ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN HUTAN MENGGUNAKAN METODE OBIA (OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS) DI HUTAN GURAH

Teguh Zakaria*, Syamsul Bachri

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Indonesia
*Corresponding author, email: teguh.zakaria.2007226@students.um.ac.id

doi: 10.17977/um063.v5.i12.2025.2

Keywords
Land cover
Deforestation
Reforestation

Abstract
The sustainability of forest ecosystems is still very threatened by changes in land cover, both caused by human activities and natural processes. The purpose of this study is to use the Object Based Image Analysis (OBIA) method to examine changes in forest land cover in the Gurah Forest area. This approach was chosen because it takes into account the spectral and spatial characteristics of an object, making it possible to detect changes in detail. The data used is Sentinel 2 imagery and shapefile administrative areas and forest boundaries. To analyze changes in land cover, compare the results of categorization in 2016, 2018, 2020, 2022, and 2024. Based on these results, Gurah Forest has three types of land cover: open land, shrubs, and forests. The largest forest area was recorded in 2022, while the smallest occurred in 2018. In addition, the largest rate of reforestation occurred between 2020 and 2022, with an increase of 12.8 hectares, while the largest rate of deforestation occurred between 2016 and 2018. with a decrease of 15.8 hectares. The OBIA approach resulted in an Almost Perfect Agreement with an overall accuracy of 0.943396 and a kappa accuracy of 0.895464. Based on the study's findings, land cover varies from year to year, underscoring the need for sustainable forest management to mitigate the adverse impacts of these changes.

Kata kunci
Tutupan lahan
Deforestasi
Reforestasi

Abstrak
Kelestarian ekosistem hutan masih sangat terancam oleh perubahan tutupan lahan, baik yang disebabkan oleh aktivitas manusia maupun proses alam. Tujuan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan metode Object Based Image Analysis (OBIA) untuk mengkaji perubahan tutupan lahan hutan di kawasan Hutan Gurah. Pendekatan ini dipilih karena memperhitungkan karakteristik spektral dan spasial suatu objek, sehingga memungkinkan untuk mendeteksi perubahan secara detail. Data yang digunakan adalah citra Sentinel 2 dan shapefile wilayah administratif dan batas hutan. Untuk menganalisis perubahan tutupan lahan, dibandingkan hasil kategorisasi tahun 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024. Berdasarkan hasil tersebut, Hutan Gurah memiliki tiga jenis tutupan lahan: lahan terbuka, semak belukar, dan hutan. Luas hutan terluas tercatat pada tahun 2022, sedangkan yang terkecil terjadi pada tahun 2018. Selain itu, laju reforestasi terbesar terjadi antara tahun 2020 dan 2022, dengan peningkatan sebesar 12.8 hektar, sedangkan laju deforestasi terbesar terjadi antara tahun 2016 dan 2018. dengan penurunan sebesar 15.8 hektar. Pendekatan OBIA menghasilkan Almost Perfect Agreement dengan akurasi keseluruhan sebesar 0,943396 dan akurasi kappa sebesar 0,895464. Berdasarkan temuan studi tersebut, tutupan lahan bervariasi setiap tahunnya, sehingga menggarisbawahi perlunya pengelolaan hutan berkelanjutan untuk mengurangi dampak buruk dari perubahan tersebut.

1. Pendahuluan

Salah satu sumber daya alam yang tak ternilai harganya dan sangat penting bagi kelangsungan hidup makhluk hidup adalah hutan. Menurut Steinlin (1988), hutan sangat penting bagi

kelangsungan hidup manusia karena menghasilkan komoditas dan jasa serta menjaga keseimbangan lingkungan. Hutan didefinisikan sebagai suatu kesatuan ekosistem yang terdiri dari kawasan daratan yang kaya akan sumber daya alam hayati, sebagian besar pepohonan, yang terhubung dengan lingkungan alam sekitarnya (UU No. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan, Pasal 1 Ayat 2).

Seiring berjalannya waktu, hutan yang sebelumnya diyakini tidak ada habisnya kini semakin menghilang. Garnadi (2004) menegaskan bahwa aktivitas manusia seperti penebangan liar, penggembalaan, pengembangan pertanian, pembangunan jalan, dan pertumbuhan pemukiman biasanya menjadi penyebab gangguan pada kawasan hutan. Aktivitas manusia yang meluas seperti perluasan pertanian yang tidak terkendali, perluasan lahan perkebunan, kebakaran hutan, perambahan, dan penebangan liar merupakan penyebab utama degradasi hutan di Indonesia (Kamilia & Nawiyanto, 2015). Akibat perubahan penggunaan lahan, seperti penggundulan hutan, yang terjadi karena berbagai alasan termasuk pembangunan pemukiman dan pertumbuhan kawasan pertanian dan perkebunan, kerusakan hutan sering kali terjadi bersamaan dengan penurunan tutupan hutan (Yeyen et al., 2018).

Dibandingkan dengan tahun 2020–2021, Indonesia mengalami penurunan deforestasi sebesar 8,4% pada tahun 2021–2022, menurut data dari Global Forest Watch. Meskipun laju deforestasi pada tahun 2020–2021 adalah 113.500 hektar, namun deforestasi bersih di Indonesia pada tahun 2021–2022 adalah 104.000 hektar. Kesimpulan ini juga didukung oleh data yang dipublikasikan oleh Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Ditjen PKTL KLHK) Berdasarkan data, Indonesia mampu mengurangi deforestasi sebesar 75,03% antara tahun 2019 dan 2020 sehingga totalnya mencapai 115,46 ribu hektar (ha). Meskipun mampu menurunkan angka deforestasi di Indonesia pada beberapa tahun terakhir, namun Indonesia masih masuk kedalam 4 besar negara dengan laju deforestasi tertinggi di bawah negara Brasil, Kongo, dan Bolivia.

Tutupan lahan suatu wilayah memainkan peran penting dalam mempertahankan sistem kehidupannya. Masuk akal untuk menyimpulkan bahwa peningkatan keanekaragaman vegetasi hutan dan tutupan lahan menandakan tingginya tingkat keanekaragaman hayati di wilayah tersebut (Nugroho & Herawatiningsih, 2016). Untuk itu, tutupan lahan mampu memberikan gambaran di permukaan bumi terkait dengan kondisi dan kenampakan vegetasi. Tutupan lahan menjadi indikator penting dalam memahami kondisi ekosistem hutan. Perubahan tutupan lahan yang disebabkan oleh alam atau ulah manusia dapat berdampak besar terhadap kualitas lingkungan dan membahayakan proses ekologi di kawasan hutan. Sistem Informasi Geografis (GIS) dan teknologi penginderaan jauh memudahkan pelacakan perubahan ini secara tepat. Pemetaan dinamika tutupan lahan yang rumit sangat cocok untuk metode Analisis Citra Berbasis Objek (OBIA) karena metode ini memberikan pendekatan berbasis objek yang lebih akurat dibandingkan metode berbasis piksel.

Salah satu kawasan hutan tropis di wilayah selatan Jawa Timur adalah Hutan Gurah yang secara administratif terletak di Desa Tugurejo, Kecamatan Wates, Kabupaten Blitar. Kawasan ini memiliki keanekaragaman hayati tinggi dengan vegetasi dominan seperti mahoni, jati, dan akasia. Selain berfungsi ekologis, Hutan Gurah juga mendukung kehidupan masyarakat sekitar, khususnya dalam skema perhutanan sosial. Namun, ancaman degradasi dan perubahan tutupan lahan di kawasan ini terus meningkat akibat tekanan aktivitas manusia.

Saat ini sangatlah penting untuk melacak perubahan tutupan lahan di Hutan Gurah untuk mengatasi permasalahan yang telah dijelaskan di atas. Melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, penelitian ini bermaksud untuk mengetahui tingkat keakuratan metode OBIA (Object Based Image Analysis) dalam melakukan analisis perubahan tutupan lahan hutan dan menganalisis perubahan tutupan lahan di Hutan Gurah tahun 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024 serta mengevaluasi laju deforestasi dan reforestasi menggunakan analisis citra berbasis objek (OBIA). Penelitian ini diharapkan dapat secara akurat menggambarkan proses perubahan lahan, menentukan lokasi-lokasi penting, dan memberikan saran bagi inisiatif pengelolaan dan restorasi hutan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi pedoman bagi masyarakat dan pemerintah daerah dalam membuat kebijakan berbasis ekosistem yang mendukung kelestarian lingkungan.

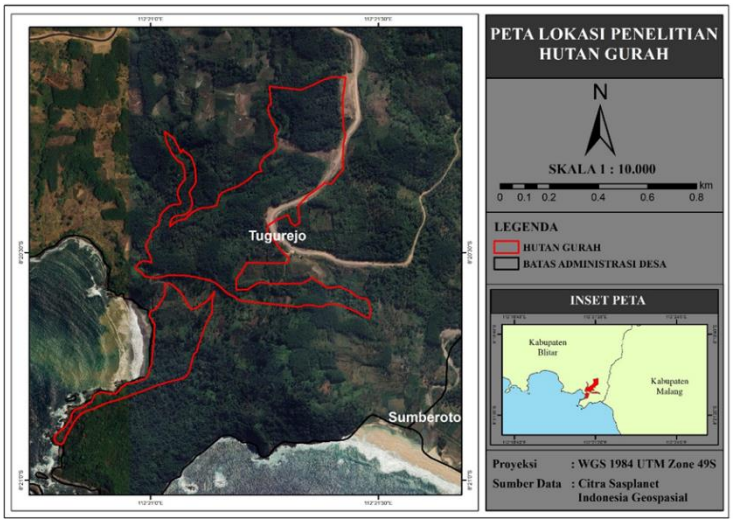
2. Metode

2.1. Jenis Penelitian

Metodologi penelitian ini menggunakan teknik deskriptif kuantitatif, yang memfasilitasi ilustrasi konstruktif, demonstrasi, atau ringkasan data. Metode ini memanfaatkan representasi statistik yang merangkum dan menyoroti pola dalam sampel data tertentu, sehingga memudahkan untuk memahami nuansa data. Selanjutnya pendekatan klasifikasi tutupan lahan pada penelitian ini menggunakan teknik klasifikasi OBIA (*Object Based Image Analysis*).

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlangsung di Desa Tugurejo, Kecamatan Wates, Kabupaten Blitar, Jawa Timur, di kawasan Hutan Gurah. Secara administratif, Kawasan Hutan Gurah dikelilingi oleh beberapa desa seperti Desa Mojorejo dibagian barat, Desa Sumberoto dibagian Timur, Desa Birowo dibagian utara, serta Pantai Selatan Jawa dibagian selatan. Kawasan Hutan Gurah memiliki luas total sekitar 43,422182 hektar (ha). Selain memberikan gambaran umum mengenai dinamika deforestasi dan reforestasi, penelitian ini berupaya membuat peta yang menunjukkan perubahan tutupan lahan hutan di Hutan Gurah antara tahun 2016 hingga 2024.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.3. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sumber primer dan sekunder. Untuk memvalidasi peta tutupan lahan hutan dan memberikan gambaran akurat mengenai kondisi sebenarnya di wilayah penelitian, data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan atau pengecekan lapangan, yang kemudian diambil titik sampelnya. Observasi langsung adalah proses pengumpulan informasi dengan melihat suatu fakta atau peristiwa secara nyata. Sedangkan data sekunder berasal dari sumber sekunder, seperti publikasi atau website yang diterbitkan oleh kementerian atau lembaga terkait yang tersedia untuk masyarakat umum atau dapat diperoleh langsung dari kantor atau lembaga yang bersangkutan.

Tabel 1. Data Penelitian

No.	Nama Data	Jenis	Sumber Data	Tujuan
1	Ground Truth Point	Primer	Observasi Lapangan	Validasi kesesuaian kondisi dilapangan
2	Citra Sentinel 2 tahun 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024	Sekunder	https://dataspace.copernicus.eu/	Pemetaan perubahan tutupan lahan hutan
3	Data Shp Administrasi Desa dan Kecamatan	Sekunder	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web	Pengambilan dan penentuan batas wilayah
4	Data Shp Batas Hutan	Sekunder	KLHK	Penentuan batas hutan

2.4. Teknik Pengolahan Data

2.4.1. Tahap Pra Pengolahan

Fusi Citra / Pansharpening

Sebuah metode yang disebut pansharpening dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan fotografi satelit, yang dapat diterapkan pada sejumlah aplikasi yang memerlukan resolusi spektral dan spasial yang tinggi (Hakim, 2019). Tujuan dari fusi gambar, juga dikenal sebagai *pansharpening* adalah menggabungkan dua tipe data yaitu gambar pankromatik dan multispektral untuk meningkatkan kualitas visual gambar dan mengganti informasi yang hilang. Gambar berwarna dengan resolusi spasial yang sama dengan saluran pankromatik adalah hasil dari integrasi ini.

Cropping Citra

Cropping citra bertujuan untuk memfokuskan citra pada wilayah studi yang diamati atau dalam penelitian ini yaitu wilayah Hutan Gurah Desa Tugurejo Kecamatan Wates Kabupaten Blitar sehingga analisis menjadi lebih fokus dan relevan terhadap wilayah kajian yang menjadi fokus sasaran penelitian.

2.4.2. Tahap Pengolahan

Segmentasi

Ketika pemrosesan menggunakan pendekatan OBIA, segmentasi dapat dianggap sebagai proses merangkai piksel-piksel yang berdekatan menjadi suatu wilayah (segmen) tertentu yang memiliki karakteristik yang sebanding, seperti tekstur atau angka digital. Membedakan tutupan lahan di dekatnya menjadi banyak objek spektral yang identik dapat dilakukan dengan metode segmentasi ini. Kumpulan item atau cluster piksel hasil prosedur segmentasi ini kemudian digunakan sebagai unit analisis untuk kategorisasi.

Training Sampel

Pada metode OBIA, training sampel harus terdiri dari segmen-segmen citra yang mewakili berbagai kelas yang akan dilakukan analisis. Menurut Lumbantobing et., al (2010) menyebutkan bahwa dalam pemilihan training sampel harus mewakili berbagai macam karakteristik dari objek yang dianalisis, karena hal tersebut dapat berpengaruh dalam keberhasilan proses klasifikasi tersebut.

Klasifikasi OBIA

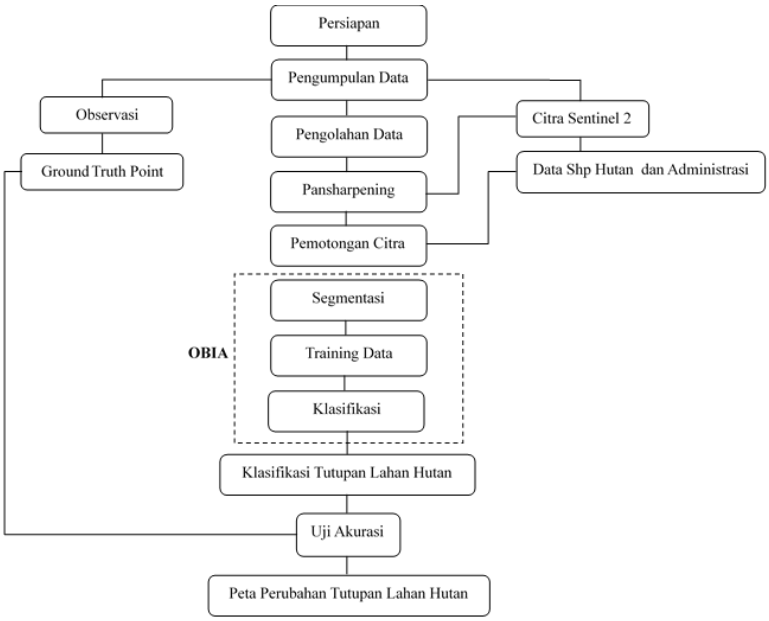
Tahap klasifikasi ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi suatu objek agar menghasilkan objek unik yang berbeda dengan objek lainnya dan memungkinkan untuk menggabungkan kelas objek yang mirip kedalam kelas yang sama. Untuk itu, proses klasifikasi perubahan tutupan lahan hutan menggunakan metode OBIA ini berbasis pada karakteristik setiap objek yang akan diklasifikasikan. Tahap klasifikasi ini tidak hanya melihat karakteristik objek citra dari digital number saja, melainkan juga menggunakan parameter lainnya seperti bentuk, ukuran, luas, dan lain-lain.

Overlay atau Tumpang susun

Overlay atau tumpang susun merupakan proses penggabungan dua atau lebih layer peta yang digunakan untuk melihat dinamika perubahan tutupan lahan hutan yang terjadi. Pada penelitian ini *overlay* dilakukan dengan menggabungkan atau menampalkan peta perubahan tutupan lahan hutan pada periode waktu yang mengalami perubahan tutupan lahan paling signifikan dari lahan hutan menjadi lahan non hutan ataupun sebaliknya dari lahan non hutan menjadi lahan hutan.

2.4.3. Tahap Akhir (Uji Akurasi)

Tujuan dari langkah pengujian akurasi adalah untuk mengevaluasi dan membedakan seberapa cocok hasil kategorisasi yang dihasilkan oleh pendekatan yang digunakan dengan keadaan dunia nyata di lapangan. Untuk menghitung % presisi pemetaan, tahap ini juga bertujuan untuk mengetahui derajat kesalahan yang terjadi pada klasifikasi wilayah sampel. Dengan memilih titik sampel objek pada peta yang diolah dan mengumpulkan informasi setiap objek dalam setiap kategorisasi tutupan lahan, dilakukan pengujian akurasi. Akurasi produsen, akurasi pengguna, dan akurasi keseluruhan dihitung untuk menentukan hasil evaluasi akurasi klasifikasi tutupan lahan.

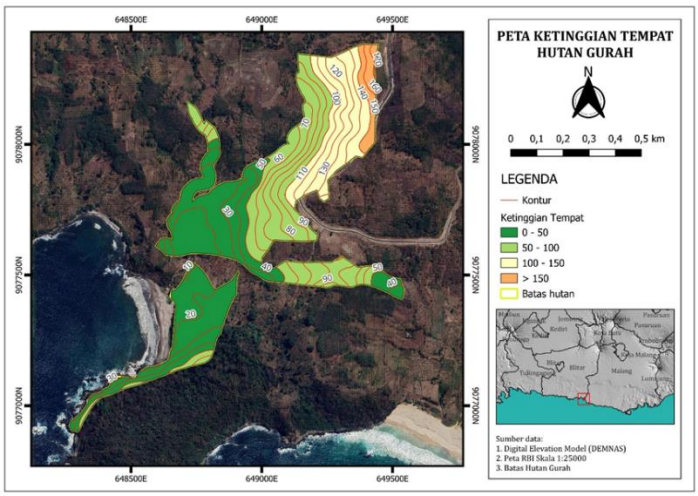


Gambar 2. Diagram Alir

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik, tabel, atau deskriptif yang dapat menggambarkan data dan hasil penelitian. Hanya materi terkait dari temuan penelitian yang boleh dimasukkan dalam tabel dan gambar. Analisis dan interpretasi temuan ini harus dilakukan sebelum diskusi dapat dimulai.

Hutan Gurah terletak di wilayah selatan Kabupaten Blitar, di Desa Tugurejo, Kecamatan Wates. Secara administrasi, kawasan Hutan Gurah di selatan dibatasi oleh Pesisir Selatan Jawa, di barat dengan Desa Mojorejo, di timur dengan Desa Sumberoto, dan di utara dengan Desa Birowo. Terdapat dua bagian utama Hutan Gurah yang jika digabungkan memiliki luas sekitar 43.422182 hektar. Bagian pertama adalah kawasan perhutanan sosial yang terletak di bagian utara dengan luas 35,275807 hektar, sementara bagian kedua adalah kawasan penataan konservasi hutan yang berada di bagian selatan dengan luas 8,146375 hektar.



Gambar 3 . Peta Ketinggian Tempat

Kawasan Hutan Gurah secara umum memiliki ketinggian sekitar 10 – 170 meter diatas permukaan laut (mdpl) dengan lokasi yang berada pada pesisir pantai selatan jawa serta kondisi topografi yang bervariasi mulai dari topografi landai hingga bergelombang. Pada ketinggian 10 - 30 meter di atas permukaan laut, kawasan hutan bagian selatan yang diperuntukkan bagi pengelolaan konservasi memiliki bentang alam yang relatif datar dan tidak terlalu bergelombang. Sedangkan kawasan hutan yang diperuntukkan bagi perhutanan sosial di wilayah utara, berada pada ketinggian di atas permukaan laut, berkisar antara 30 - 170 meter, dan topografinya lebih curam dan bergelombang.

3.1. Klasifikasi Tutupan Lahan Hutan Gurah

Menurut Muttaqin dan Aini (2011), penutupan lahan berkaitan dengan jenis kenampakan yang terdapat pada permukaan bumi. Tutupan lahan kawasan Hutan Gurah seluas 43,4 hektar dapat dibagi menjadi tiga kategori berbeda. Jenis tutupan lahan ini meliputi lahan terbuka, semak belukar, dan hutan. Klasifikasi tutupan lahan Hutan Gurah dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut: 1) Hutan : identifikasi dilakukan dengan melihat area hutan dengan kerapatan vegetasi yang masih tinggi dan belum terlihat adanya bekas penebangan dengan warna hijau gelap. 2) Semak belukar : identifikasi dilakukan dengan mengamati area dengan vegetasi rendah yang berkembang di wilayah bekas hutan terbuka akibat degradasi atau regenerasi serta sudah terlihat adanya bekas pembukaan lahan. 3) Lahan terbuka : identifikasi dilakukan melalui area dengan pantulan citra yang tinggi, biasanya berwarna coklat terang yang dapat mewakili lahan kosong atau area terbangun, termasuk jalan.

Keterbatasan resolusi spasial dari citra yang digunakan dalam penelitian ini membatasi kemampuan untuk membedakan detail yang lebih halus pada tutupan lahan. Oleh karena itu, klasifikasi dilakukan dengan menyederhanakan klasifikasi menjadi tiga kelas utama yaitu, hutan, semak belukar, dan lahan terbuka yang dapat diidentifikasi dengan tingkat akurasi yang memadai berdasarkan karakteristik spektral pada citra tersebut. Penyederhanaan klasifikasi ini mengacu pada metode simplifikasi yang sering digunakan pada penelitian berbasis citra dengan resolusi menengah hingga rendah yaitu Land Cover Classification System (LCSS) oleh FAO. Kelas tutupan lahan berupa hutan mencakup semua jenis hutan seperti hutan primer, hutan sekunder, dan hutan perkebunan. Kelas tutupan lahan berupa semak belukar meliputi vegetasi rendah dan hutan yang telah terdegradasi. Sedangkan kelas tutupan lahan berupa lahan terbuka mencakup tanah kosong dan area terbangun.

Tabel 2 menunjukkan tampilan citra Sentinel-2 di Kawasan Hutan Gurah untuk setiap jenis klasifikasi tutupan lahan.

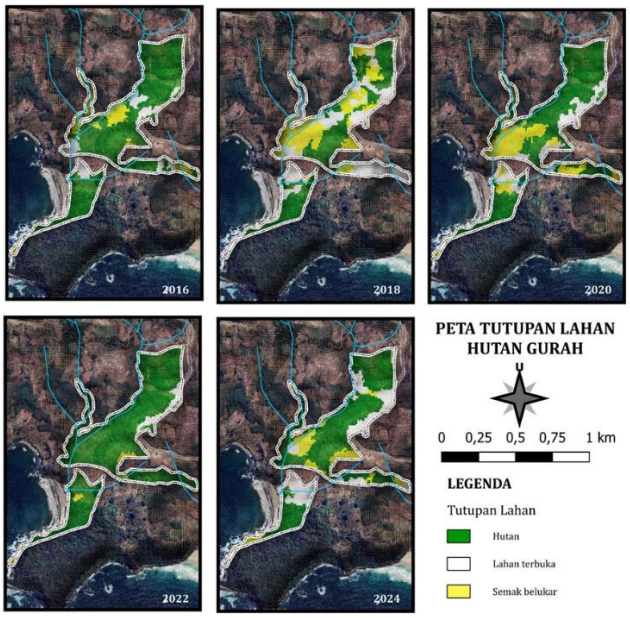
Tabel 2. Penampakan Citra pada Masing-Masing Kelas Tutupan Lahan

No	Kelas Tutupan Lahan	Penampakan Citra	Keterangan
1	Hutan		Tutupan lahan yang terlihat berwarna hijau tua dengan kerapatan yang masih rapat dan belum terlihat adanya bekas penebangan
2	Semak Belukar		Tutupan lahan yang terlihat vegetasi yang kurang rapat dan sudah terlihat adanya degradasi lahan.
3	Lahan Terbuka		Tutupan lahan yang terlihat berwarna coklat terang dan jalan

3.2. Tutupan Lahan Hutan Gurah

Tutupan lahan di kawasan Hutan Gurah dapat dibagi menjadi tiga kategori utama yaitu hutan, semak belukar, dan lahan terbuka, berdasarkan kajian data Sentinel-2 yang diolah menggunakan pendekatan *Object Based Image Analysis* (OBIA) melalui software ArcGIS. Visualisasi hasil klasifikasi tersebut ditampilkan pada Peta Tutupan Lahan Hutan Gurah (Gambar 4).

Selain menunjukkan kawasan dengan hutan, semak belukar, dan tutupan lahan terbuka, peta tersebut juga menunjukkan perubahan sebaran tutupan lahan dalam beberapa periode waktu, termasuk tahun 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024. Data ini memudahkan pengambilan keputusan. pembuatan laporan tentang pengelolaan dan perlindungan Hutan Gurah dan penting untuk mengkaji dinamika perubahan lahan di kawasan tersebut.



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Hutan Gurah 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024

3.2.1. Tutupan Lahan Hutan Gurah Tahun 2016

Berdasarkan Tabel 3, kondisi tutupan lahan Kawasan Hutan Gurah pada tahun 2016 sebagian besar diwakili oleh hutan, yaitu seluas 33.1 hektar (ha) atau 76,4% dari total tutupan lahan. Sedangkan untuk sisanya yakni semak belukar dengan luas 5,4 hektar (ha) atau 12,5 % dan lahan terbuka yang memiliki luas sebesar 4,8 hektar (ha) atau 11,0 % dari total keseluruhan tutupan lahan Hutan Gurah tahun 2016. Gambar 4 menampilkan Peta tutupan lahan pada tahun 2016.

Tabel 3. Luas Tutupan Lahan 2016

No	Kelas Tutupan Lahan	Tahun 2016 Hektar (ha)	Persentase (%)
1	Hutan	33,1	76,4
2	Semak Belukar	5,4	12,5
3	Lahan Terbuka	4,8	11,0
Total		43,3	100

3.2.2. Tutupan Lahan Hutan Gurah Tahun 2018

Berdasarkan Tabel 4, tutupan hutan yang mencakup 17.3 hektar (ha), atau 39,9% dari total tutupan lahan pada tahun tersebut, merupakan ciri utama kondisi tutupan lahan di Kawasan Hutan Gurah pada tahun 2018. Sisa tutupan lahan Kawasan Hutan Gurah tahun 2018 terdiri dari semak belukar seluas 12, hektar (ha) atau 27,9% dari total tutupan lahan, dan lahan terbuka. lahan seluas 14.0 hektar (ha) atau 32,2%. Gambar 4 menampilkan Peta tutupan lahan pada tahun 2018.

Tabel 4. Luas Tutupan Lahan 2018

No	Kelas Tutupan Lahan	Tahun 2018 Hektar (ha)	Persentase (%)
1	Hutan	17,3	39,9
2	Semak Belukar	12,1	27,9
3	Lahan Terbuka	14,0	32,2
Total		43,4	100

3.2.3. Tutupan Lahan Hutan Gurah Tahun 2020

Tabel 5 menunjukkan kondisi tutupan lahan Hutan Gurah pada tahun 2020 yang didominasi oleh kelas tutupan lahan hutan dengan total luas sebesar 27,6 hektar (ha) atau 63,6 % dari total keseluruhan tutupan lahan tahun 2020. Selain itu, untuk sisanya diisi oleh kelas tutupan lahan berupa semak belukar dan lahan terbuka. Untuk kelas tutupan lahan berupa semak belukar memiliki luas 10,3 hektar (ha) atau 23,7 % dan kelas tutupan lahan berupa lahan terbuka memiliki luasan 5,5 hektar (ha) atau 12,7 % dari total keseluruhan tutupan lahan hutan tahun 2020. Peta tutupan lahan pada tahun 2020 dapat dilihat pada gambar 4.

Tabel 5. Luas Tutupan Lahan 2020

No	Kelas Tutupan Lahan	Tahun 2020 Hektar (ha)	Persentase (%)
1	Hutan	27,6	63,6
2	Semak Belukar	10,3	23,7
3	Lahan Terbuka	5,5	12,7
Total		43,4	100

3.2.4. Tutupan Lahan Hutan Gurah Tahun 2022

Kondisi tutupan lahan Hutan Gurah pada tahun 2022 disajikan pada Tabel 6. Tutupan hutan tersebut merupakan mayoritas dari keseluruhan luas hutan, yaitu sebesar 40,4 hektar (ha) atau 93,2% dari total tutupan lahan pada tahun tersebut. Sedangkan sisa tutupan lahan merupakan lahan terbuka seluas 1.7 hektar (ha) atau 3,8% dari total tutupan lahan Hutan Gurah pada tahun 2022 dan semak belukar seluas 1.3 hektar (ha) atau 3%.

Tabel 6. Luas Tutupan Lahan 2022

No	Kelas Tutupan Lahan	Tahun 2022 Hektar (ha)	Persentase (%)
1	Hutan	40,4	93,2
2	Semak Belukar	1,3	3,0
3	Lahan Terbuka	1,7	3,8
Total		43,4	100

3.2.5. Tutupan Lahan Hutan Gurah Tahun 2024

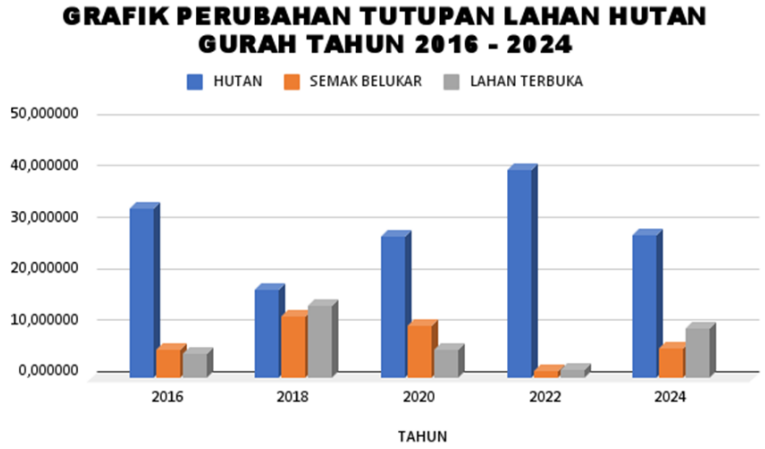
Berdasarkan Tabel 7, pada tahun 2024, sebagian besar tutupan lahan di Kawasan Hutan Gurah berkategori hutan, yaitu seluas 27.9 hektar (ha), atau 64,3% dari total tutupan lahan pada tahun tersebut. Jenis tutupan lahan berikutnya adalah lahan terbuka yang mencakup 22,1% dari total tutupan lahan dengan luas 9.6 hektar. Lahan perdu juga mencakup 13,7% dari total tutupan lahan Hutan Gurah pada tahun 2024, seluas 5.9 hektar (ha). Gambar 4 menampilkan Peta tutupan lahan tahun 2024.

Tabel 7. Luas Tutupan Lahan 2024

No	Kelas Tutupan Lahan	Tahun 2024 Hektar (ha)	Persentase (%)
1	Hutan	27,9	64,3
2	Semak Belukar	5,9	13,7
3	Lahan Terbuka	9,6	22,1
Total		43,4	100

3.3. Perubahan Tutupan Lahan Hutan Gurah 2016 – 2024

Istilah "perubahan tutupan lahan" menggambarkan konversi jenis tutupan lahan yang belum dikembangkan atau alami menjadi penggunaan lahan yang telah diubah oleh aktivitas manusia (Latue & Rakuasa, 2023). Perubahan tutupan lahan dapat disebabkan oleh aktivitas manusia termasuk pembangunan infrastruktur, urbanisasi, penggundulan hutan, dan konversi penggunaan lahan, atau dapat terjadi secara alami. Hutan, semak belukar, dan lahan terbuka merupakan tiga divisi yang perubahan tutupan lahannya dibagi dalam studi ini. Pola perubahan tutupan lahan menunjukkan bahwa setiap tahunnya terjadi perubahan tutupan lahan, baik penurunan maupun perluasan luas pada setiap kelas tutupan lahan. Berikut dibawah ini merupakan grafik tren perubahan tutupan lahan di Kawasan Hutan Gurah pada kurun waktu 2016 – 2024:



Gambar 5. Grafik Perubahan Tutupan Lahan 2016 - 2024

Kelas tutupan lahan berupa hutan pada tahun 2016 memiliki luas mencapai 33,1 hektar (ha) yang menjadikannya kelas tutupan yang dominan di kawasan tersebut. Pada tahun 2018 terjadi penurunan drastis pada kelas tutupan lahan hutan hingga 17,3 ha (penurunan sebesar 47,7 %) yang disebabkan oleh adanya konversi lahan untuk kebutuhan pembukaan infrastruktur berupa jalan. Tahun 2020, luas hutan kembali mengalami peningkatan menjadi 27,5 ha yang mencerminkan adanya upaya reforestasi ataupun regenerasi secara alami. Peningkatan tajam terjadi pada tahun 2022, dengan luas hutan mencapai 40,4 ha yang menunjukkan adanya kenaikan sebesar 46,9 % dari tahun 2020. Namun, pada tahun 2024 menunjukkan adanya penurunan kembali pada hutan menjadi 27,8 ha yang dapat disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembukaan lahan menjadi area pertanian dan infrastruktur.

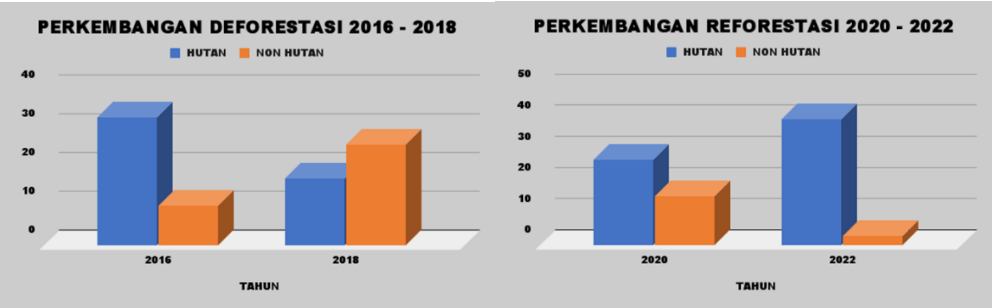
Total area yang ditetapkan sebagai semak belukar meningkat signifikan dari 5,4 hektar pada tahun 2016 menjadi 12,1 hektar pada tahun 2018. Hal tersebut bisa diakibatkan oleh adanya degradasi hutan akibat pembukaan lahan yang mengakibatkan terjadinya konversi hutan menjadi

semak belukar. Tahun 2020, luas semak belukar mengalami penurunan tetapi tidak signifikasn menjadi 10,2 ha. Sedangkan tahun 2022, luas semak belukar mengalami penurunan secara drastis menjadi 1,3 ha (penurunan 87,3 %) yang menunjukkan bahwa sebagian besar area ini telah mengalami reforestasi menjadi area hutan. Namun, pada tahun 2024 luas semak belukar kembali mengalami peningkatan menjadi 5,9 ha yang menandakan adanya degradasi pada kawasan hutan atau penurunan kualitas hutan.

Akibat pembukaan lahan untuk pembangunan infrastruktur jalan, luas lahan yang diperuntukkan sebagai lahan terbuka meningkat signifikan dari 4,7 hektar pada tahun 2016 menjadi 13,9 hektar pada tahun 2018. Pada tahun 2020, luas lahan terbuka mengalami penurunan menjadi 5,5 ha dan pada tahun 2022 luas lahan terbuka juga mengalami penurunan lebih jauh menjadi 1,6 ha (penurunan 70,9 % dari tahun 2020) yang mengindikasikan adanya upaya pemulihan kawasan hutan menjadi area hutan. Namun, pada tahun 2024 lahan terbuka kembali meningkat menjadi 9,5 ha yang menunjukkan adanya aktivitas pembukaan lahan menjadi jalan dan lahan bekas pembukaan lahan yang belum mengalami regenerasi menjadi area hutan.

3.4. Perkembangan Deforestasi dan Reforestasi Hutan Gurah

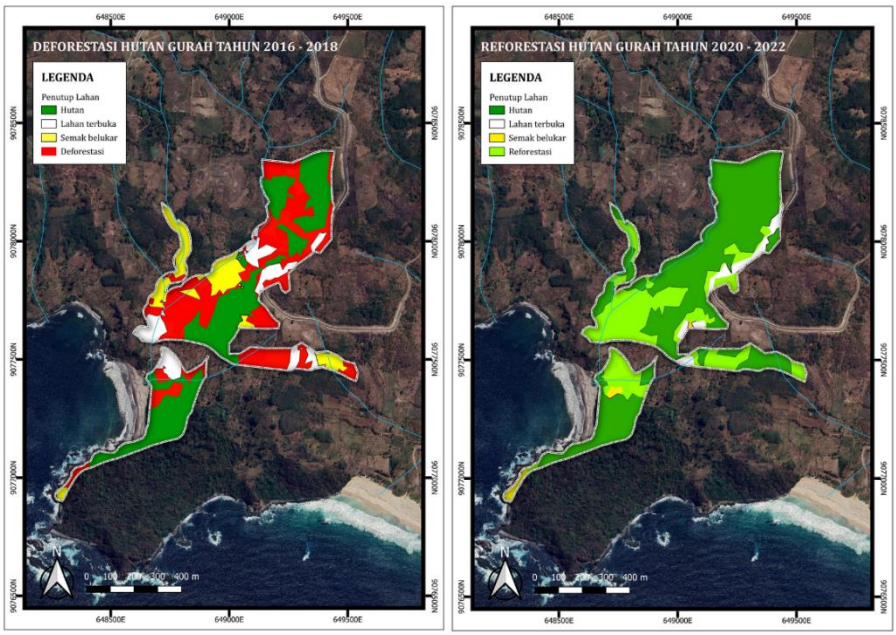
Peta dan informasi derajat deforestasi dan reforestasi di kawasan Hutan Gurah dihasilkan dengan mengklasifikasikan foto satelit menggunakan data Sentinel-2 tahun 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024. Laju deforestasi terbesar terjadi antara tahun 2016 - 2018, berdasarkan temuan kategorisasi data satelit Sentinel-2 yang diolah dan diperiksa menggunakan pendekatan overlay antara kelas tutupan lahan hutan dan non-hutan. Di sisi lain, rentang waktu 2020 – 2022 menunjukkan laju reforestasi tertinggi. Perkembangan perubahan tutupan lahan di kawasan Hutan Gurah menunjukkan dinamika yang fluktuatif, dimana proses deforestasi dan reforestasi mengalami pola perkembangan naik turun selama dalam periode analisis.



Gambar 6. Perkembangan Deforestasi dan Reforestasi

Berdasarkan Gambar 6 laju deforestasi tertinggi terjadi pada periode tahun 2016 – 2018 dengan penurunan luas hutan dari 33,1 hektar (ha) di tahun 2016 menjadi 17,3 hektar (ha) di tahun 2018 yang menunjukkan adanya penurunan area hutan sebanyak 15,8 hektar (ha). Penurunan area hutan atau deforestasi pada periode 2016 - 2018 diakibatkan oleh adanya faktor pembukaan lahan atau konversi lahan hutan untuk kebutuhan non-hutan seperti pembukaan lahan untuk pertanian dan pembangunan infrastruktur jalan. Sebagaimana disebutkan oleh Yembise, F.K (2020) salah satu faktor yang mengakibatkan perubahan tutupan lahan hutan adalah pembukaan jalan untuk akses penduduk. Selain itu, penyebab deforestasi akibat pembukaan lahan pertanian juga selaras dengan temuan FAO (1990) bahwa meningkatnya jumlah petani kecil yang mendorong perubahan tutupan lahan hutan merupakan faktor utama deforestasi.

Berdasarkan data, laju reforestasi terbesar tercatat pada tahun 2020, sedangkan laju deforestasi tertinggi terjadi antara tahun 2016 dan 2018. Pembangunan jalan untuk akses masyarakat dan kegiatan pertanian menjadi dua alasan utama perubahan tutupan lahan di kawasan hutan. . Gambar 14 menunjukkan peta deforestasi tahun 2016 hingga 2018. Selanjutnya Gambar 7 menunjukkan deforestasi tersebar luas di kawasan Hutan Gurah pada tahun 2016 hingga 2018. Wilayah yang diberi warna merah menggambarkan perubahan laju deforestasi; Pada tahun 2022, wilayah-wilayah tersebut menunjukkan adanya pergeseran tutupan lahan dari kawasan berhutan ke non-hutan, seperti lahan terbuka dan semak belukar.



Gambar 7. Peta Deforestasi dan Reforestasi

Berdasarkan Gambar 6 untuk laju reforestasi tertinggi terjadi pada periode tahun 2020 – 2022 dengan luas hutan yang meningkat tajam dari 27,6 hektar (ha) di tahun 2020 menjadi 40,4 hektar (ha) di tahun 2022 yang menunjukkan adanya peningkatan area hutan sebesar 12,8 hektar (ha). Peningkatan area hutan atau reforestasi ini dapat disebabkan oleh regenerasi alami yang berhasil serta didorong oleh faktor pandemi covid-19 yang berakibat pada berkurangnya aktivitas manusia, dan menurunnya permintaan komuditas hutan sehingga hutan dapat melakukan regenerasi secara alami. Gambar 16 menunjukkan peta reforestasi untuk jangka waktu 2020–2022. Berdasarkan Gambar 7, bagian tengah kawasan Hutan Gurah mengalami tingkat reforestasi tertinggi selama periode ini. Daerah yang berwarna hijau muda menunjukkan perubahan tutupan lahan dari non-hutan (seperti lahan terbuka dan semak belukar) menjadi lahan berhutan, yang merupakan representasi dari laju reforestasi.

3.5. Uji Akurasi

Untuk memastikan keakuratan interpretasi citra satelit, maka hasil klasifikasi dinilai keakuratannya. Tabel di bawah ini mengacu pada berbagai kategori akurasi Kappa seperti yang dikemukakan oleh Viera dan Garrett (2005).

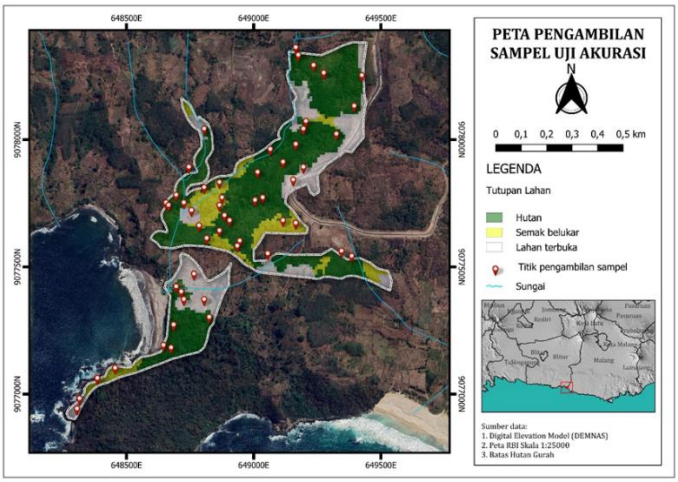
Tabel 8. Kategori Akurasi Kappa

Nilai Kappa	Agreement
< 0	Less than change agreement
0.01 – 0.20	Slight agreement
0.21 – 0.40	Fair agreement
0.41 – 0.60	Moderate agreement
0.61 – 0.80	Substantial agreement
0.81 – 0.99	Almost perfect agreement

Sumber: Viera dan Garret, 2005

Pada proses uji akurasi ini dilakukan pada software ArcGIS 10.8 dengan memanfaatkan tools yang tersedia yakni menggunakan tools *Create Accuracy Assessment Point* yang digunakan untuk membuat titik-titik dalam pengambilan sampel uji akurasi tersebut. Dalam tools tersebut peneliti menggunakan jenis sampling berupa *Stratified Random Sampling* dengan jumlah titik sampel sebanyak 53 titik yang tersebar disetiap kelas tutupan lahan. *Stratified Random Sampling* digunakan karena metode ini mampu memastikan bahwa setiap jenis tutupan lahan seperti hutan, semak belukar, dan lahan terbuka terwakili dalam sampel sesuai dengan proporsinya. Hal tersebut penting karena tutupan lahan memiliki keragaman yang tinggi sehingga stratifikasi membantu dalam mengakomodasi heterogenitas tersebut dengan membagi populasi menjadi strata berdasarkan jenis

tutupan lahan dan memprioritaskan strata yang signifikan atau memiliki luas lebih besar. Apabila penelitian ini hanya menggunakan metode *Random Sampling* di kawasan yang didominasi tutupan lahan berupa hutan, maka lahan dengan luas kecil seperti lahan terbuka dapat terlewatkan sehingga metode *Stratified Random Sampling* membantu untuk mencegah hal tersebut dengan menetapkan jumlah sampel khusus sesuai dengan strata yang ada.



Gambar 8. Peta Pengambilan Sampel Uji Akurasi

Lokasi sampel yang digunakan dalam penyelidikan ini tersebar merata di seluruh kelas tutupan lahan yang terdapat di kawasan Hutan Gurah, seperti yang terlihat pada Gambar 8. Penyebaran ini bertujuan untuk memastikan representasi yang akurat dari setiap jenis tutupan lahan dalam proses analisis. Secara rinci, kelas tutupan lahan berupa hutan memiliki total 34 titik sampel, yang mencakup area dengan vegetasi rapat hingga sedang. Untuk kelas tutupan lahan berupa semak belukar, terdapat 9 titik sampel yang diambil. Sementara itu, kelas tutupan lahan berupa lahan terbuka memiliki 10 titik sampel sehingga total keseluruhan titik sampel yang digunakan berjumlah 53 titik sampel.

Data ini selanjutnya digunakan sebagai bahan validasi dalam proses analisis spasial. Membandingkan kondisi lapangan di lokasi sampel dengan hasil kategorisasi yang diperoleh dari citra Sentinel-2 adalah cara validasi dilakukan. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa klasifikasi tutupan lahan yang dihasilkan sesuai dengan kondisi aktual yang terdeteksi pada citra satelit. Validasi ini juga menjadi langkah penting dalam meningkatkan akurasi hasil pemetaan serta memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang perubahan tutupan lahan di kawasan Hutan Gurah.

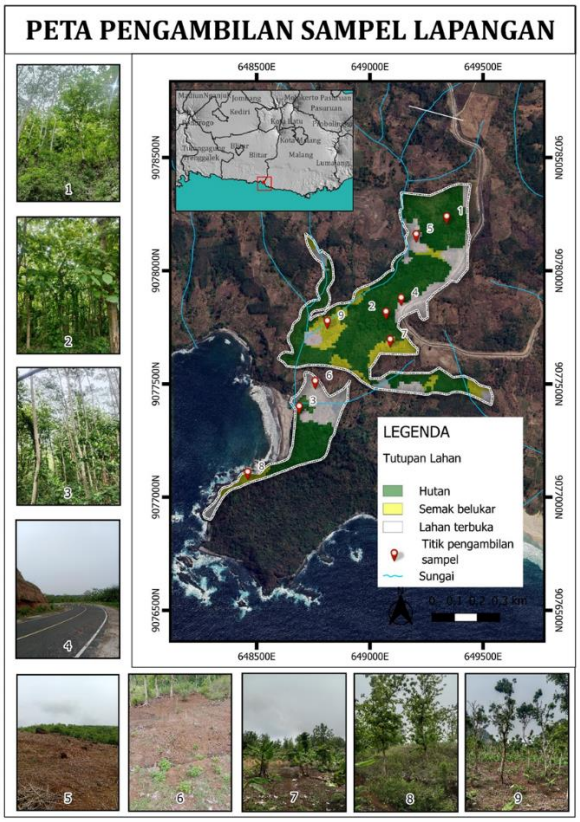
Tabel 9. Matriks Accuracy

OID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	Total	U_Accuracy	Kappa
HUTAN	C_1	32	0	0	32	1	0
SEMAK BELUKAR	C_2	2	8	0	10	0,8	0
LAHAN TERBUKA	C_3	0	1	10	11	0,909091	0
	Total	**34**	**9**	**10**	**53**	**0**	**0**
	P_Accuracy	**0,941176**	**0,888889**	**1**	**0**	**0,943396**	**0**
	Kappa	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,895464**

Kelas tutupan lahan yang tergolong lahan hutan mempunyai nilai *producer's accuracy* sebesar 0,941176 sesuai matriks pada Tabel 10. Kelas tutupan lahan yang ditetapkan sebagai lahan terbuka mempunyai nilai *producer's accuracy* tertinggi yaitu 1, sedangkan Kelas tutupan lahan yang diperuntukkan sebagai semak belukar memiliki nilai terendah yaitu sebesar 0,888889. Hal tersebut disebabkan oleh adanya tutupan lahan yang terklasifikasi ke kelas-kelas tutupan lainnya yang diakibatkan karena kurang tajamnya penglihatan pada saat penginterpretasian citra satelit. Dengan nilai 1, kelas hutan mempunyai nilai akurasi pengguna paling besar untuk kelas tutupan lahan. Sedangkan kelas semak belukar memiliki akurasi pengguna yang paling rendah (0,8). Sedangkan nilai akurasi pengguna untuk kelas tutupan lahan terbuka sebesar 0,909091.

Overall accuracy (akurasi keseluruhan) dihitung dengan membagi persentase piksel yang diklasifikasikan dengan benar dengan jumlah total piksel yang digunakan, termasuk piksel sepanjang diagonal matriks dalam kaitannya dengan jumlah total piksel. Di sisi lain, persentase akurasi yang memperhitungkan setiap elemen dalam matriks disebut akurasi Kappa. Perhitungan akurasi keseluruhan adalah 0,943396, sedangkan akurasi Kappa adalah 0,895464. *Overall accuracy* merupakan suatu persentase jumlah piksel yang dikelaskan secara benar dan kemudian dibagi dengan jumlah yang digunakan. Sedangkan untuk *Kappa accuracy* merupakan persentase akurasi yang menggunakan semua elemen dalam matriks. Untuk itu, *overall accuracy* dianggap terlalu *over estimate* dan jarang digunakan sebagai indikator yang baik dalam mengukur kesusksesan klasifikasi karena hanya menggunakan piksel-piksel yang terletak pada diagonal suatu matriks kontingensi.

Menurut klasifikasi temuan uji akurasi Viera dan Garrett (2005), tingkat akurasi kappa pada penelitian ini berada pada kelompok *"Almost Perfect Agreement"*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil klasifikasi dianggap memiliki kesepakatan yang hampir sempurna dengan data referensi serta menunjukkan metode klasifikasi yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang akurat dan hasilnya dapat dipercaya.



Gambar 9. Peta Pengambilan Sampel Lapangan

Berdasarkan hasil *groundcheck* atau pengambilan sampel di lapangan (Gambar 9), peneliti menggunakan total sembilan titik pengambilan sampel dengan rincian tiga titik di setiap kelas tutupan lahan di kawasan Hutan Gurah. Hasil *groundcheck* menunjukkan bahwa tutupan lahan di kawasan Hutan Gurah didominasi oleh hutan dengan vegetasi rapat hingga sedang. Jenis tanaman yang mendominasi adalah jati, mahoni, dan akasia, yang juga dimanfaatkan sebagai hutan produksi.

Untuk kelas tutupan lahan berupa semak belukar, hasil *groundcheck* menunjukkan bahwa area tersebut merupakan lahan bekas hutan atau lahan kosong yang dimanfaatkan sebagai ladang. Lahan ini ditanami pohon pisang atau dibiarkan ditumbuhi oleh vegetasi liar. Sementara itu, kelas tutupan lahan terbuka terdiri dari lahan yang dibuka untuk keperluan infrastruktur jalan dan pembukaan lahan pertanian. Karena kawasan Hutan Gurah merupakan bagian dari proyek pembangunan Jalan Pantai Selatan (JLS), maka sebagian lahan telah disisihkan untuk kebutuhan infrastruktur jalan tersebut. Untuk sisanya sendiri merupakan lahan terbuka yang digunakan untuk keperluan pembukaan lahan pertanian.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode klasifikasi OBIA memiliki tingkat akurasi tinggi yang masuk dalam kategori *Almost Perfect Agreement*, sehingga hasilnya dapat dipercaya. Perubahan tutupan lahan di Hutan Gurah menunjukkan pola fluktuatif, dengan perubahan paling signifikan terjadi pada tahun 2018 dan 2022; luas kelas tutupan lahan berupa hutan mencapai puncaknya pada tahun 2022, sedangkan luas terendah tercatat pada tahun 2018. Kelas tutupan lahan semak belukar dan lahan terbuka juga mengalami perubahan signifikan, dengan luas terbesar pada tahun 2018 dan terkecil pada tahun 2022. Laju deforestasi terbesar terjadi pada periode 2016–2018, dengan konversi hutan menjadi non-hutan seluas 15,8 hektar, sementara reforestasi terbesar terjadi pada tahun 2020–2022 dengan konversi lahan non-hutan menjadi hutan seluas 12,9 hektar.

Daftar Rujukan

Arief, A. (2001). *Hutan dan kehutanan*. Kanisius.

Arif, N., & Wahyuni, F. S. (2016). Penggunaan metode machine learning untuk pengenalan pola tutupan lahan pada citra satelit. *SEMNASTEKNOMEDIA Online, 4*(1), 1–2.

Awaliyan, R., & Sulistyoadi, Y. B. (2018). Klasifikasi penutupan lahan pada citra satelit Sentinel-2A dengan metode tree algorithm. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis, 2*(2), 98–104.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2014). *Indeks risiko bencana Indonesia (IRBI) 2013*. Direktorat Pengurangan Risiko Bencana, Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan.

Bashit, N. (2019). Analisis lahan kritis berdasarkan kerapatan tajuk pohon menggunakan citra Sentinel 2. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika, 2*(1), 71–79.

Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65*(1), 2–16.

Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science, 320*(5882), 1458–1460.

Garnadi, D. (2004). *Pengetahuan, sikap, dan tindakan masyarakat sekitar hutan terhadap hutan (Kasus di Hutan Pendidikan dan Pelatihan Kehutanan Kabupaten Majalengka)* [Skripsi/tesis tidak dipublikasikan, institusi].

Gifari, O. I., Kusrini, K., & Yuana, K. A. (2023). Analisis perubahan tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing pada data citra penginderaan jauh Kota Samarinda, Kalimantan Timur. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer, 18*(2), 71–77.

Hakim, N. I. A., Sabri, L. M., & Sukmono, A. (2019). Kajian akurasi citra satelit WorldView 4 pada pembuatan peta dasar pendaftaran tanah. *Jurnal Geodesi Undip, 8*(1), 308–317.

Jamil, D. H. (2013). Deteksi potensi kekeringan berbasis penginderaan jauh dan sistem informasi geografis di Kabupaten Klaten. *Geo-Image Journal, 2*(2).

Jaya, I. N. S. (2002). *Penginderaan jauh satelit untuk kehutanan*. Laboratorium Inventarisasi Hutan, Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.

Kamilia, I., & Nawiyanto, N. (2015). Kerusakan hutan dan munculnya gerakan konservasi di lereng Gunung Lamongan, Klakah 1999–2013 [Deforestation and rise of environmental movement at slope of Mount Lamongan, Klakah 1999–2013]. *Publika Budaya, 3*(1), 72–85.

Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Analisis spasial perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batugantong, Kota Ambon. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 10*(1), 149–155.

Li, L., Zhu, A., Huang, L., Wang, Q., Chen, Y., Ooi, M. C. G., … Chan, A. (2022). Modeling the impacts of land use/land cover change on meteorology and air quality during 2000–2018 in the Yangtze River Delta region, China. *Science of the Total Environment, 829*, Article 154669.

Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1994). *Penginderaan jauh dan interpretasi citra*. Gadjah Mada University Press.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.

Mirza, I. N., & Irwanto, R. T. (2015). Evaluasi reforestasi di kawasan konservasi Taman Buru Gunung Masigit Kareumbi, Sumedang. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia, 1*(7), 1615–1621.

Mustafa, F., & Marsoyo, A. (2020). Tipologi peran stakeholder dalam mendukung reforestasi di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Planoearth, 5*(1), 35–44.

Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment, 115*(5), 1145–1161.

Nandika, D. (2005). *Hutan bagi ketahanan nasional*. Muhammadiyah University Press.

Niagara, Y., Ernawati, & Purwandari, E. P. (2020). Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk pemetaan klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode unsupervised k-means berbasis web GIS (Studi kasus Sub-DAS Bengkulu Hilir). *Rekursif: Jurnal Informatika, 8*(1), 100–110.

Novitasari, N. W., Nugraha, A. L., & Suprayogi, A. (2015). Pemetaan multi hazards berbasis sistem informasi geografis di Kabupaten Demak Jawa Tengah. *Jurnal Geodesi Undip, 4*(4), 181–190.

Nugroho, J., & Herawatiningsih, R. (2016). Analisa perubahan penutupan lahan pada kawasan hutan lindung Gunung Naning Kabupaten Sekadau Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari, 4*(4).

Nugroho, U. C., Kushardono, D., & Dewi, E. K. (2019). Identifikasi kawasan pertambangan timah menggunakan data satelit Sentinel-1 dengan metode object based image analysis (OBIA). *Jurnal Ilmu Lingkungan, 17*(1), 140–148.

Oktaviani, N., & Kusuma, H. A. (2017). Pengenalan citra satelit Sentinel-2 untuk pemetaan kelautan. *Oseana, 42*(3), 40–55.

Prasetyo, L. B., & Setiawan, Y. (n.d.). *Model spasial potensi deforestasi 2020 & 2024 dan pendekatan pencegahannya, Kabupaten Kutai Barat* [Disertasi, Institut Pertanian Bogor].

Putri, E. S., Sari, A. W., Karim, R. A., Somantri, L., & Ridwana, R. (2021). Pemanfaatan citra Sentinel-2 untuk analisis vegetasi di wilayah Gunung Manglayang. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha, 9*(2), 133–143.

Putri, R., & Jaelani, L. M. (2017). *Analisis perubahan tutupan lahan Daerah Aliran Sungai Rawapening dengan Sentinel-1A tahun 2015–2016* [Tugas akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].

Rahmawaty. (2004). *Hutan: Fungsi dan peranannya bagi masyarakat*. Program Ilmu Kehutanan, Universitas Sumatera Utara. http://www.repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/.../hutanrahmawaty6.pdf

Rivansyah, M. R. (2022). *Analisis perubahan tutupan lahan hutan dengan metode OBIA (object-based image analysis) di Kesatuan Pengelolaan Hutan Batutegi, Provinsi Lampung* [Skripsi, institusi].

Sampurno, R. M., & Thoriq, A. (2016). Klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) di Kabupaten Sumedang [Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) data in Sumedang Regency]. *Jurnal Teknotan, 10*(2).

Saputra, R., Gaol, J. L., & Agus, S. B. (2021). Studi perubahan tutupan lahan mangrove berbasis objek (OBIA) menggunakan citra satelit di Pulau Dompak Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 13*(1), 39–55.

Sunderlin, W. D., & Resosudarmo, I. A. P. (1997). *Laju dan penyebab deforestasi di Indonesia: Penelaahan kerancuan dan penyelesaiannya*. Center for International Forestry Research.

Suwargana, N. (2010). Analisis perubahan hutan mangrove menggunakan data penginderaan jauh di Pantai Bahagia, Muara Gembong, Bekasi. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 5*.

Wibowo, T. S., & Suharyadi, R. (2012). Aplikasi object-based image analysis (OBIA) untuk deteksi perubahan penggunaan lahan menggunakan citra ALOS AVNIR-2. *Jurnal Bumi Indonesia, 1*(3).

Widayani, P. (2018). Aplikasi object-based image analysis untuk identifikasi awal permukiman kumuh menggunakan citra satelit WorldView-2. *Majalah Geografi Indonesia, 32*(2), 162–169.

Widodo, P., & Sidik, A. J. (2020). Perubahan tutupan lahan hutan lindung Gunung Guntur tahun 2014 sampai dengan tahun 2017. *Wanamukti: Jurnal Penelitian Kehutanan, 21*(1), 30–48.

Yakin, A. (2015, Oktober). *Prospek dan tantangan implementasi pasar karbon bagi pengurangan emisi deforestasi dan degradasi hutan di kawasan ASEAN* [Paper presentation]. Seminar Nasional "Optimalisasi Integrasi Menuju Komunitas ASEAN".

Yanuarsyah, I. (2015). Analisis perubahan penggunaan lahan pertanian presisi dengan metode OBIA (Studi kasus di Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor). *Krea-TIF: Jurnal Teknik Informatika, 3*(1).

Yeyen, Muin, S., & Fahrizal. (2018). Persepsi masyarakat terhadap konversi lahan menjadi perkebunan kelapa sawit di Desa Nanga Tayap Kecamatan Nanga Tayap Kabupaten Ketapang. *Hutan Lestari, 6*(4), 742–751.