

ANALISIS PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN CITRA RESOLUSI TINGGI DI KECAMATAN NAGRAK, KABUPATEN SUKABUMI

*(Land Cover Change Analysis Using High-Resolution Imagery in Nagrak Sub-district,
Sukabumi District)*

Syahrul Ramdan^{1,*}, Muhammad Buce Saleh², dan Nining Puspansingsih³

¹Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University,
Lingkar Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia, 16680.

²Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University,
Lingkar Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia, 16680.

³ Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University,
Lingkar Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia, 16680.

* Email: n_puspaningsih@apps.ipb.ac.id

Diterima: 10 Maret 2025, Direvisi : 6 Juni 2025, Disetujui : 16 September 2025

ABSTRACT

Land cover change is a global phenomenon influenced by social, economic, and governmental policy dynamics. Nagrak District, located around Mount Gede Pangrango National Park, has experienced significant changes due to policy shifts and population growth. This study aims to classify land cover classes, compare the classification methods used, and analyze land cover changes from 2017 to 2022. The methods used in this study include visual and digital classification. Visual classification using the on-screen digitizing method produced nine land cover classes with an accuracy of 94%, while digital classification using the random forest algorithm resulted in 89% accuracy. To improve accuracy, the results of both classifications were combined using the identity method, resulting in better and more accurate land cover classes. The analysis results show a positive change of 54,17 ha (0,78%), reflecting an increase in land function from unproductive to productive. Conversely, a negative change of 214,08 ha (3,10%) indicates pressure on land sustainability. This study provides an overview of land use dynamics, which can inform spatial planning and sustainable resource management.

Keywords: *land cover; on-screen digitizing; random forest; SPOT 6/7 imagery*

ABSTRAK

Perubahan penutupan lahan merupakan fenomena global yang dipengaruhi oleh dinamika sosial, ekonomi, dan kebijakan pemerintah. Kecamatan Nagrak yang berada di sekitar Taman Nasional Gunung Gede Pangrango mengalami perubahan signifikan akibat kebijakan dan

peningkatan populasi penduduk. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kelas penutupan lahan, membandingkan metode klasifikasi yang digunakan, serta menganalisis perubahan penutupan lahan dari tahun 2017 hingga 2022. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi klasifikasi visual dan digital. Klasifikasi visual dengan metode on-screen digitizing menghasilkan sembilan kelas penutupan lahan dengan akurasi sebesar 94%, sementara klasifikasi digital menggunakan algoritma random forest menghasilkan akurasi yang lebih rendah, yaitu 89%. Untuk meningkatkan akurasi, hasil dari kedua klasifikasi tersebut digabungkan menggunakan metode *identity*, sehingga diperoleh kelas penutupan lahan yang lebih baik dan akurat. Hasil analisis menunjukkan perubahan positif seluas 54,17 ha (0,78%), yang mencerminkan peningkatan fungsi lahan dari tidak produktif menjadi produktif. Sementara itu, perubahan negatif seluas 214,08 ha (3,10%) mengindikasikan adanya tekanan terhadap keberlanjutan lahan. Penelitian ini memberikan gambaran dinamika penggunaan lahan yang dapat menjadi acuan perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan.

Kata kunci: penutupan lahan; digitasi on-screen; random forest; citra SPOT 6/7

I. PENDAHULUAN

Perubahan penutupan lahan dan penggunaan lahan merupakan suatu fenomena yang menjadi isu global. Penutupan lahan menggambarkan bagaimana permukaan bumi terlihat secara fisik, seperti distribusi tanaman, air, dan tanah (Rawat & Kumar, 2015). Menurut Fauzi *et al.* (2016), perubahan penutupan lahan dapat disebabkan faktor alami dan atau manusia. Faktor alami mencakup peristiwa seperti tanah longsor, letusan gunung berapi, banjir, kebakaran hutan, dan erosi, sedangkan faktor yang disebabkan oleh aktivitas manusia antara lain penebangan ilegal, perambahan lahan, dan pembakaran hutan yang disengaja. Tuakora *et al.* (2022) menambahkan bahwa penyebab perubahan penutupan lahan juga diakibatkan oleh pertambahan populasi dan kebijakan pemerintah.

Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP) merupakan salah satu kawasan yang telah mengalami perubahan

penutupan lahan. Perubahan tersebut antara lain terjadi akibat kebijakan pemerintah melalui keputusan Menteri Kehutanan No. 174/Kpts II/2003 tentang penetapan perluasan kawasan Taman Nasional dari 15.196 hektar menjadi 21.975 hektar (BBNTGP, 2022). Menurut Zulfikar & Nasdian (2018), area yang diperluas sebelumnya adalah hutan produksi yang dikelola oleh masyarakat setempat atas izin dari Perum Perhutani, namun sebagian besar kawasan telah mengalami degradasi dan deforestasi akibat perambahan hutan oleh masyarakat untuk keperluan pertanian.

Perluasan kawasan TNGGP salah satunya berada di Kecamatan Nagrak, Kabupaten Sukabumi. Perluasan ini telah berlangsung sejak tahun 2008 hingga 2018 melalui program pemulihan ekosistem bersama masyarakat dan bekerjasama dengan *Conservation International* dan *Daikin Industries* (Ario *et al.*, 2021). Perubahan penggunaan lahan di kawasan ini didorong oleh dua faktor utama, yaitu

kebijakan pemulihan ekosistem dan peningkatan jumlah penduduk. Berdasarkan data BPS (2023), kepadatan penduduk di Kecamatan Nagrak tahun 2017 berjumlah 82.974 juta jiwa, sementara tahun 2022 kepadatan penduduk berjumlah 92.757 juta jiwa. Dengan adanya program pemulihan ekosistem di wilayah TNGGP dan jumlah penduduk yang semakin meningkat di Kecamatan Nagrak, perlu dilakukan monitoring terhadap dinamika perubahan penggunaan lahan. Monitoring perubahan penutupan lahan dilakukan pada seluruh Kecamatan Nagrak termasuk wilayah TNGGP yang masuk ke dalam zonasi rehabilitasi dan berada di wilayah administrasi Kecamatan.

Teknologi penginderaan jauh menjadi sarana yang efektif untuk mengidentifikasi arah perubahan penutupan lahan karena kemampuannya dalam menyediakan data yang cepat, luas, akurat, dan mudah diakses (Chen, 2023; Wang *et al.*, 2017). Teknologi ini merupakan alat penting dalam membangun basis data yang dapat mendukung perencanaan dalam melakukan evaluasi dan monitoring kawasan secara lebih efisien. Penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh menggunakan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lasmi *et al.*, 2015). Contohnya adalah citra satelit. Salah satu citra beresolusi tinggi dan mudah didapat yaitu citra SPOT. Dalam penelitian ini, citra SPOT yang digunakan yaitu SPOT-6 dan citra SPOT-7 yang memiliki dua mode yaitu pankromatik dan

multispektral. Mode pankromatik terdapat 1 band yang memiliki resolusi spasial 1,5 m dan mode multispektral terdapat 4 band dengan resolusi spasial 6 m.

Penelitian ini menggunakan analisis secara visual dan digital. Klasifikasi digital adalah proses pengambilan informasi yang melibatkan mesin melalui penerapan teori pengenalan pola pada citra multispektral, dimana klasifikasi didasarkan pada piksel-piksel dengan karakteristik spektral yang serupa, sehingga memungkinkan pembagian berdasarkan kelas (Fitriawan, 2020). Seiring perkembangannya, teknik klasifikasi digital mulai beralih ke metode berbasis objek, yang memanfaatkan tiga parameter utama untuk memisahkan objek, yaitu skala, bentuk, dan kekompakan (Purwanto & Lukiawan, 2019). Salah satu metode klasifikasi digital yang bersifat *supervised* adalah *algorithm random forest*. *Algorithm random forest* ini merupakan salah satu yang paling banyak digunakan untuk tugas klasifikasi dan regresi (Azhari *et al.*, 2021). *Random forest* terdiri dari kumpulan *decision tree* atau pohon keputusan, yang menggunakan sedikit parameter namun memberikan hasil yang akurat.

Klasifikasi menggunakan *random forest* diterapkan untuk mengatasi keterbatasan klasifikasi visual, karena *random forest* memiliki keunggulan dalam pemisahan objek dari hasil digital number yang akurat dan presisi, termasuk untuk objek kecil. Selain itu, teknik ini juga menawarkan kecepatan dalam proses pengerjaan (Teluguntla *et al.*, 2018). Hal tersebut dilakukan untuk memperoleh hasil perubahan penutupan lahan yang lebih akurat. Tujuan penelitian ini melakukan

klasifikasi kelas penutupan lahan, menganalisis perbandingan metode klasifikasi visual dan digital dalam perubahan penutupan lahan, dan menganalisis perubahan penutupan lahan. Data citra yang digunakan merupakan citra SPOT-7 tahun 2017 dan SPOT-6 tahun 2022 yang sudah dilakukan *pansharpening*.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan bulan Desember 2023 sampai April 2024 di Kecamatan Nagrak Kabupaten Sukabumi (Gambar 1). Kecamatan Nagrak secara geografis terletak antara $6^{\circ}46'41,153''$ – $6^{\circ}53'27,416''$ Lintang Selatan dan $106^{\circ}46'34,975''$ – $106^{\circ}55'44,760''$ Bujur Timur. Pengolahan citra dilakukan di laboratorium *Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS)*, Departemen Manajemen Hutan, Institut Pertanian Bogor.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu data spasial berupa citra SPOT-7 tahun 2017 dan citra SPOT-6 tahun 2022, serta peta batas administrasi. Sementara alat yang digunakan pada pengolahan data berupa *hardware* dan *software*. *Software* terdiri dari *ArcGIS 10.8*, *Google Earth Pro*, *Microsoft Excel*, dan *Microsoft Word*. Alat yang digunakan untuk pengambilan data lapangan yaitu alat tulis, kamera *handphone* untuk dokumentasi, dan *Avenza Maps*. Selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

C. Metode Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahapan diantaranya: (1) Pra-pengolahan citra, (2)

Ground check, (3) Analisis data, dan (4) Analisis perubahan penutupan lahan. Proses pra-pengolahan citra terbagi kedalam empat tahap, yaitu: *mosaicking*, *pansharpening*, *Geographic transformation*, dan *cropping*. Pengolahan data dilakukan secara visual dengan *on-screen digitizing* dan digital melalui *algorithm random forest*. Pada analisis perubahan penutupan lahan hasil dari kedua metode dilakukan *overlay* untuk memperoleh perubahan penutupan lahan yang lebih baik (Suni *et al.*, 2023; Rakuasa, 2022). Gambar 2 menunjukkan prosedur penelitian.

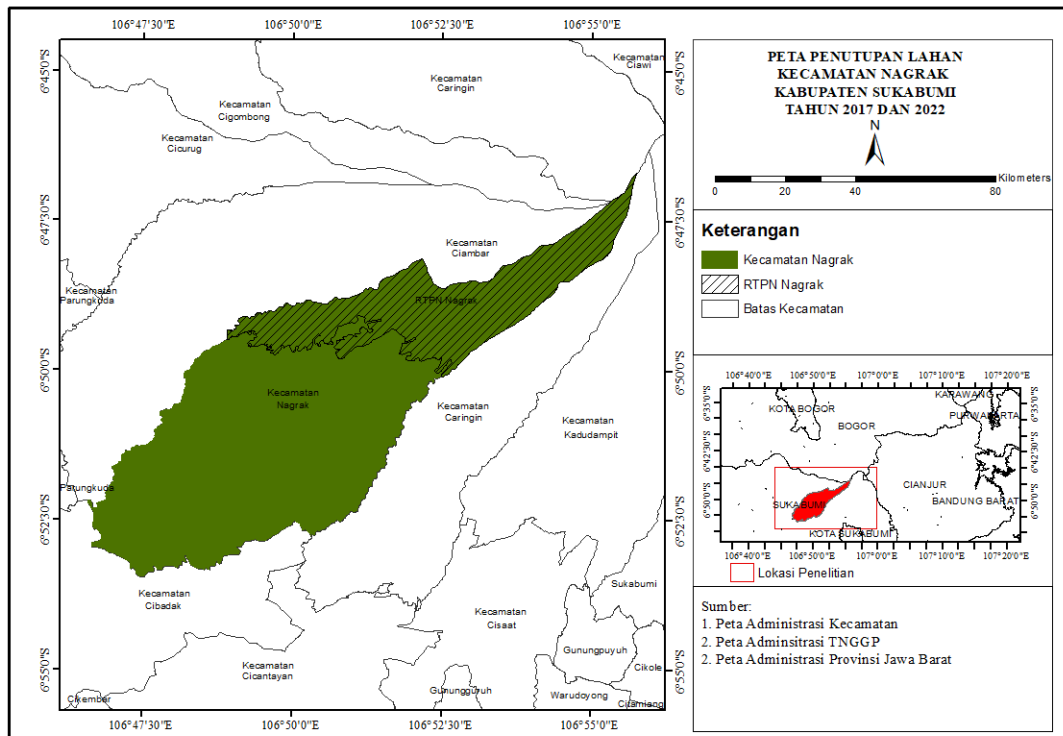
1. Pra-pengolahan Citra

a) *Mosaicking*

Mosaicking dilakukan untuk menggabungkan beberapa gambar atau citra menjadi gambar komposit tunggal. *Mosaicking* bertujuan untuk membentuk peta visual dari area penelitian secara keseluruhan (Hassan & Mossa, 2021). Citra tahun 2017 dan 2022 yang diperoleh dari BRIN merupakan citra yang masih terpisah antar *scene* sehingga perlu dilakukan *mosaicking* untuk menghasilkan satu citra tunggal.

b) *Geographic transformation*

Geographic transformation dilakukan untuk mengkonversi proyeksi spasial atau sistem koordinat tanpa melakukan perubahan pada bentuk atau posisi relatif piksel dalam citra. Citra SPOT 6 dan 7 yang diperoleh dari BRIN merupakan citra dengan koordinat geografis sehingga perlu disesuaikan menjadi koordinat UTM. Kecamatan Nagrak, Kabupaten Sukabumi masuk ke dalam zona 48 S dan datum WGS 84.



Gambar (Figure) 1. Area penelitian (Research area)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Tabel (Table) 1. Jenis data dan sumber data penelitian (Type and source of research data)

No	Jenis Data (Data type)	Sumber Data (Data source)
1	Dokumentasi kelas penutupan lahan	Ground check lapangan
2	Titik koordinat uji akurasi	Ground check lapangan
3	Peta batas administrasi kecamatan	Badan Informasi Geospasial (BIG)
4	Peta batas TNGGP	Balai Taman Nasional Gunung Gede Pangrango
5	Citra SPOT 7 tahun 2017	Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
6	Citra SPOT 6 tahun 2022	Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

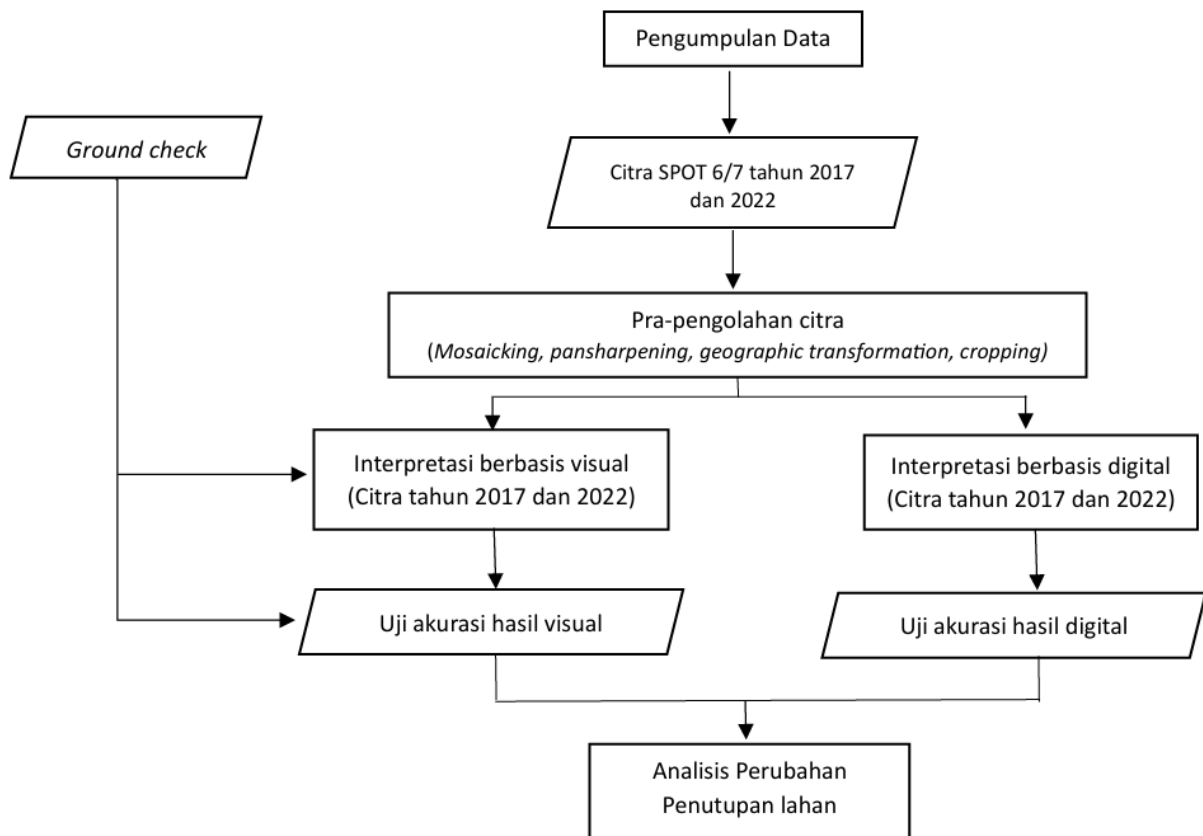
c) *Pansharpening*

Pansharpening adalah metode untuk meningkatkan ketajaman kenampakan objek pada citra untuk keperluan analisis visual. Proses ini melibatkan penggabungan citra multispektral yang memiliki keunggulan dalam resolusi spektral dengan citra pankromatik yang menawarkan resolusi spasial lebih tinggi. Hasil penggabungan kedua jenis citra ini menghasilkan citra baru dengan resolusi

spasial setara dengan citra pankromatik namun tetap mempertahankan visualisasi warna dari citra multispektral (Chen, 2023; Wang *et al.*, 2017).

d) *Cropping*

Cropping dilakukan pada daerah penelitian yaitu di Kecamatan Nagrak, Kabupaten Sukabumi. Pemotongan citra bertujuan untuk memfokuskan dan memperkecil daerah yang dikaji sesuai dengan lokasi penelitian.



Gambar (Figure) 2. Prosedur penelitian (research procedures)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

2. Ground check

Ground check merupakan kegiatan seseorang dalam pemetaan untuk mengetahui perbedaan kondisi antara di peta atau foto udara dengan kondisi di lapangan (Hazazi *et al.*, 2019). Pengecekan lapangan ini berguna untuk memverifikasi dan memvalidasi hasil klasifikasi agar sesuai dengan keadaan aktual di lapangan. Pengambilan data lapangan dilakukan secara langsung menggunakan metode *purposive sampling*, mencakup dokumentasi dan pengukuran koordinat menggunakan aplikasi Avenza Maps. Sebanyak 76 titik *ground check* diambil dan tersebar pada setiap kelas tutupan lahan. Titik-titik ini digunakan untuk uji akurasi interpretasi berbasis visual, karena berasal langsung dari hasil

pengamatan lapangan. Sementara itu, untuk uji akurasi interpretasi berbasis digital, digunakan 178 titik acak yang dibuat pada peta hasil klasifikasi. Dari jumlah tersebut, 78 titik merupakan data lapangan hasil *ground check*, sedangkan sisanya merupakan dari data citra.

3. Analisis data

Analisis data yang dilakukan merupakan klasifikasi citra untuk mendapatkan peta penutupan lahan tahun 2017 dan 2022. Proses Klasifikasi citra menggunakan interpretasi secara visual dan digital.

a) Interpretasi berbasis visual

Interpretasi berbasis visual dilakukan berdasarkan penyusunan atau pengelompokan piksel dengan ciri obyek secara spasial (Sampurno & Thoriq, 2016).

Analisis berbasis visual dilakukan dengan membuat deliniasi untuk membuat batas kelas setiap penutupan lahan berdasarkan sifat fisik yang tampak dari citra. Pembuatan tiap kelas penutupan lahan dilakukan dengan metode *on-screen digitizing* dengan bantuan elemen interpretasi yaitu bentuk, warna, pola, ukuran, bayangan, asosiasi, tekstur, dan lokasi (Saleem *et al.*, 2021). Hasil dari klasifikasi visual ini kemudian diuji akurasi menggunakan 76 titik *ground check* yang diperoleh langsung dari survei lapangan, dan tidak digunakan dalam proses deliniasi.

Penentuan kelas penutupan lahan mengacu pada dokumen Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2010 dengan skala peta 1:25.000. Hal ini dilakukan agar sejalan dengan TNGGP yang sedang memperbaiki klasifikasi penutupan lahan dari yang awalnya menggunakan dokumen petunjuk teknis penafsiran citra dari KLHK menjadi SNI 7645:2010. Selain itu, penggunaan SNI 7645:2010 dianggap sudah cukup memadai untuk mengidentifikasi kelas penutupan lahan di Kecamatan Nagrak karena tidak memerlukan pendetailan lebih lanjut, seperti pendetailan pada jenis tanaman dalam klasifikasi penutupan hutan maupun lahan pertanian (BSN, 2010).

b) Interpretasi berbasis digital

Interpretasi berbasis digital menggunakan metode *random forest*. *Random forest* merupakan klasifikasi dan *clustering* berdasarkan *ensemble* dari pohon keputusan (*Decision tree*) (Breiman,

2001). Data latih (*training sample*) ditentukan berdasarkan hasil verifikasi lapangan (*ground check*) dan interpretasi visual terhadap citra resolusi tinggi. Penentuan kelas penutupan lahan mengacu pada kondisi aktual di lapangan. Sebanyak 178 titik digunakan sebagai data latih dalam proses klasifikasi yang dilakukan melalui fitur *Train Random Trees* pada perangkat lunak *ArcGIS 10.8*, dengan parameter *default* berupa jumlah pohon maksimum sebanyak 50, kedalaman maksimum pohon 30, dan jumlah maksimum sampel per kelas sebanyak 1000.

Evaluasi akurasi klasifikasi dilakukan menggunakan 76 titik sebagai data uji (*testing sample*). Analisis dilakukan dengan menggunakan matriks kesalahan (*confusion matrix*) untuk memperoleh nilai akurasi, yang mencakup *Overall Accuracy* dan *Kappa Accuracy* sebagai indikator performa model klasifikasi. Dalam proses klasifikasinya, *Random Forest* menggunakan voting dari pohon-pohon yang telah dibentuk, dimana Keputusan yang paling banyak dipilih akan menjadi hasil akhir (Rosyani *et al.*, 2021).

Pengujian akurasi menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* merupakan sebuah tabel yang digunakan untuk melakukan perbandingan antara kondisi lapangan dengan hasil klasifikasi (Romadloni *et al.*, 2022). Uji akurasi dilakukan hanya pada citra 2022 dengan hasil klasifikasi secara visual maupun digital. Tabel 2 menyajikan model perhitungan uji akurasi.

Tabel (Table) 2. Perhitungan uji akurasi menggunakan matriks kesalahan (*Accuracy test calculation using error matrix*)

Data Referensi (Reference Data)	Kelas Klasifikasi (Classification class)			Jumlah Titik (Number of points)	Akurasi Pembuat (Producer accuracy)
	A	B	C		
A	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₊	X ₁₁ /X ₁₊
B	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₊	X ₁₂ /X ₂₊
C	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₊	X ₁₃ /X ₃₊
Total Titik	X ₊₁	X ₊₂	X ₊₃	N	
Akurasi Pengguna	X ₁₁ /X ₊₁	X ₁₂ /X ₊₂	X ₁₃ /X ₊₃		

Sumber (source): Dwi et al. (2025)

Akurasi yang dapat diperoleh meliputi *user's accuracy*, *producer's accuracy*, *overall accuracy*, dan *kappa accuracy*. Menurut (Dwi et al., 2025), *producer's accuracy* diperoleh dengan membagi jumlah piksel yang terklasifikasi benar dengan total piksel di *training area* untuk setiap kelas. Namun, akurasi ini dapat mengalami kesalahan omisi, sehingga sering disebut sebagai *omission error*. Sebaliknya, *user's accuracy* diperoleh dengan membagi jumlah piksel yang benar dengan total piksel dalam kolom, yang dikenal dengan *commission error*. Secara matematis, perhitungan akurasi dari klasifikasi citra dijelaskan dengan rumus 1, 2, 3, dan 4 (Jensen 2005).

$$User's\ accuracy = \frac{x_{ii}}{x_{+i}} \times 100\% \quad (1)$$

$$Producer's\ accuracy = \frac{x_{ii}}{x_{+i}} \times 100\% \quad (2)$$

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \times 100\% \quad (3)$$

$$Kappa\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^r N x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N \cdot N - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

N = Total Jumlah piksel yang digunakan dalam analisis

R = Banyaknya baris atau kolom pada matriks error

X_{i+} = Jumlah piksel yang terdapat pada baris ke-i

X_{+i} = Jumlah piksel yang terdapat pada kolom ke-i
 X_{ii} = Nilai elemen diagonal dalam matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

4. Analisis Perubahan penutupan lahan

Analisis perubahan penutupan lahan dilakukan pada hasil klasifikasi tahun yang berbeda. Menurut Toure et al. (2018), analisis dilakukan dengan Teknik *overlay* peta hasil klasifikasi dengan menu *intersect* untuk menghasilkan perubahan penutupan lahan. Analisis yang dilakukan pada perubahan penutupan lahan yaitu mengamati perubahan luas pada tiap kelas penutupan lahan dan arah perubahan kelas tersebut sehingga dapat memberikan informasi jelas mengenai perubahan yang terjadi. Perubahan penutupan lahan dibagi menjadi perubahan ke arah positif, negatif, dan tetap.

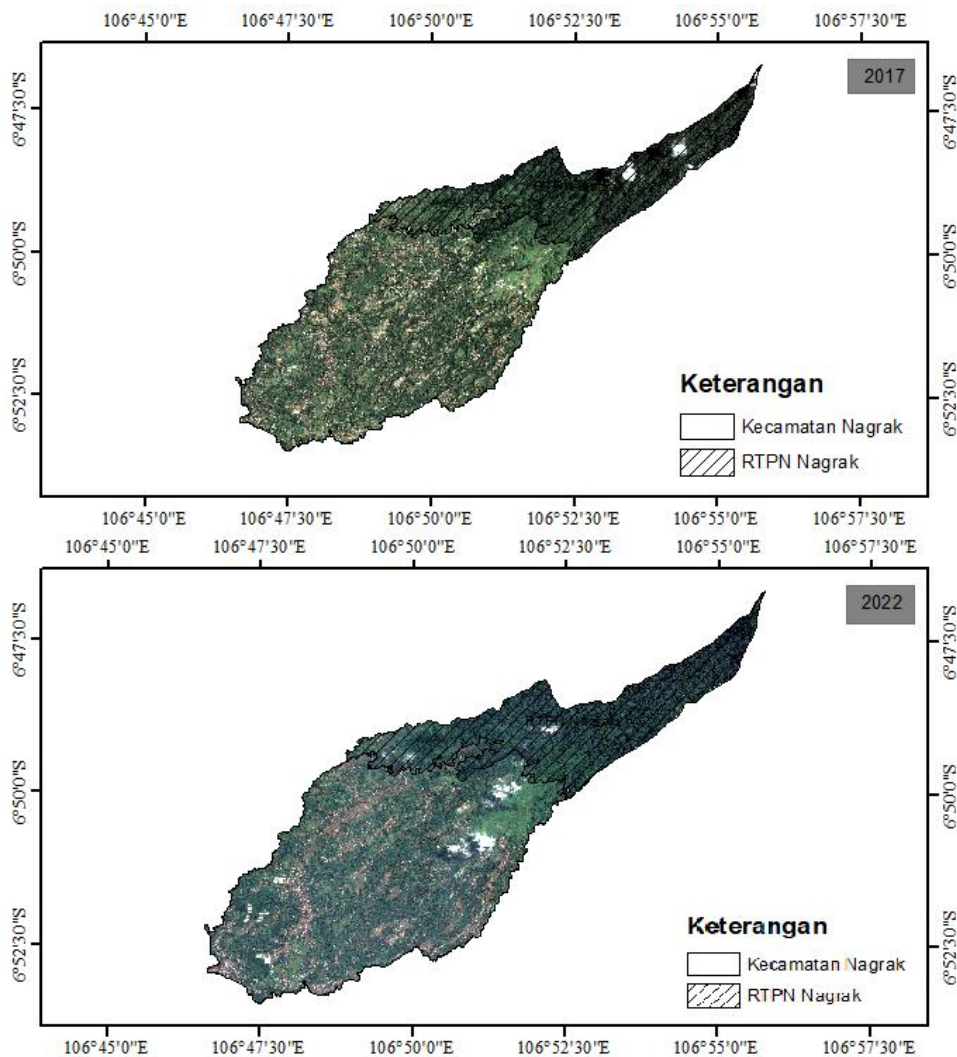
Perubahan penutupan lahan dibagi menjadi tiga arah: positif, negatif, dan tetap. Perubahan dikategorikan sebagai positif apabila perubahan tersebut meningkatkan produktivitas lahan, seperti peningkatan lahan pertanian atau kehutanan. Sebaliknya, perubahan negatif terjadi apabila penggunaan lahan berubah menjadi bentuk yang cenderung menurunkan fungsi ekologis atau produktivitas, misalnya konversi lahan

hutan menjadi lahan terbangun. Namun demikian, perlu dicatat bahwa arah perubahan juga sangat bergantung pada jenis penutup lahannya. Misalnya, penambahan luas pemukiman yang dikategorikan sebagai perubahan positif dari sisi pembangunan, belum tentu berdampak positif terhadap produktivitas lahan secara ekologis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi penutupan lahan menggunakan citra *times series* tahun 2017

dan 2022 dilakukan untuk mengidentifikasi kelas penutupan lahan dan perubahan penutupan lahan pada rentang tahun tersebut. Data citra yang dianalisis merupakan citra yang diperoleh dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang dipilih berdasarkan tingkat penutupan awan yang relatif sedikit. Gambar 3 menunjukkan citra tahun 2017 dan 2022 yang telah dipotong sesuai dengan area penelitian dan disajikan dalam kombinasi band 1-2-3 dengan resolusi 1,5 meter hasil *Pansharpening*.



Gambar (Figure) 3. Citra SPOT 6/7 tahun 2017 dan 2022 (SPOT 6/7 imagery in 2017 and 2022)
Sumber (Source): Badan Riset dan Inovasi Nasional (National Research and Innovation Agency)

A. Karakteristik Penutupan Lahan di Lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan untuk memverifikasi kondisi penutupan lahan secara langsung, yaitu mencocokkan informasi citra dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Selain itu, pengamatan lapangan juga membantu

mengidentifikasi objek penutupan lahan yang mungkin tidak terlihat jelas pada citra, sehingga penentuan kelas penutupan lahan tetap akurat. Dari hasil pengamatan yang dilakukan pada 76 titik yang telah ditentukan, diperoleh empat belas kelas penutupan lahan disajikan pada Tabel 3.

Tabel (Table) 3. Karakteristik penutupan lahan di Kecamatan Nagrak, Kabupaten Sukabumi tahun 2022
(*Land cover characteristics in Nagrak sub-district, Sukabumi district in 2022*)

Jenis Penggunaan Lahan (<i>Land cover type</i>)	Deskripsi Penutupan Lahan (<i>Description of land cover</i>)
Badan air	Daerah yang tergenang oleh air secara alami seperti sungai.
Hutan lahan kering primer	Hutan yang tumbuh di pegunungan, perbukitan, maupun dataran rendah yang masih utuh dan belum terpengaruh oleh intervensi dari manusia.
Hutan sengon	Hamparan lahan berupa hutan tanaman dengan jenis sengon
Hutan bambu	Hamparan lahan berupa hutan tanaman dengan jenis bambu berasosiasi dengan jalan dan permukiman.
Hutan jati	Hamparan lahan hutan dengan tanaman jenis jati
Kebun singkong	Lahan pertanian yang ditanami oleh jenis singkong, menyebar secara luas dan menjadi komoditi utama dalam berladang masyarakat disana.
Kebun kacang	Lahan pertanian yang ditanami oleh jenis kacang-kacangan.
Lahan kosong	Lahan kosong adalah area yang telah mengalami campur tangan manusia, sehingga penutupan lahan alami maupun semi alami tidak lagi terlihat.
Permukiman	Lahan berupa perumahan, bangunan industri, perkantoran, dan peternakan
Sawah	Lahan pertanian yang terdapat delta sungai yang pengairannya dipengaruhi oleh air Sungai dengan tanaman padi.
Padang rumput	Hamparan lahan yang ditutupi oleh berbagai jenis rumput serta pepohonan yang tumbuh tersebar dan tidak rapat bahkan jarang.
Semak belukar	Hamparan yang dipenuhi oleh vegetasi tumbuhan bawah seperti semak, belukar, dan rumput yang tumbuh menyebar.
Lapangan	Areal yang memiliki fungsi sebagai tempat berolahraga.
Pemakaman	Areal yang diperuntukan sebagai lokasi pemakaman jenazah dan berasosiasi dengan semak belukar.






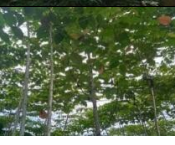






Sumber (*Source*): Hasil pengecekan lapangan yang mengacu pada klasifikasi penutupan lahan berdasarkan SNI 7645:2010. (*the result of ground check referring to land cover classification based on SNI 7645: 2010*)

B. Penutupan Lahan Hasil Klasifikasi Visual

Klasifikasi penutupan lahan secara visual merupakan kegiatan identifikasi objek citra melalui kemampuan interpreter dalam pengenalan objek, interpretasi visual dilakukan dengan menetapkan kriteria visual berdasarkan delapan elemen interpretasi (Silva *et al.*, 2020). Klasifikasi secara visual dibantu dengan delapan elemen interpretasi. Klasifikasi visual dilakukan hanya pada citra tahun 2022, sementara Citra tahun 2017 juga digunakan dalam analisis, namun tidak diklasifikasi secara visual dari awal. Sebagai gantinya, dilakukan pemotongan (*cut*

polygon) terhadap hasil klasifikasi tahun 2022 untuk menyesuaikan batas-batas penutupan lahan tahun 2017. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga konsistensi spasial dan memudahkan perbandingan perubahan penutupan lahan antar tahun. Interpretasi awal dilakukan langsung dari data citra untuk memperoleh gambaran umum kondisi penutupan lahan di lokasi penelitian. Selanjutnya, dilakukan *ground check* untuk memverifikasi hasil interpretasi dan memastikan keakuratannya. Gambar citra saat interpretasi dan foto lapang disajikan pada Tabel 4.

Tabel (Table) 3. Deteksi secara visual jenis penutupan lahan pada citra SPOT 6 kombinasi band 3-2-1 (*Visual recognition of land cover types in SPOT 6 imagery using a 3-2-1 band combination*)

Penutupan Lahan (<i>Land cover</i>)	Gambar Citra (<i>Image</i>)	Foto lapang (<i>field photos</i>)	Karakteristik pada Citra (<i>Characteristics of the image</i>) (Lillesand <i>et al.</i> , 2015)			
			Warna/ rona (<i>Color/ Tone</i>)	Tekstur (<i>Texture</i>)	Pola (<i>Pattern</i>)	Situs/ asosiasi (<i>Site/ association</i>)
Badan air			Biru tua-cokelat muda	Halus	Teratur	
Hutan lahan kering primer			Hijau tua gelap	Kasar	Tidak teratur	Pegunungan
Hutan tanaman			Hijau muda	Sedang	Teratur	Permukiman dan ladang
Ladang			Hijau tua-muda bercampur	Kasar	Tidak teratur	Permukiman dan hutan tanaman
Lahan kosong			Cokelat tua-merah dengan campuran	Halus	Tidak teratur	Semak belukar dan permukiman
Permukiman			Merah muda	Kasar	Teratur	Jalan

Padang rumput			Hijau terang	Halus	Teratur	Perbukitan
Semak belukar			Hijau terang-tua	Kasar	Tidak teratur	Hutan tanaman, ladang, dan permukiman
Sawah			Hijau terang-biru bercampur	Halus	teratur	Ladang dan permukiman

Sumber (Source): Analisis Citra SPOT 6 tahun 2022 (*Analysis of SPOT 6 imagery in 2022*)

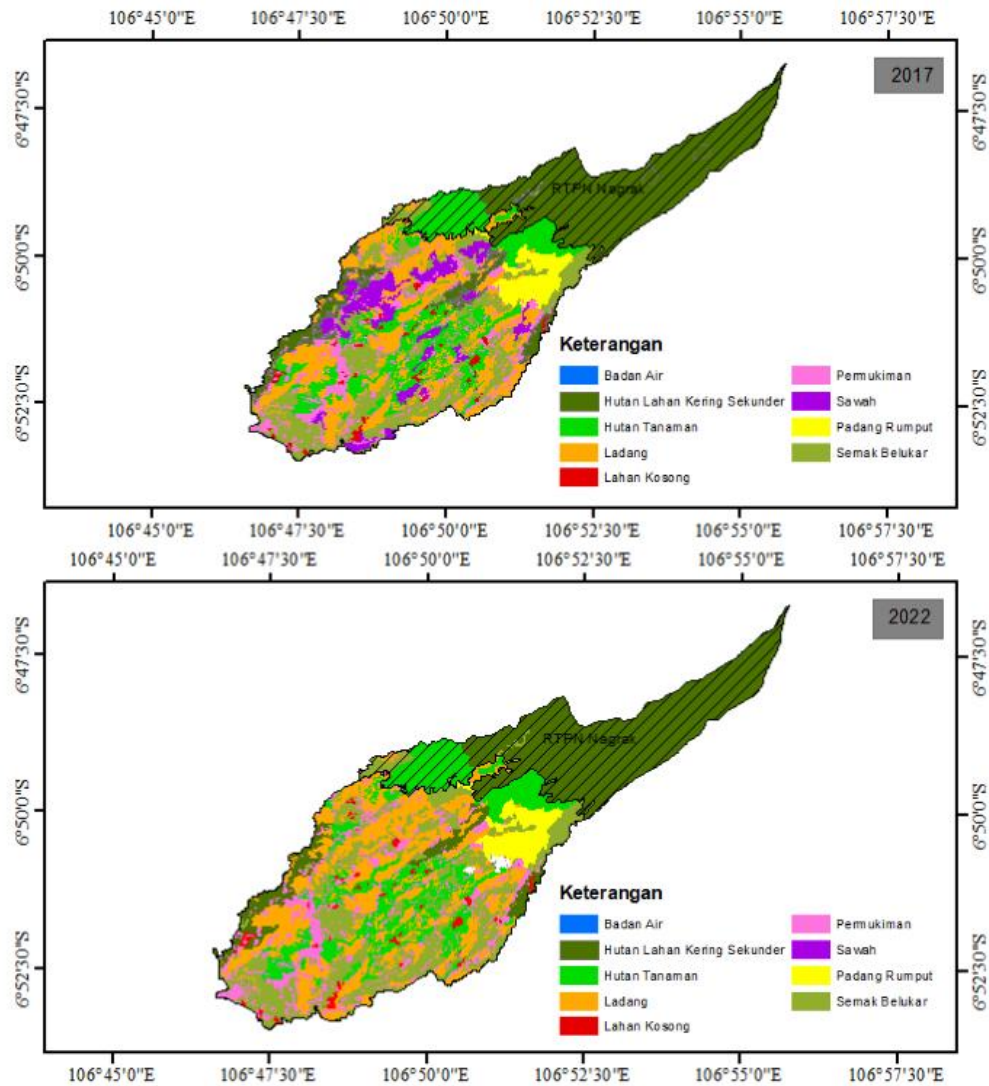
Data *ground check* menghasilkan empat belas jenis penutupan lahan. Namun, berdasarkan interpretasi citra hanya ditemukan sembilan kelas penutupan lahan sehingga dalam membuat kunci penafsiran dilakukan reklasifikasi. Reklasifikasi kelas penutupan lahan tersebut dibuat berdasarkan pertimbangan kemampuan interpreter dalam pengenalan objek berdasarkan elemen interpretasi. Hasil reklasifikasi disajikan pada Tabel 5.

Hasil Klasifikasi visual menggunakan metode *on-screen digitizing* yang sudah dilakukan reklasifikasi pada citra SPOT 6 tahun 2022 dan SPOT 7 tahun 2017 diperoleh sembilan kelas penutupan lahan diantaranya: badan air, hutan lahan kering primer, hutan tanaman, ladang, lahan kosong, permukiman, sawah, padang rumput, dan semak belukar. Gambar 4 menyajikan informasi sebaran spasial penutupan lahan tahun 2017 dan 2022.

Tabel (Table) 4. Reklasifikasi citra secara visual (*Visual image reclassification*)

No	Kelas penutupan lahan hasil <i>ground check</i> (<i>Land cover class from ground check</i>)	No.	Hasil reklasifikasi (<i>Reclassification result</i>)
1	Badan air	1	Badan air
2	Hutan lahan kering primer	2	Hutan lahan kering primer
3	Hutan sengon	3	Hutan tanaman
4	Hutan bambu		
5	Hutan Jati	4	Ladang
6	Kebun singkong		
7	Kebun kacang	5	Lahan kosong
8	Lahan kosong	6	Permukiman
9	Permukiman	7	Sawah
10	Sawah	8	Padang rumput
11	Padang rumput	9	Semak belukar
12	Semak belukar		
13	Lapangan		
14	Pemakaman		

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (*Data analysis 2024*)



Gambar (Figure) 4. Peta penutupan lahan tahun 2017 dan tahun 2022 hasil *on-screen digitizing* (Land cover maps for 2017 and 2022, the result of *on-screen digitizing*)
Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Hasil perhitungan penutupan lahan menggunakan metode *on-screen digitizing* tahun 2017 didominasi oleh hutan lahan kering primer dengan luas 2.701,52 ha atau 39,14%. Pada tahun 2022 hutan lahan kering primer masih mendominasi dengan luasan yang tidak jauh berbeda yaitu 2.675,40 ha atau 38,76%. Sementara, penutupan lahan dengan luas terkecil pada tahun 2017 dan 2022 yaitu badan air sebesar 3,56 ha atau 0,05%. Tidak adanya perubahan luas badan air ini kemungkinan

mencerminkan kondisi aktual di lapangan, dan bukan semata disebabkan oleh kelemahan metode. Namun, perbedaan waktu perekaman citra juga memengaruhi. Citra tahun 2017 diambil pada bulan Maret (musim hujan), sedangkan citra tahun 2022 diambil pada bulan Juli (musim kemarau). Perbedaan musim ini dapat memengaruhi tampilan vegetasi dan aktivitas lahan, terutama pada kelas lahan seperti ladang dan sawah, yang sifatnya musiman. Luasan penutupan lahan disajikan pada Tabel 6.

Tabel (Table) 5. Luas penutupan lahan tahun 2017 dan tahun 2022 berdasarkan hasil analisis visual (*Land cover area in 2017 and 2022 based on the results of visual analysis*)

No.	Penutupan Lahan (<i>Land cover</i>)	Tahun (Year) 2017		Tahun (Year) 2022	
		Luas (Area) (ha)	Proporsi (Proportion) (%)	Luas (Area) (ha)	Proporsi (Proportion) (%)
1	Badan air	3,56	0,05	3,56	0,05
2	Hutan lahan kering primer	2.701,52	39,14	2.675,40	38,76
3	Hutan tanaman	455,33	6,60	469,43	6,80
4	Ladang	1.160,24	16,81	1.386,10	20,08
5	Lahan kosong	86,86	1,26	86,04	1,25
6	Permukiman	619,59	8,98	677,13	9,81
7	Sawah	421,91	6,11	-	0,00
8	Padang rumput	259,09	3,75	249,92	3,62
9	Semak belukar	1.193,98	17,30	1.354,50	19,62
Total		6.902,08	100	6902.08	100

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (*Data analysis 2024*)

Hasil uji akurasi menggunakan *confusion matrix* pada sembilan kelas diperoleh *overall accuracy* 95% dan *kappa accuracy* 94%. Hasil uji akurasi terbilang cukup tinggi dan menjadi kelebihan metode *on-screen digitizing*, akan tetapi

waktu yang dibutuhkan dalam klasifikasi cukup lama. Menurut Jaya (2015) nilai uji akurasi citra lebih dari 85% sudah baik dan hasil klasifikasi dapat digunakan. Untuk lebih jelas Tabel 7 menyajikan *confusion matriks* metode *on-screen digitation*

Tabel (Table) 7. Matriks kesalahan digitasi on-screen (*on-screen digitization error matrix*)

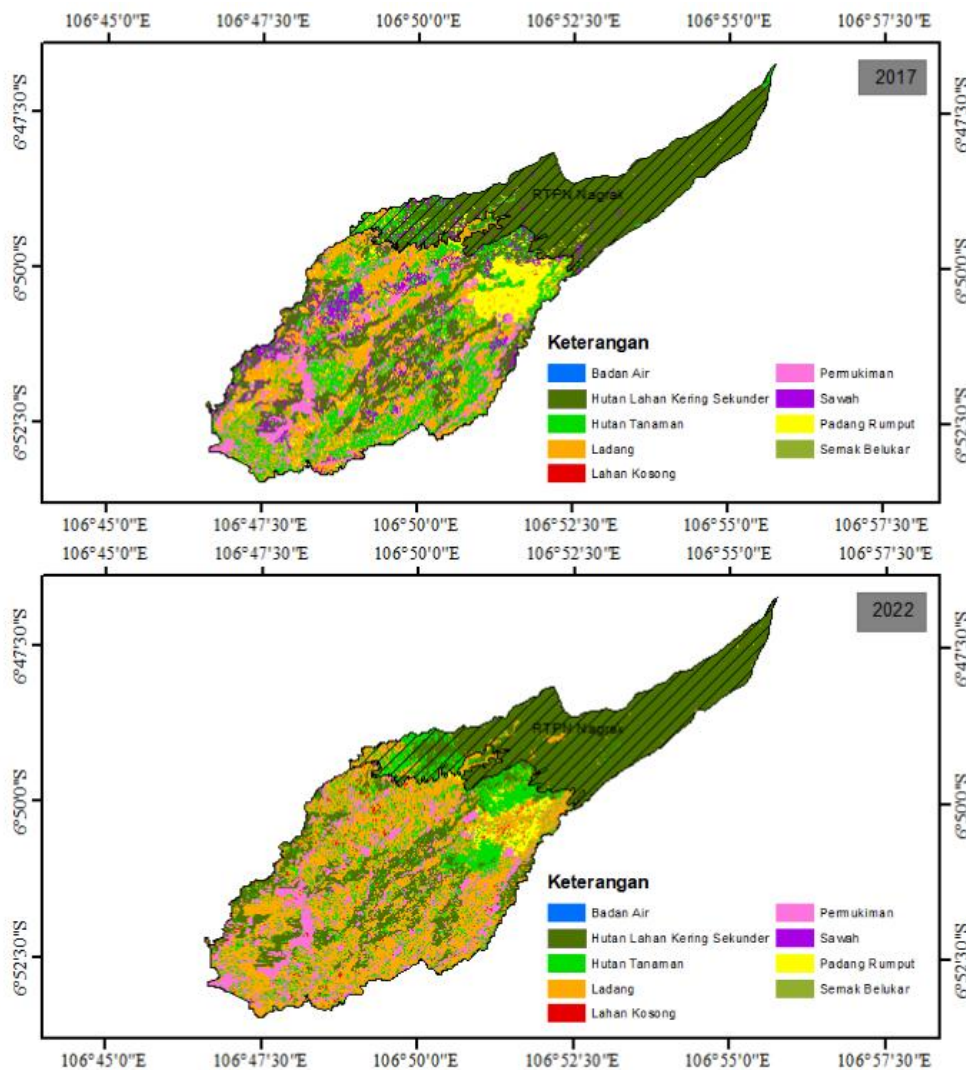
ClassValue	Hasil Lapangan (<i>ground check</i>)										U_Accuracy	Kappa
	BA	HLP	HT	LP	LK	PK	SW	PR	SB	Total		
BA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0.94
HLP	0	28	1	0	0	0	0	0	0	29	0.97	0.94
HT	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	1.0	0.94
LP	0	0	0	14	0	0	0	0	1	15	0.93	0.94
LK	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1.0	0.94
PK	0	0	1	0	0	6	0	0	0	7	0.86	0.94
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0.94
PR	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	1.0	0.94
SB	0	0	0	0	0	0	0	1	14	15	0.93	0.94
Total	0	28	7	14	1	6	0	4	15	76		
P_Accuracy	-	1.0	0.71	1.0	1.0	1.0	-	0.75	0.93	0.95	0.94	
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0.94

Keterangan: BA : Badan air, PK : Permukiman, HLP : Hutan lahan kering primer, SW : Sawah, HT : Hutan tanaman, PR : Padang rumput, LP : Ladang, SB : Semak belukar, dan LK : Lahan kosong

C. Penutupan Lahan Hasil Klasifikasi Digital

Dalam analisis ini digunakan sembilan kelas penutupan lahan hasil reklasifikasi diantaranya: (1) badan air, (2) hutan lahan kering primer, (3) hutan tanaman, (4) ladang, (5) lahan kosong, (6) permukiman, (7) sawah, (8) padang rumput, dan (9) semak belukar. Alasan tidak menggunakan empat belas kelas pada klasifikasi *random forest* karena data *training area* yang diambil tidak mewakili keseluruhan kelas penutupan lahan sehingga hasil yang

diperoleh kurang maksimal. Dalam proses klasifikasi, parameter yang digunakan mengacu pada Zulfajri *et al.* (2021) yaitu data *training area* yang digunakan sebagai data *train* sebanyak 70% dan 30% untuk data *test*, selanjutnya parameter pohon yang digunakan sebanyak 50 pohon dengan ke dalam pengujian parameter setiap pohonnya 30. Gambar 4 di bawah menyajikan peta sebaran spasial penutupan lahan pada tahun 2017 dan 2022 hasil klasifikasi *random forest*.



Gambar (Figure) 5. Peta penutupan lahan tahun 2017 dan tahun 2022 hasil *random forest* (Map of land cover in 2017 and 2022 from random forest)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Penutupan lahan tahun 2017 hasil klasifikasi *random forest* didominasi oleh hutan lahan kering primer 2.643,12 ha atau 38,29% dan penutupan lahan terkecil terdapat pada badan air sebesar 2,98 ha atau 0,04%. Sementara, penutupan lahan tahun 2022 hutan lahan kering primer masih mendominasi dengan luasan 2.616,16 ha atau 37,90% dan luasan terkecil pada badan air dengan luas 0.04 ha atau 0.001%. Adapun hasil klasifikasi menggunakan *random forest* disajikan pada Tabel 7.

Perubahan penutupan lahan terjadi pada semua kelas, namun perubahan yang terjadi tidak terlalu baik dan akurat. Hal tersebut disebabkan karena data latih yang tidak dapat mewakili setiap kelas yang diinginkan sehingga hasil klasifikasi menjadi kurang baik. Selain itu, *random forest* memiliki kelemahan *overfitting* pada data yang kecil sehingga dilakukan

reklasifikasi ulang dan *eliminate* pada luasan yang kurang dari 0,1 ha. Hasil uji akurasi yang diperoleh menggunakan *random forest overall accuracy* 90% dan *kappa accuracy* 89%. Tabel 8 menyajikan *confusion matriks* metode *random forest*.

Hasil uji akurasi dengan metode *random forest* lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan visual. Hal ini disebabkan karena klasifikasi penutupan lahan secara digital hanya menggunakan data *training area*. Selanjutnya, untuk menghasilkan kelas penutupan lahan yang lebih baik dilakukan penggabungan hasil klasifikasi visual dan digital dengan menu *identity*. Hal tersebut dilakukan karena masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Sebaran spasial penutupan lahan dengan *identity* disajikan pada Gambar 6 dan luasan penutupan lahan disajikan pada Tabel 9.

Tabel (Table) 6. Luas penutupan lahan tahun 2017 dan tahun 2022 berdasarkan hasil analisis *random forest* (*Land cover area in 2017 and 2022 based on the results of random forest*)

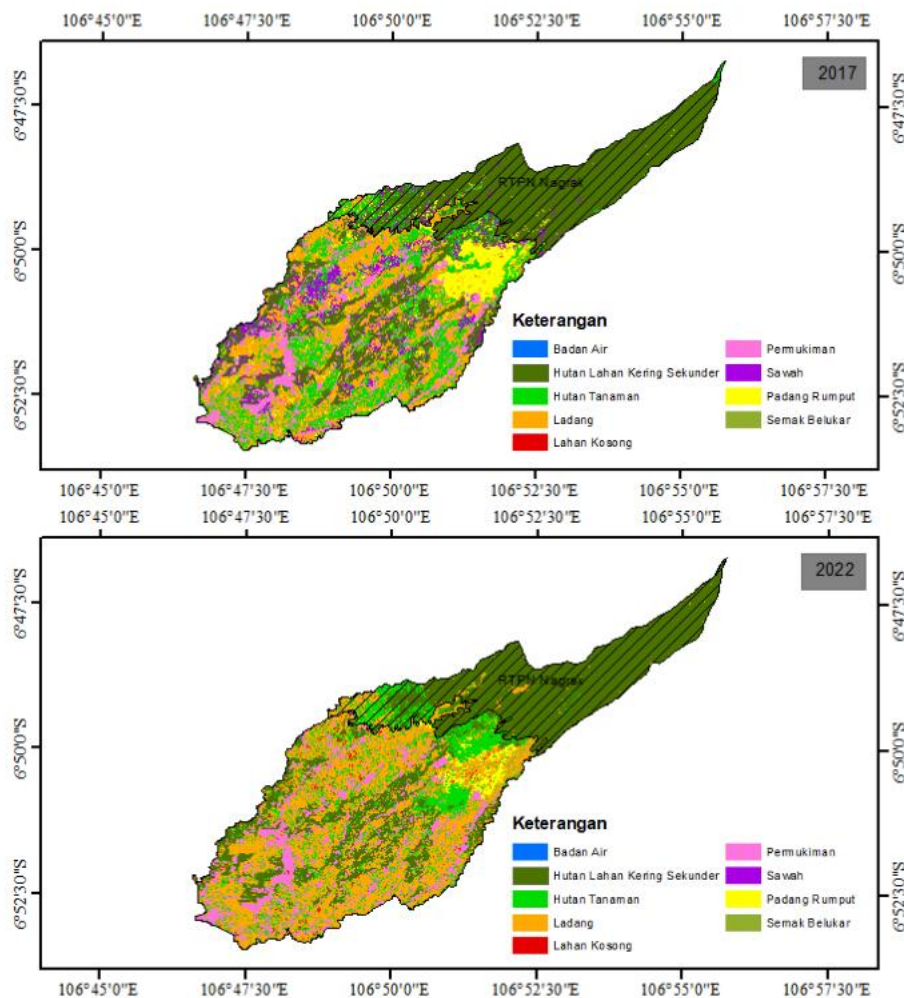
No	Penutupan Lahan (<i>Land cover</i>)	Tahun (Year) 2017		Tahun (Year) 2022	
		Luas (Area) (ha)	Proporsi (<i>Proportion</i>) (%)	Luas (Area) (ha)	Proporsi (<i>Proportion</i>) (%)
1	Badan air	2,98	0,04	0,04	0,00
2	Hutan lahan kering primer	2.643,12	38,29	2.616,16	37,90
3	Hutan tanaman	1.160,30	16,81	878,44	12,73
4	Ladang	1.448,22	20,98	2.061,32	29,87
5	Lahan kosong	3,19	0,05	84,36	1,22
6	Permukiman	613,60	8,89	600,34	8,70
7	Sawah	445,22	6,45	58,01	0,84
8	Padang rumput	433,30	6,28	110,90	1,61
9	Semak belukar	152,14	2,20	492,50	7,14
	Total	6.902,08	100	6.902,08	100

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (*Data analysis 2024*)

Tabel (Table) 8. Matriks kesalahan *random forest* (*random forest error matrix*)

ClassValue	Hasil Lapangan (<i>ground check</i>)										U_Accuracy	Kappa
	BA	HLP	HT	LP	LK	PK	SW	PR	SB	Total		
BA	3	1	0	0	0	0	0	0	4	0.75	0.89	3
HLP	0	9	1	0	0	0	0	0	10	0.90	0.89	0
HT	0	1	2	0	0	0	0	0	3	0.67	0.89	0
LP	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0.50	0.89	0
LK	0	0	0	0	19	2	0	0	21	0.90	0.89	0
PK	0	0	0	0	1	12	1	0	14	0.86	0.89	0
SW	0	0	0	0	0	0	3	1	4	0.75	0.89	0
PR	0	0	0	0	0	0	1	13	14	0.93	0.89	0
SB	3	11	5	1	20	14	6	14	76			3
Total	1.00	0.82	0.40	1.00	0.95	0.86	0.50	0.93		0.90		1.00
P_Accuracy	3	1	0	0	0	0	0	0	4	0.75	0.89	3
Kappa	0	9	1	0	0	0	0	0	10	0.90	0.89	0

Keterangan: BA : Badan air, PK : Permukiman, HLP : Hutan lahan kering primer, SW : Sawah, HT : Hutan tanaman, PR : Padang rumput, LP : Ladang, SB : Semak belukar, dan LK : Lahan kosong



Gambar (Figure) 6. Peta penutupan lahan tahun 2017 dan tahun 2022 menggunakan metoda *identity* (*Land cover map 2017 and 2022 using the identity method*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (*Data analysis 2024*)

Tabel (Table) 7. Luas penutupan lahan tahun 2017 dan tahun 2022 dengan metode on-screen dan *random forest*. (Land cover area in 2017 and 2022 using the on-screen and random forest methods)

No	Penutupan Lahan (Land cover)	Tahun (Year) 2017		Tahun (Year) 2022	
		Luas (Area) (ha)	Proporsi (%) (Proportion)	Luas (Area) (ha)	Proporsi (Proportion) (%)
1	Badan air	2,70	0,04	2,70	0,04
2	Hutan lahan kering primer	2020,99	29,28	2020,99	29,28
3	Hutan tanaman	1211,49	17,55	1200,63	17,40
4	Ladang	1.316,25	19,07	1.683,07	24,38
5	Lahan kosong	2,93	0,04	61,78	0,90
6	Permukiman	613,58	8,89	649,44	9,41
7	Sawah	204,34	2,96	9,14	0,13
8	Padang rumput	360,12	5,22	360,66	5,22
9	Semak belukar	1.169,68	16,95	914,21	13,25
Total		6.902,08	100	6.902,08	100

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

D. Analisis Perubahan Penutupan Lahan

Analisis dilakukan pada dua citra yang telah diidentifikasi dengan perpaduan metode visual dan digital (Tabel 8). Analisis ini mencakup seluruh kelas penutupan lahan untuk mengetahui perubahan yang terjadi di Kecamatan Nagrak dalam periode 2017 – 2022. Perubahan penutupan lahan dihitung menggunakan matriks (Tabel 9). Untuk mengetahui luas perubahan yang terjadi serta arah perubahan antar kelas, apakah terjadi peningkatan atau penurunan luasan.

Berdasarkan Tabel 9, perubahan luas penutupan lahan terbesar pada kelas ladang yaitu 366,82 ha, sementara semak belukar mengalami penurunan sebesar 255,47 ha. Badan air dan padang rumput tidak mengalami perubahan luas. Selain untuk mengetahui perubahan luas, analisis dengan matriks dapat memberikan informasi mengenai arah perubahan yang terjadi. Matriks perubahan penutupan lahan Kecamatan Nagrak tahun 2017 – 2022 terdapat pada Tabel 10.

Tabel (Table) 8. Luas perubahan penutupan lahan di tahun 2017 – 2022 dengan metode visual dan digital (Area of land cover change in 2017–2022 using visual and digital methods)

No	Penutupan Lahan (land cover)	Tahun (Year) 2017		Tahun (Year) 2022		Luas Perubahan (Extent of change)	
		Luas (Area) (ha)	Proporsi (Proportion) (%)	Luas (Area) (ha)	Proporsi (Proportion) (%)	(+)	(-)
1	Badan air	2,70	0,04	2,70	0,04	-	-
2	Hutan lahan kering primer	2020,99	29,28	2020,99	29,28	-	-
3	Hutan tanaman	1211,49	17,55	1200,63	17,40	-	10,86
4	Ladang	1.316,25	19,07	1.683,07	24,38	366,82	-
5	Lahan kosong	2,93	0,04	61,78	0,90	58,84	-
6	Permukiman	613,58	8,89	649,44	9,41	35,86	-
7	Sawah	204,34	2,96	9,14	0,13	-	195,20
8	Padang rumput	360,12	5,22	360,66	5,22	-	-
9	Semak belukar	1.169,68	16,95	914,21	13,25	-	255,47
Total		6.902,08	100	6.902,08	100		

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Tabel (Table) 9. Matriks perubahan penutupan lahan 2017 – 2022 (Land cover change matrix 2017 – 2022)

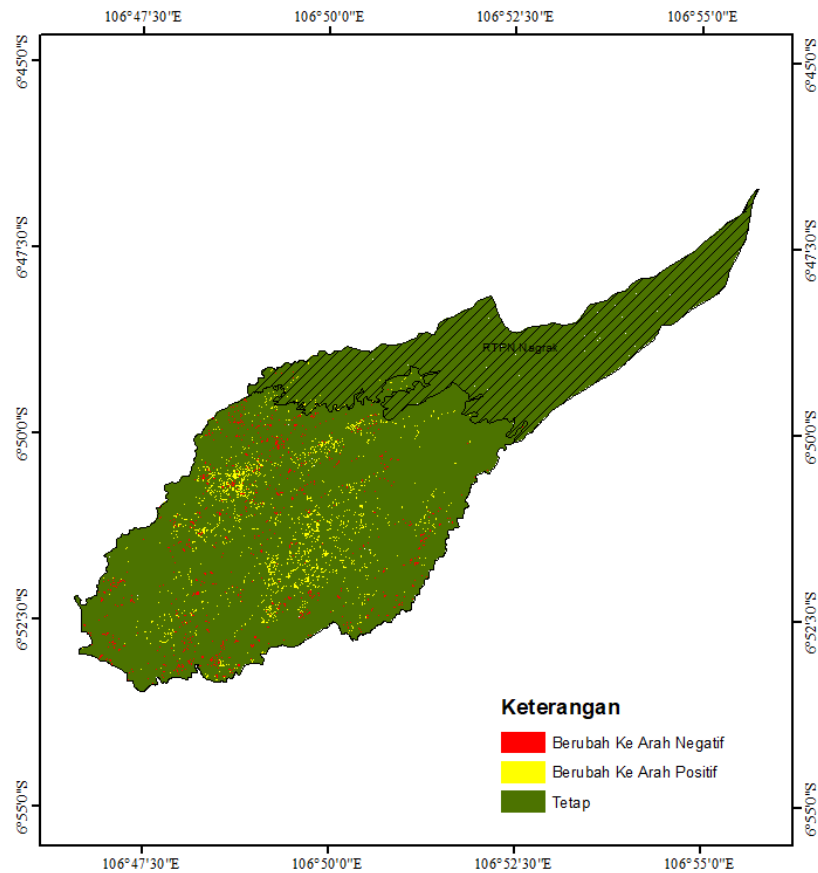
		2022									
		KET	BA	HLP	HT	LP	LK	PK	SW	PR	SB
2017	BA		2,70	-	-	-	-	-	-	-	-
	HLP		-	2020,99	-	-	-	-	-	-	-
	HT		-	-	1168,78	30,88	-	-	-	-	11,83
	LP		-	-	866,89	-	43,52	21,00	-	-	384,84
	LK		-	-	1,31	1,62	-	-	-	-	6,72
	PK		-	-	-	-	-	606,86	-	-	-
	SW		-	-	121,97	5,52	1,74	-	9,14	-	65,97
	PR		-	-	-	-	-	-	-	360,12	-
	SB		-	-	11,83	692,90	11,89	19,94	-	-	413,09

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Keterangan: BA : Badan air, PK : Permukiman, HLP : Hutan lahan kering primer, SW : Sawah, HT : Hutan tanaman, PR : Padang rumput, LP : Ladang, SB : Semak belukar, dan LK : Lahan kosong

Perubahan penutupan lahan di Kecamatan Nagrak dalam lima tahun terakhir disebabkan oleh faktor alami dan aktivitas manusia. Faktor alami meliputi proses suksesi, pertumbuhan vegetasi, dan bencana alam seperti tanah longsor. Namun demikian, aktivitas manusia merupakan penyebab utama, terutama berupa pembukaan lahan untuk pertanian serta ekspansi permukiman yang dipicu oleh pertumbuhan penduduk dan pembangunan infrastruktur. Luas perubahan lahan yang teridentifikasi mencapai 6.902,08 ha, dengan dominasi perubahan pada hutan lahan kering primer seluas 2.020,99 ha (29,28%). Periode 2017–2022 menunjukkan laju perubahan tertinggi, yang berkorelasi erat dengan peningkatan jumlah penduduk dan dinamika penggunaan lahan di sekitar kawasan TNGGP. Perluasan kawasan TNGGP yang berlangsung pada tahun 2008 hingga 2018 dinilai cukup berhasil, namun pada beberapa bagian perbatasan atau wilayah di dalam kawasan masih ditemukan aktivitas pertanian yang tidak dapat teridentifikasi secara detail melalui citra satelit.

Analisis perubahan penutupan lahan dalam penelitian ini tidak hanya mencakup informasi mengenai luasan, tetapi juga arah perubahan yang terjadi. Arah perubahan dimaknai sebagai perubahan yang bersifat positif atau negatif berdasarkan manfaat dan tekanan yang ditimbulkan terhadap keberlanjutan lahan. Perubahan yang dianggap positif meliputi peralihan dari lahan kosong atau terlantar menjadi lahan yang memiliki fungsi produktif seperti permukiman terencana, kebun campuran, atau ladang yang dikelola, karena hal ini dapat meningkatkan nilai guna lahan. Sebaliknya, perubahan negatif mengacu pada alih fungsi dari hutan atau vegetasi alami menjadi lahan terbuka, lahan pertanian tidak terkendali, atau lahan terbangun tanpa perencanaan, yang berpotensi menimbulkan degradasi lahan, penurunan tutupan vegetasi, dan perubahan fungsi ruang yang tidak sesuai peruntukannya. Sebaran spasial perubahan penutupan lahan Kecamatan Nagrak tahun 2017 – 2022 disajikan pada Gambar 7 dan luasan perubahan penutupan lahan ditunjukkan pada Tabel 11.



Gambar (Figure) 1. Peta perubahan penutupan lahan Kecamatan Nagrak tahun 2017–2022 (Map of land cover change in Nagrak Sub-district 2017-2022)

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Tabel (Table) 10. Perubahan penutupan lahan tahun 2017–2022 berdasarkan analisis *overlay intersect* (Land cover change during 2017-2022 based on *overlay intersect* analysis)

No.	Penutupan Lahan (<i>land cover</i>)		Luas (Area) (ha)	Proporsi (Proportion)(%)
	2017	2022		
Berubah ke arah negatif			214,08	3,10
1	Hutan Tanaman	Semak belukar	42,72	0,62
2	Ladang	Lahan kosong	43,52	0,63
3	Permukiman	Lahan kosong	5,52	0,08
4	Sawah	Lahan kosong	1,74	0,03
5	Sawah	Permukiman	65,97	0,96
6	Sawah	Semak belukar	11,89	0,17
7	Semak belukar	Lahan kosong	42,72	0,62
Berubah ke arah positif			54,17	0,78
1	Lahan kosong	Ladang	1,31	0,02
2	Ladang	Permukiman	21,00	0,30
3	Semak belukar	Hutan tanaman	31,86	0,46
Tetap			6.633.83	96,12
Total			6.902,08	100

Sumber (Source): Pengolahan data 2024 (Data analysis 2024)

Berdasarkan peta perubahan tutupan lahan dan data pada Tabel 11 dan Gambar 7, Kecamatan Nagrak mengalami dinamika penggunaan lahan dalam periode tahun 2017–2022. Perubahan ke arah negatif tercatat seluas 214,0812 ha (3,10%) yang didominasi oleh perubahan sawah menjadi permukiman (0,96%) dan ladang menjadi lahan kosong (0,63%). Kategori negatif ini mencerminkan penurunan fungsi lahan produktif. Perubahan semak belukar menjadi lahan kosong juga tergolong negatif karena mengindikasikan degradasi vegetasi. Secara spasial, perubahan negatif tersebar di bagian tengah dan selatan wilayah, yang erat kaitannya dengan tekanan pembangunan dan ekspansi permukiman. Sebaliknya, perubahan ke arah positif tercatat sebesar 54,17 ha (0,78%), terutama berupa semak belukar yang berubah menjadi hutan tanaman (0,46%). Ini menunjukkan adanya peningkatan tutupan vegetasi dan perbaikan fungsi ekologis di beberapa bagian wilayah, khususnya di barat dan selatan. Luasan lahan yang tidak mengalami perubahan (tetap) mendominasi dengan total 6.637,85 ha atau sekitar 96,13%

IV. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan mengklasifikasikan penutupan lahan di Kecamatan Nagrak menggunakan metode visual (*on-screen digitizing*) dan digital (*random forest*), dengan akurasi masing-masing 94% dan 89%. Untuk meningkatkan hasil, kedua metode digabungkan menggunakan *identity* sehingga diperoleh kelas penutupan lahan yang lebih akurat.

Analisis perubahan penutupan lahan dari tahun 2017 hingga 2022 menunjukkan adanya dinamika penggunaan lahan dengan perubahan positif seluas 54,17 ha (0,78%) yang mencerminkan peningkatan fungsi lahan tidak produktif menjadi produktif, serta perubahan negatif seluas 214,08 ha (3,10%) yang mengindikasikan adanya tekanan terhadap keberlanjutan lahan.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai dinamika penutupan lahan di Kecamatan Nagrak dan dapat dijadikan acuan dalam perencanaan tata ruang serta pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP). Dosen pembimbing, keluarga remote sensing IPB University, dan rekan-rekan program studi IPH Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB.

KONTRIBUSI

SR berkontribusi terhadap pengolahan data, penulisan manuskrip, peninjauan pustaka dan desain penelitian. MBS dan NP berkontribusi terhadap pembahasan serta pengolahan data, hasil, dan revisi draf.

DAFTAR PUSTAKA

Ario, R., Darmawan, A., & Wicaksono, R. (2021). *Evaluasi Program Pemulihan Ekosistem di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango (TNGGP) Melalui Kemitraan dengan Masyarakat dan*

- Industri*. Bogor: Balai Besar Taman Nasional Gunung Gede Pangrango bekerja sama dengan Conservation International dan Daikin Industries.
- Azhari, M., Situmorang, Z., & Rosnelly, R. (2021). Perbandingan Akurasi, Recall, dan Presisi Klasifikasi pada Algoritma C4.5, Random Forest, SVM dan Naive Bayes. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 5(2), 640. <https://doi.org/10.30865/mib.v5i2.2937>
- BPS. (2023). *Jumlah Penduduk Di Kabupaten Sukabumi Tahun 2017-2023*. Badan Pusat Statistik.
- BSN. (2010). SNI 7645:2010. In *SNI 7645:2010*. Badan Standardisasi Nasional
- BBNTGP. (2022). *Balai Besar Taman Nasional Gunung Gede Pangrango*.
- Breiman, L. (2001). A Hybrid Data Mining Approach for Intrusion Detection on Imbalanced NSL-KDD Dataset. *Statistic Departement, University of California*, 1–33. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2016.070603>
- Chen, Y. (2023). Monitoring Land Use/Land Cover Change (LULCC) Using Remote Sensing. *E3S Web of Conferences*, 424. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342403002>
- Dwi, M., As, A., Ambarwati, A. B., Kamila, T. N., Nabila, S. H., Alviandi, R., Putra, A. A., Ridwan, M., Somantri, L., & Himayah, S. (2025). *Perbandingan Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan dan Penggunaan Lahan Menggunakan Citra Satelit Landsat , Sentinel , dan Pleiades*. 13(1), 60–67.
- Fauzi, R. M., Joko, N. R., & Herawatiningsih, R. (2016). Analisa Perubahan Penutupan Lahan Pada Kawasan Hutan Lindung Gunung Naning Kabupaten Sekadau Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*, 4(4), 520–526. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jmfkh/article/view/17865>
- Fitriawan, D. (2020). Uji Akurasi Klasifikasi Terbimbing Berbasis Piksel Pada Citra Sentinel 2-A Menggunakan Citra Tegak Resolusi Tinggi Tahun 2019 di Kota Padang. *Jurnal Azimut*, 3(01), 21. <https://doi.org/10.31317/jaz.v3i01.633>
- Hassan, F. M., & Abdelwahab Mossa, H. (2021). Image Mosaicking Using Low-Distance High-Resolution Images Captured by an Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Informatics, Information System and Computer Engineering (INJIISCOM)*, 2(2), 44–52. <https://doi.org/10.34010/injiiscom.v2i2.6668>
- Hazazi, G., Sasmito, B., & Firdaus, H. S. (2019). Analisis Perubahan Garis Pantai Terhadap Eksistensi Mangrove Menggunakan Penginderaan Jauh Dan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System (Dsas) Tahun 2014-2018 (Studi Kasus : Kabupaten Kendal). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 19–27.
- Jaya, I. N. S. (2015). *Analisis citra digital perspektif penginderaan jauh untuk*

- pengelolaan sumberdaya alam*.
Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (3rd ed., pp. 505–512). Prentice Hall.
- Lasmi, R., Sawitri, S., & Yuwono, B. D. (2015). Kajian Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Identifikasi Objek Pajak Bumi dan Bangunan. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(1), 20–31.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). Wiley.
- Purwanto, E. H., & Lukiawan, R. (2019). Parameter Teknis Dalam Usulan Standar Pengolahan Penginderaan Jauh: Metode Klasifikasi Terbimbing. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 67. <https://doi.org/10.31153/js.v21i1.737>
- Rakuasa, H. (2022). Analisis Spasial - Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya. *GEOGRAPHIA : Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Geografi*, 3(2), 115–122. <https://doi.org/10.53682/gjppg.v3i2.5262>
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>
- Romadloni, P., Adhi Kusuma, B., & Maulana Baihaqi, W. (2022). Komparasi Metode Pembelajaran Mesin Untuk Implementasi Pengambilan Keputusan Dalam Menentukan Promosi Jabatan Karyawan. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 622–628. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5238>
- Rosyani, P., Saprudin, S., & Amalia, R. (2021). Klasifikasi Citra Menggunakan Metode Random Forest dan Sequential Minimal Optimization (SMO). *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (Justin)*, 9(2), 132. <https://doi.org/10.26418/justin.v9i2.44120>
- Saleem, A., Awange, J. L., & Corner, R. (2021). Exploiting a texture framework and high spatial resolution properties of panchromatic images to generate enhanced multi-layer products: Examples of Pleiades and historical CORONA space photographs. *International Journal of Remote Sensing*, 42(3), 929–963. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1820617>
- Sampurno, R., & Thoriq, A. (2016). Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Teknotan*, 10(2), 61–70. <https://doi.org/10.24198/jt.vol10n2.9>
- Silva, S.H.M.E.B., Nogueira, A.P.S. Matos, L.L Parente, L. Teixeira, L. S. Almeida.

- (2020). No Title. *A Definition of Visual Interpretation Criterias to Mapping Land-Use and Land Cover in The Brazilian Biomes*, 17, 9–12.
- Suni, M. A., Kurniawan Borman, A., Fahrul Himalaya Umar, M., & Dwi Kurniawan, A. (2023). Pemetaan Penggunaan Lahan Di Kota Palu Menggunakan Citra Sentinel 2-a. *Jurnal Pengabdian Kolaborasi Dan Inovasi IPTEKS*, 1(4), 384–391.
- Teluguntla, P., Thenkabail, P., Oliphant, A., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., Yadav, K., & Huete, A. (2018). A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144(August), 325–340.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.017>
- Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H. chien, Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 210(January 2017), 259–268.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023>
- Tuakora, M. A., Mardiatmoko, G., & Lelloltery, H. (2022). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perubahan Penutupan Lahan Di Dalam Kawasan Hutan Lindung Gunung Sirimau. *Makila*, 16(1), 60–68.
<https://doi.org/10.30598/makila.v16i1.5234>
- Wang, Y., He, M.-Y., Xiang, J., & Zhou, Z.-M. (2017). *Review of Land Cover Classification Based on Remote Sensing Data*. 44(Wcsn 2016), 751–756. <https://doi.org/10.2991/icwscn-16.2017.152>
- Zulfajri, Danoedoro, P., & Heru Murti, S. (2021). Klasifikasi Penutup/Penggunaan Lahan Data Landsat-8 OLI Menggunakan Metode Random Forest. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 03(01), 1–7.
<http://jurnal.mapin.or.id/index.php/pji/issue/archive>
- Zulfikar, A. M., & Nasdian, F. T. (2018). Analisis Konflik Pengelolaan Sumberdaya Alam Di. *Jurnal Sains Komunikasi Dan Pengembangan Masyarakat Sains Komunikasi Dan Pengembangan Masyarakat*, 2(5), 639–652.