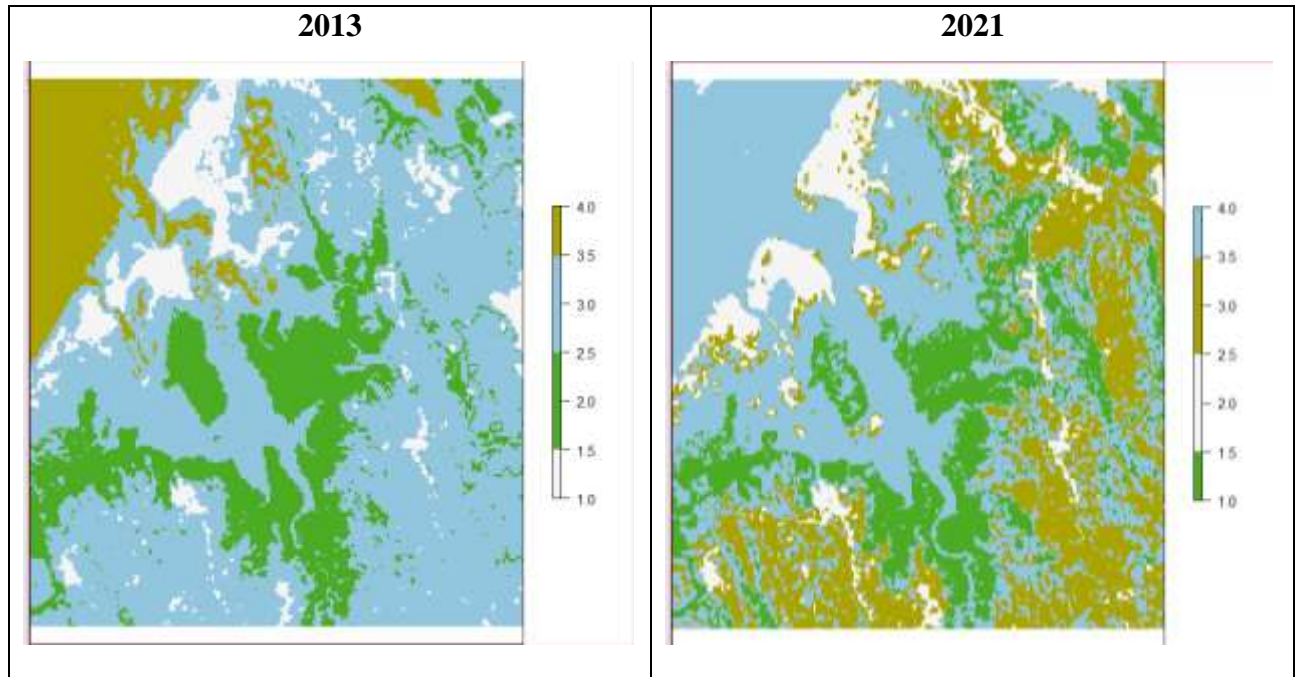
Tabel 2. Pewarnaan 5 kelas *Unsupervised K-Means*

KELAS	WARNA
<i>Mangrove</i>	Hijau
Air Laut	Biru
Pasir timbul	Putih
Tumbuhan lain	Coklat
Tanah	Merah muda

D. Random Forest 4 Klaster

Gambar 4 menunjukkan peta *Random Forest* 4 klaster di ekosistem *mangrove* Desa Palaes tahun 2013 dan 2021. Pada tahun 2013 algoritma *Random Forest* mendeteksi ekosistem *mangrove* dengan sangat baik karena sesuai dengan visualisasi peta rgb, sedangkan untuk tumbuhan lain terdeteksi sebagai air laut. Warna biru dengan kelas air laut dan warna hijau dengan kelas *mangrove* memiliki luasan yang lebih luas pada tahun 2013 dibandingkan kelas tumbuhan lain warna coklat dan pasir timbul berwarna putih. Pada peta *Random Forest* 2013, kelas air laut

berwarna biru terdeteksi sebagai kelas tumbuhan lain berwarna coklat. Perubahan terjadi pada tahun 2021, warna coklat untuk kelas tumbuhan lain dan hijau untuk kelas *mangrove* tersebar lebih banyak dan terdeteksi kemiripan dengan visualisasi peta. Hal ini menunjukkan adanya perubahan luasan untuk kelas tumbuhan lain dan *mangrove* pada tahun 2013 dan 2021, serta adanya perubahan kluster kelas tumbuhan lain dan air laut.



Gambar 4. Peta Random Forest 4 kluster

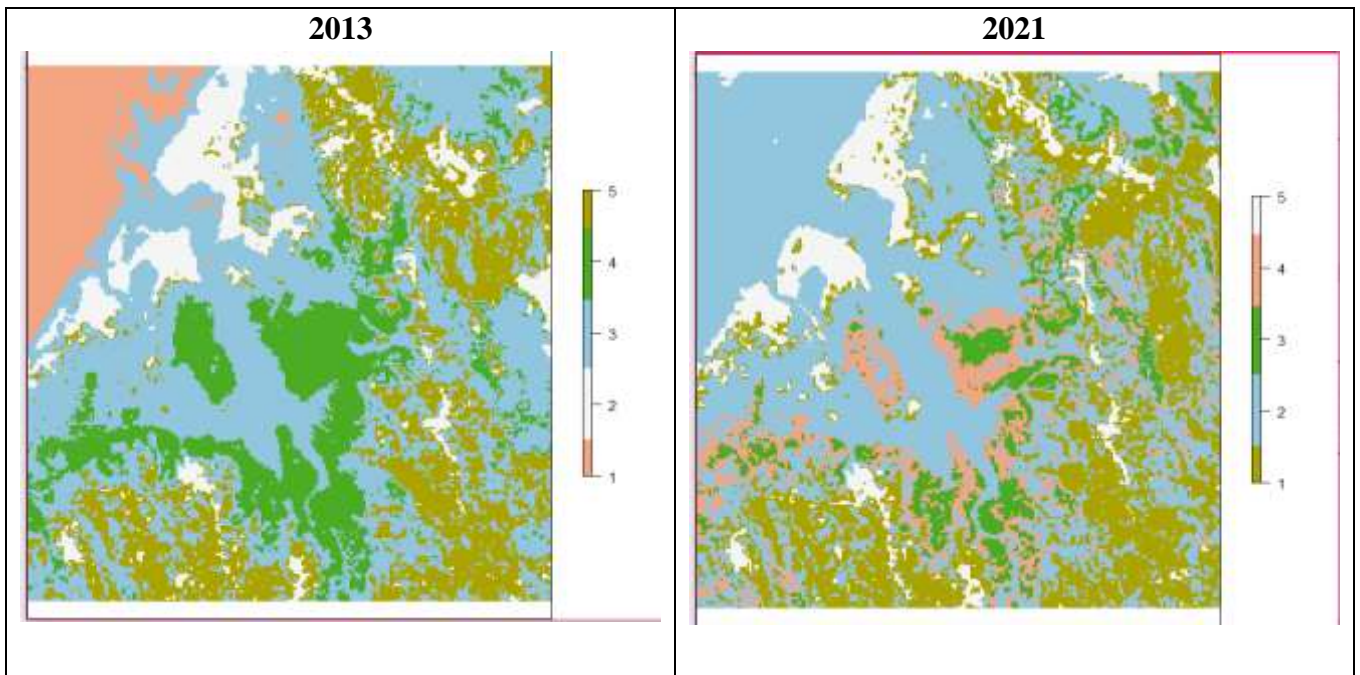
Klasterisasi dengan pewarnaan 4 kelas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pewarnaan 4 kelas *Unsupervised Random Forest*

KELAS	WARNA
<i>Mangrove</i>	Hijau
Air Laut	Biru
Pasir timbul	Putih
Tumbuhan lain	Coklat

E. Random Forest 5 kluster

Gambar 5 menunjukkan peta Random Forest 5 kluster di ekosistem *mangrove* Desa Palaes tahun 2013 dan 2021. Pada peta *Random Forest* 2013 kelas air laut berwarna biru terdeteksi sebagai kelas tanah berwarna merah muda, hal ini menunjukkan *Random Forest* bekerja kurang baik untuk mendeteksi air laut. Tetapi pada tahun 2013 ekosistem *mangrove* terdeteksi dengan baik oleh algoritma *Random Forest*. Pada peta *Random Forest* tahun 2021 kelas *mangrove* berwarna hijau dan tumbuhan lain berwarna coklat tidak terdeteksi dengan baik. Hal ini menunjukkan algoritma *Random Forest* dalam mendeteksi *mangrove* yang baik sesuai dengan visualisasi peta terdapat pada tahun 2013, sedangkan pada tahun 2021 *Random Forest* kurang baik dalam mendeteksi *mangrove* dan tumbuhan lain.



Gambar 5. Peta Random Forest 5 klaster

Klasterisasi dengan pewarnaan 5 kelas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pewarnaan 5 klaster *Unsupervised Random Forest*

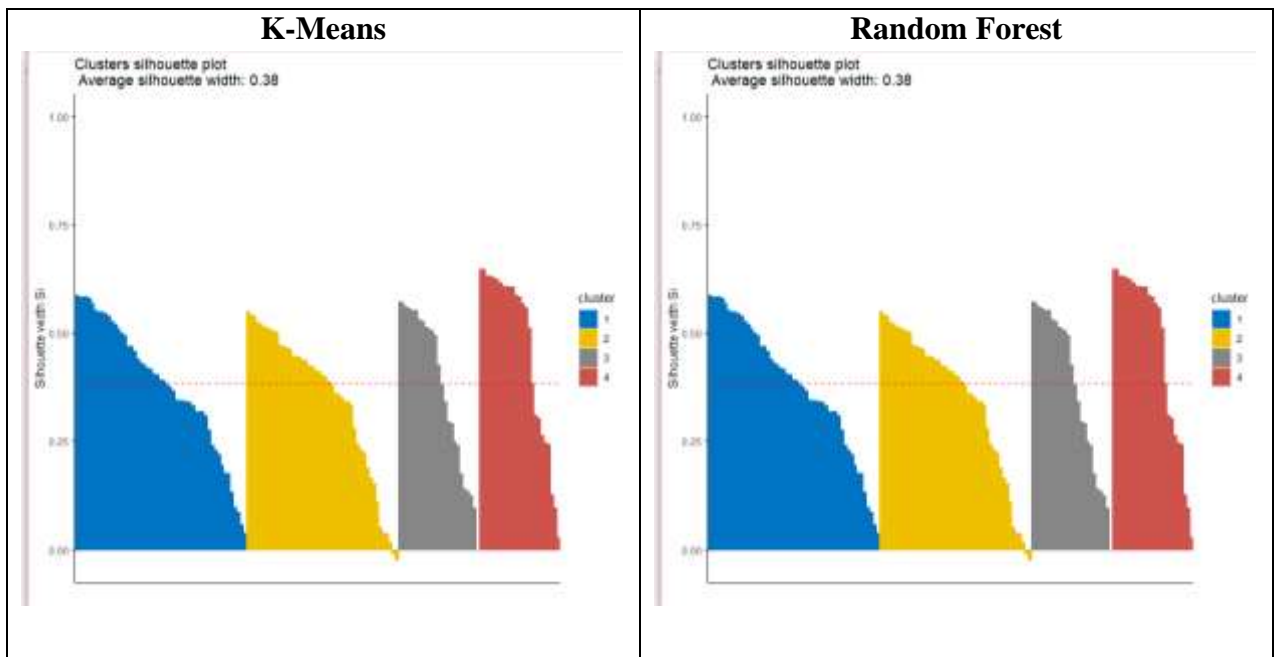
KELAS	WARNA
<i>Mangrove</i>	Hijau
Air Laut	Biru
Pasir timbul	Putih
Tumbuhan lain	Coklat
Tanah	Merah muda

F. Validasi Silhouette Coefficient

Silhouette coefficient merupakan metode yang digunakan untuk melihat kualitas dan kekuatan dari cluster. Pada Gambar 6 dapat dilihat klaster validasi dengan metode *Silhouette*. Nilai *Sil.width* harus mendekati 1 untuk kompatibilitas. Nilai negatif menunjukkan bahwa sampel mungkin telah terdeteksi ke cluster yang salah.

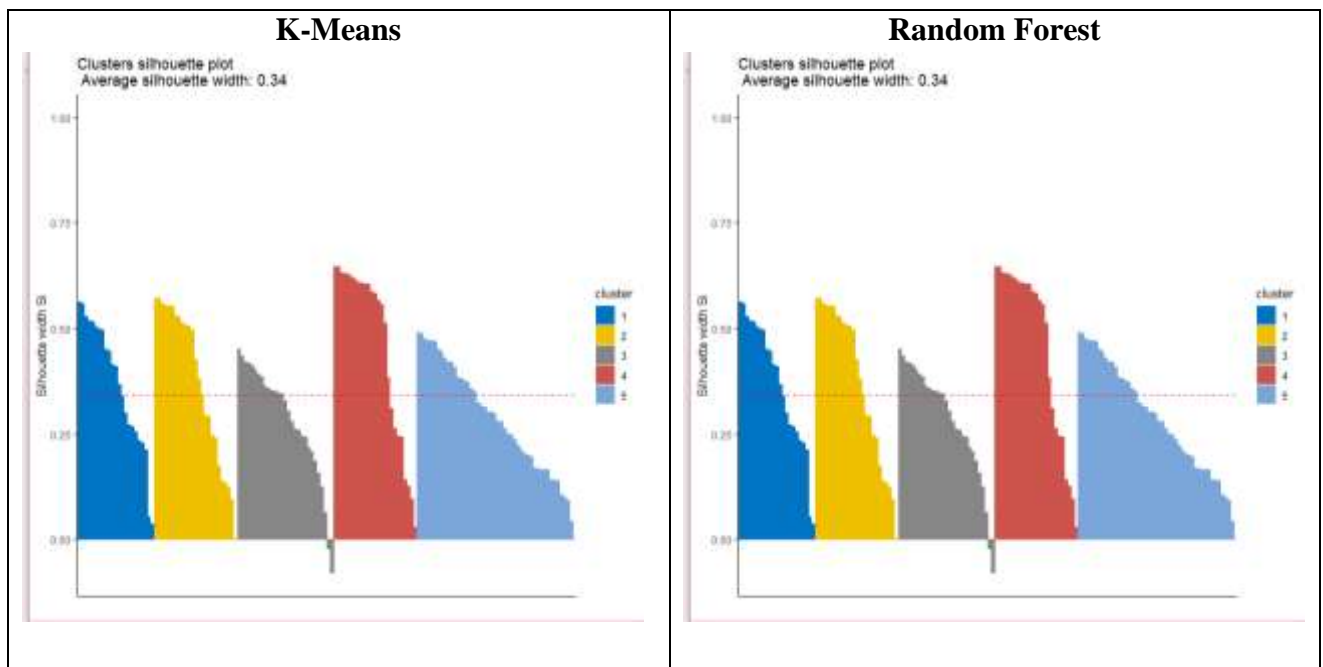
Semakin nilai *silhouette coefficient* mendekati nilai 1, maka semakin baik pengelompokan data dalam satu *cluster*. Sebaliknya jika nilai *silhouette coefficient* mendekati nilai -1, maka semakin buruk pengelompokan data di dalam satu *cluster*.

Silhouette plot K-Means dan *Random Forest* pada 4 klaster mendapatkan hasil yang sama menunjukkan bahwa nilai S_i klaster 1, 3 dan 4 adalah positif dan klaster 2 negatif. Hal ini menunjukkan bahwa plot *Silhouette K-Means* dan *Random Forest* merupakan pilihan yang sesuai dari pemilihan metode pemetaan *mangrove* karena metode tersebut hanya memiliki 1 kelas yang mempunyai nilai negatif.



Gambar 6. Validasi 4 kluster menggunakan Silhouette

Gambar 7 menunjukkan hasil validasi *Silhouette* plot *K-means* dan *Random Forest* pada 5 kluster mendapatkan hasil yang sama, menunjukkan bahwa nilai S_i kluster 1, 2, 4 dan 5 adalah positif, dan kluster 3 negatif. Hal ini menunjukkan bahwa plot *Silhouette K-Means* dan *Random Forest* merupakan pilihan yang sesuai dari pemilihan metode pemetaan *mangrove* karena metode tersebut hanya memiliki 1 kelas yang mempunyai nilai negatif.



Gambar 7. Validasi 5 kluster menggunakan Silhouette

KESIMPULAN

Hasil perubahan tutupan lahan di ekosistem *mangrove* Desa Palaes tahun 2013 dan 2021 berdasarkan *Unsupervised Learning* menggunakan *Algoritma K-Means* dan *Random Forest* diklasterisasi menjadi 4 dan 5 kelas tutupan lahan berdasarkan kelas warna yang berbeda yaitu *mangrove*, air laut,

tumbuhan lain, pasir timbul dan tanah. Pemilihan jumlah kluster sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat. Hasil kluster menunjukkan bahwa klusterisasi ekosistem *mangrove* Desa Palaes lebih terlihat akurat pada peta *K-Means* 5 kluster.

Hasil validasi kluster *Silhouette* menunjukkan bahwa, kemampuan penggunaan metode *Algoritma K-Means* dan *Random Forest* dalam mengidentifikasi perubahan lahan ekosistem *mangrove* Desa Palaes menghasilkan pengelompokan kluster yang sesuai, karena hanya memiliki 1 nilai negatif saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Umayah, H. Gunawan, dan M. N. Isda, “Tingkat Kerusakan Ekosistem Mangrove di Desa Teluk Belitung Kecamatan Merbau Kabupaten Kepulauan Meranti,” *Jurnal Riau Biologia*, vol. 1, no. 1, hlm. 24–30, 2016.
- [2] E. Karminarsih, “Pemanfaatan ekosistem mangrove bagi minimasi dampak bencana di wilayah pesisir,” *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, vol. 13, no. 3, hlm. 182–187, 2007.
- [3] T. R. Fariz, P. I. Permana, F. Daeni, dan A. C. P. Putra, “Pemetaan ekosistem mangrove di Kabupaten Kubu Raya menggunakan machine learning pada Google Earth Engine,” *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, vol. 18, no. 2, hlm. 83–89, 2021.
- [4] M. R. Nandika, A. A. M. A. P. Suardana, dan N. Anggraini, “PEMETAAN MANGROVE MENGGUNAKAN ALGORITMA MULTIVARIATE RANDOM FOREST: Studi Kasus di Segara Anakan, Cilacap,” *Majalah Ilmiah Globe*, vol. 25, no. 1, hlm. 21–30, 2023.
- [5] A. F. Hanan, I. Pratikto, dan N. Soenardjo, “Analisa distribusi spasial vegetasi mangrove di desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong,” *J Mar Res*, vol. 9, no. 3, hlm. 271–280, 2020.
- [6] E. Alfonsius, Sukardi, dan I. M. N. V. Astawa, “Sistem Informasi Pelaporan Pekerjaan Proyek Berbasis SDLC Modelling (Studi Kasus: PT Vertikal Tiara Manunggal),” *Journal of Artificial Intelligence And Technology Information (JAITI)*, vol. 1, no. 2, hlm. 50–58, Jun 2023.
- [7] E. Alfonsius dan Bonitalia, “Decision Support System for Granting of Credit Using Website-Based Promethee Method (Case Study at BPR Abc Bank),” *CHAIN: Journal of Computer Technology, Computer Engineering and Informatics*, vol. 1, no. 2, hlm. 123–136, Jul 2023.
- [8] E. Alfonsius, S. W. C. Ngangi, dan A. L. Kalua, “Decision Support System Determination of Recipients Subsidized Fertilizer Donation Using the SMART (Simple Multi Attribute Rating Technique),” *Journal of Information Technology, Software Engineering and Computer Science (ITSECS)*, vol. 1, no. 3, hlm. 124–134, Jul 2023.
- [9] E. Alfonsius dan W. W. Kalengkongan, “Development of an Alumni Data Processing Information System Using the SDLC Modeling System Development Method,” *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi Akuntansi*, vol. 3, no. 1, hlm. 53–59, 2023.
- [10] A. Ramadhan dan B. Susetyo, “Penerapan Metode Klasifikasi Random Forest Dalam Mengidentifikasi Faktor Penting Penilaian Mutu Pendidikan,” *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, vol. 4, no. 2, hlm. 169–182, 2019.
- [11] E. S. Salim, H. Bindan, E. Pranoto, dan A. Dharma, “Analisa Metode Random Forest Tree dan K-Nearest Neighbor dalam Mendeteksi Kanker Serviks,” *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi (JIKOMSI)*, vol. 3, no. 2, hlm. 97–101, 2020.
- [12] P. Silitonga dan I. S. Morina, “Klusterisasi pola penyebaran penyakit pasien berdasarkan usia pasien dengan menggunakan K-Means clustering,” *Jurnal TIMES*, vol. 6, no. 2, hlm. 22–25, 2017.
- [13] D. A. Fakhri dan S. Defit, “Optimalisasi Pelayanan Perpustakaan terhadap Minat Baca Menggunakan Metode K-Means Clustering,” *Jurnal Informasi dan Teknologi*, hlm. 160–166, 2021.
- [14] A. Yudistira dan R. Andika, “Pengelompokan Data Nilai Siswa Menggunakan Metode K-Means Clustering,” *Journal of Artificial Intelligence and Technology Information*, vol. 1, no. 1, hlm. 20–28, 2023.
- [15] K. P. Simanjuntak dan U. Khaira, “Pengelompokan Titik Api di Provinsi Jambi dengan Algoritma Agglomerative Hierarchical Clustering: Hotspot Clustering in Jambi Province Using Agglomerative Hierarchical Clustering Algorithm,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 1, no. 1, hlm. 7–16, 2021.
- [16] T. Akbar, G. M. Tinungki, dan S. Siswanto, “PERFORMANCE COMPARISON OF K-MEDOIDS AND DENSITY BASED SPATIAL CLUSTERING OF APPLICATION WITH NOISE USING SILHOUETTE COEFFICIENT TEST,” *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 17, no. 3, hlm. 1605–1616, 2023.