

# **METODE *RANDOM FOREST* DAN *SUPPORT VECTOR MACHINE* UNTUK MONITORING PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI KECAMATAN KLAPANUNGGAL, KABUPATEN BOGOR**

*Random Forest and Support Vector Machine Methods for Monitoring Land Cover Change in Klapanunggal District, Bogor Regency*

**Suwanda<sup>1</sup>, Nining Puspaningsih<sup>2\*</sup>, Sri Rahaju<sup>2</sup>**

**(Diterima 13 Juni 2025 / Disetujui 24 Juni 2025)**

## **ABSTRACT**

*Land cover change is an ongoing phenomenon, making regular monitoring essential. One effective approach to land cover classification is supervised machine learning. This study utilizes Sentinel-2 imagery from 2018 and 2024 to monitor changes in land cover. Classification was conducted using two algorithms—Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM)—in accordance with the Indonesian National Standard (SNI) 7645:2014 for land cover classification. The results indicate that RF achieved a higher accuracy of 92.73%, compared to 90.91% for SVM. Consequently, RF was selected for further analysis of land cover changes. Negative changes totaled 272.42 ha (2.86%), primarily involving the conversion of rice fields into settlements (114.42 ha or 1.2%). Positive changes amounted to 85.6 ha (0.9%), with the most common being the conversion of shrubs into dryland agriculture (43.5 ha or 0.46%).*

*Keywords: land cover, machine learning, random forest, sentinel-2, support vector machine*

---

<sup>1</sup> Alumnus Program Sarjana Program Studi Manajemen Hutan Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

<sup>2</sup> Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

\*Penulis korespondensi: Nining Puspaningsih

e-mail: [n\\_puspaningsih@apps.ipb.ac.id](mailto:n_puspaningsih@apps.ipb.ac.id)

## PENDAHULUAN

Tutupan lahan menggambarkan kondisi fisik suatu wilayah, termasuk distribusi vegetasi, air, dan tanah (Rawat dan Kumar 2015). Perubahan tutupan lahan dapat terjadi akibat faktor alami maupun aktivitas manusia. Peningkatan pertumbuhan penduduk menyebabkan meningkatnya kebutuhan lahan sehingga menyebabkan terjadinya perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan menimbulkan tantangan serius dalam pengelolaan lahan yang berkelanjutan, terutama di Kecamatan Klapanunggal, Kabupaten Bogor. Pemantauan perubahan tutupan lahan akibat pertumbuhan populasi di Kecamatan Klapanunggal menuntut metode klasifikasi yang akurat guna mendukung pengelolaan sumber daya lahan secara berkelanjutan. Pada tahun 2024, jumlah penduduk di Kecamatan Klapanunggal mencapai 142.200 jiwa dengan Laju Pertumbuhan Penduduk rata-rata 2,82% per tahun selama periode 2021-2024 (Badan Pusat Statistik 2024). Peningkatan populasi ini menimbulkan tekanan terhadap ketersediaan lahan, sehingga pemantauan dan analisis yang efektif menjadi sangat diperlukan.

Teknologi penginderaan jauh mendukung pengembangan sistem pemantauan perubahan tutupan lahan (Suryo dan Hariyanto 2013). Analisis berbasis spasial menggunakan data citra penginderaan jauh dapat memprediksi perubahan penutupan lahan (Nugroho dan Handayani 2021). Teknologi penginderaan jauh dengan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) berbasis citra satelit telah menjadi solusi utama dalam klasifikasi tutupan lahan (Suryo dan Hariyanto 2013).

*Machine learning* semakin banyak digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan dalam beberapa tahun terakhir. Algoritma *Random Forest* (RF) dan *Support Vector Machine* (SVM) menjadi metode yang paling umum diterapkan (Havyas *et al.* 2015). SVM dikenal karena kemampuannya dalam menggeneralisasi data. RF dikenal lebih efisien dalam menangani *database* besar dan menghasilkan hasil klasifikasi yang lebih stabil (Breiman 2001).

Penelitian ini membandingkan efektivitas dua algoritma *machine learning*, yaitu *Random Forest* (RF) dan *Support Vector Machine* (SVM) dalam mengklasifikasikan tutupan lahan menggunakan citra Sentinel-2A. Algoritma *machine learning random forest* dan *support vector machine* merupakan salah satu klasifikasi digital berbasis *supervised*. Metode ini tergolong sebagai algoritma non-parametrik yang bersifat independen terhadap data, sehingga pada metode ini tidak diperlukan parameter statistik untuk memisahkan banyak kelas pada citra. Metode ini sangat sesuai untuk dilakukan di lingkungan dengan fitur objek yang kompleks (seperti area perkotaan atau daerah yang padat bangunan). Metode *random forest* dan *support vector machine* dipilih karena pada klasifikasi berbasis non parametrik ini mudah dilakukan (Havyas *et al.* 2015). Perbandingan kedua metode bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi kedua metode serta memahami keunggulan dan keterbatasan masing-masing dalam pemetaan spasial. Metode yang mempunyai tingkat akurasi lebih tinggi digunakan untuk analisis perubahan tutupan lahan tahun 2018–2024.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024–Februari 2025 dan pengolahan data di laksanakan pada bulan Februari 2025. Lokasi penelitian terletak di Kecamatan Klapanunggal, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu alat tulis, kamera, *avenza maps*, laptop yang dilengkapi dengan *software ArcGis Pro 3.0.2*, *Qgis 3.34*, *google colab*, dan Microsoft Office 2019. Bahan yang digunakan yaitu berupa data primer yang terdiri dari hasil pengamatan yang dilakukan di lapangan (*ground check*) dan data sekunder yang digunakan, yaitu batas administrasi Kecamatan Klapanunggal dan data Citra Sentinel-2A tahun perekaman 2018 dan 2024 di Kecamatan Klapanunggal, Kabupaten Bogor.

### Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan kegiatan memperoleh data berupa data primer maupun sekunder (Sugiono 2016). Pengumpulan data primer dilakukan melalui *ground check* kondisi tutupan lahan di Kecamatan Klapanunggal, Kabupaten Bogor. Dasar penentuan titik *ground check* melalui interpretasi visual. Karakteristik penutupan lahan dapat diamati berdasarkan unsur-unsur interpretasi seperti warna, bentuk, pola, ukuran, bayangan, letak dan asosiasi penampakan objek. Karakteristik objek dalam intepretasi visual, dapat diperoleh dengan menampilkan citra dalam format *Red Green Blue* (RGB) dari kombinasi 3 band untuk dapat menghasilkan warna komposit. Komposit band yang di gunakan pada citra Sentinel-2A yaitu kombinasi 4-3-2 (*true colour*) (Suni *et al.* 2023). Kegiatan ini mencakup pengambilan titik koordinat serta dokumentasi visual. Titik koordinat diambil menggunakan aplikasi *Avenza Maps* dengan metode *purposive sampling*, yang terdiri dari 110 titik pengamatan yang tersebar di berbagai jenis tutupan lahan. Pemilihan titik-titik ini mempertimbangkan faktor aksesibilitas dan keamanan agar proses pengambilan data dapat dilakukan dengan baik. Data sekunder yang digunakan berasal dari data Citra Sentinel-2 perekaman bulan November 2018 dan bulan November 2024. Data tersebut didapatkan dari situs <https://www.copernicus.eu/en> dan peta administrasi wilayah diperoleh dari situs <https://tanahair.indonesia.go.id/>.

### Pengolahan dan Analisis Data

#### Penentuan Area Contoh (*Training Area*)

Penentuan area contoh (*training area*) dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil intepretasi visual dan hasil pengamatan lapang. *Training area* setiap kelas diambil dari area yang homogen dan dianggap mewakili setiap kelas tutupan lahan. Secara teoritis jumlah piksel yang harus diambil sebanyak jumlah band yang digunakan ditambah satu ( $N+1$ ), jumlah piksel yang diambil dari setiap kelas yaitu antara 10 sampai 100 kali jumlah band yang digunakan ( $10N-100N$ ) (Jaya 2010). Penelitian ini menggunakan 120 piksel per kelas tutupan lahan dengan total 1080 piksel secara keseluruhan untuk 9 kelas tutupan lahan.

### Spektral Indeks

Penelitian ini menggunakan beberapa indeks vegetasi. Indeks Vegetasi atau *Vegetation Indices* (VI) adalah pengukuran optis tingkat kehijauan gelombang elektromagnetik dari reflektansi gelombang elektromagnetik berasal dari kanopi menggunakan sensor pasif (Xue dan Su 2017). Indeks vegetasi menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan, merupakan suatu bentuk transformasi spektral yang diterapkan terhadap citra multisaluran (Danoedoro 2012). Indeks spektral yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1 Daftar algoritma indeks citra yang digunakan

Indeks	Rumus	Sumber
NDWI ( <i>Normalized Difference Water Index</i> )	$\frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$	McFeeters 1996
NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> )	$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	Rouse jr et al. 1974
VARI ( <i>Visible Atmospherically Resistant Index</i> )	$\frac{(Green - Red)}{(NIR + Red - Blue)}$	Gitelson et al. 2002
SAVI ( <i>soil-adjusted vegetation index</i> )	$\frac{1,5 * (NIR - Red)}{(NIR - Red + 0,5)}$	Huete 1988

### Klasifikasi Tutupan Lahan Secara Digital

Metode klasifikasi digital terbagi menjadi terbimbing (*supervised*) dan tidak terbimbing (*unsupervised*). Klasifikasi terbimbing dalam penginderaan jauh dilakukan dengan mengelaskan pola-pola pada objek lahan berdasarkan algoritma tertentu pada citra yang didasari dari *training area*. Data *training area* di-split di *python* dengan rasio 70% sebagai data latih dan 30% sebagai data validasi. Penggunaan algoritma *machine learning* termasuk ke dalam kategori klasifikasi terbimbing (*supervised*). Algoritma *machine learning supervised* yang digunakan yaitu algoritma *Random Forest* (RF) dan *Support Vector Machine* (SVM).

Parameter pada algoritma *random forest* dan *support vector machine* yang digunakan mengacu pada Adugna et al. (2022) dengan *Ntree* ('*n\_estimators*') =100 dan *Mtry* ('*max\_features*') = *auto* (akar kuadrat variabel), yang merupakan default *random forest* dalam *python*. Selain itu, parameter *support vector machine* fungsi penalti/nilai biaya (C) = 1 dan gamma ( $\gamma$ ) = '*scale*', yang merupakan default *support vector machine* dalam *python*. Penentuan kelas penutupan lahan mengacu pada dokumen Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2014.

### Uji Akurasi

Pengujian akurasi dilakukan dalam dua tahap: tahap pertama menggunakan uji akurasi *training area*, dan tahap kedua menggunakan uji akurasi data *ground check* lapangan. Hasil klasifikasi dari *training area* kemudian divalidasi kembali dengan membandingkan hasil klasifikasi terhadap data *ground check* lapangan melalui matriks kesalahan (*confusion matrix*). Nilai akurasi klasifikasi dihitung berdasarkan beberapa parameter, yaitu *producer's accuracy*, *user's accuracy*, *overall accuracy*, dan *kappa accuracy*.

### Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan penutupan lahan dilakukan pada hasil klasifikasi yaitu tahun 2018 dan tahun 2024. Penelitian menggunakan teknik *overlay* pada citra dengan menggunakan menu *intersect* untuk perubahan penutupan lahan. Adanya analisis perubahan penutupan lahan dapat digunakan untuk mengetahui luas perubahan yang terjadi dan mengetahui arah perubahan yang terjadi. Perubahan ke arah positif dapat terjadi akibat bertambahnya luas area hutan dan peningkatan penggunaan lahan yang mendukung kelestarian lingkungan. Di sisi lain, perubahan ke arah negatif umumnya disebabkan oleh konversi lahan hutan menjadi lahan non-hutan atau jenis tutupan lahan lainnya yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem (Anggita 2021).

Parameter yang digunakan dalam mengetahui perubahan ke arah positif maupun negatif berdasarkan cadangan karbon pada setiap tutupan lahan. Peningkatan cadangan karbon mengindikasikan perubahan ke arah positif dan kebalikannya. Penurunan cadangan karbon mengindikasikan perubahan ke arah negatif. Tabel 2 menunjukkan data cadangan karbon pada setiap tutupan lahan.

Tabel 2 Cadangan karbon pada setiap tutupan lahan











No	Tutupan lahan	Cadangan Carbon (ton/ha)	Sumber
1	Badan Air	0	Setiawan <i>et al.</i> (2016)
2	Permukiman	0	Setiawan <i>et al.</i> (2016)
3	Sawah	5,24	Setiawan <i>et al.</i> (2016)
4	Bangunan industri, perdagangan,dan perkantoran	0	IPCC (2006)
5	Pertambangan	0	IPCC (2006)
6	Hutan	149,2	IPCC (2006)
7	Pertanian lahan kering	10	Kurniawati (2021)
8	Kebun campuran	36,2	Setiawan <i>et al.</i> (2016)
9	Semak belukar	1,7	Setiawan <i>et al.</i> (2016)









## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik tutupan lahan

Interpretasi visual dilakukan dengan memanfaatkan karakteristik citra Sentinel-2A. Hasil pengamatan lapangan berdasarkan hasil interpretasi visual sebanyak 110 titik *ground check* diperoleh 9 objek tutupan lahan di Kecamatan Klapanunggal, Kabupaten Bogor, selanjutnya dari hasil pengamatan lapangan ini dibuat kunci penafsiran menggunakan komposit *band* 4-3-2 (Tabel3). Hasil kunci penafsiran dan data *ground check* digunakan sebagai dasar untuk menentukan *training area*. Penentuan kelas tutupan lahan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2014.

Tabel 3 Kunci penafsiran tutupan lahan dengan menggunakan band 4-3-2 pada citra Sentinel-2 tahun 2024 pada skala 1:25.000

No	Penutupan lahan	Kunci penafsiran (Citra sentinel-2 432 tahun 2024)	Foto lapangan	Deskripsi penutupan lahan
1	Badan air			Badan air merupakan daerah yang tergenang oleh air secara alami. Badan air yang ditemukan di lapangan yaitu sungai, kolam, dan danau. Pada citra tampak berwarna biru gelap atau hijau gelap untuk danau, dan putih kecoklatan untuk sungai. Pola danau meluas tidak teratur dan sungai pola memanjang keduanya memiliki tekstur halus.
2	Permukiman			Permukiman yang ditemukan di lapangan yaitu perumahan desa dan perumahan di perkotaan. Pada Citra tampak pemukiman desa mempunyai pola tidak teratur dan perumahan memiliki pola teratur. Berbentuk kotak, memiliki ukuran yang beragam. Memiliki warna coklat, putih, dan merah muda, tekstur kasar.
3	Sawah			Sawah merupakan pertanian lahan basah, terbagi dalam petak-petak kecil dan dibatasi oleh pematang tanah yang ditanami padi. Pada citra sawah tampak berwarna hijau muda, tekstur halus, pola beraturan, memiliki bentuk berpetak-petak.
4	Bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran			Penutupan lahan bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran merupakan bangunan buatan manusia berupa bangunan yang terutama dimanfaatkan untuk kegiatan industri dan perdagangan dan bisnis. Bangunan industri dan perdagangan dicirikan oleh kerapatan atau kepadatan bangunan yang tinggi dan terbuat dari bahan bangunan yang bersifat permanen/tahan lama seperti misalnya dinding tembok, dan atap seng. Bangunan yang termasuk ke dalam kelas ini di lapangan berupa bangunan industri, gedung bank, perkantoran, pasar, dan restoran. Pada citra memiliki warna putih dan abu-abu, tekstur halus, pola tidak teratur, bentuk kotak, ukuran beragam.
5	Pertambangan			Tutupan lahan pertambangan merupakan lahan terbuka sebagai akibat aktivitas pertambangan, di mana penutup lahan, batu ataupun mineral bumi lainnya dipindahkan oleh manusia. Pertambangan yang

			ditemukan adalah pertambangan batu kapur. Pada citra tampak berwarna putih, krem dan abu-abu, tekstur halus, pola tidak teratur, berasosiasi dengan semak belukar dan hutan.
6	Hutan	 	Hutan alam yang di lapangan memiliki kerapatan jarang dengan jenis pohon yang heterogen. Jenis pohon yang ada seperti pohon sengon, akasia dan mahoni. Pada citra memiliki warna hijau tua, tekstur kasar, pola tidak beraturan, terletak di Gunung Kapur.
7	Pertanian lahan kering	 	Pertanian lahan kering merupakan lahan kering yang ditanami dengan tanaman semusim. Pertanian lahan kering yang ditemui di lapangan berupa tanaman palawija, seperti singkong, jagung, dan cabai. Pada citra memiliki warna coklat hingga hijau muda, tekstur kasar, pola tidak teratur, berasosiasi dengan permukiman dan sawah.
8	Kebun campuran	 	Kebun campuran merupakan kebun dengan tanaman campuran tanaman tahunan dan semusim yang ditanam untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, baik kayu, buah, maupun produk pertanian lainnya. Tanaman yang ditemukan yaitu pohon 307angka, sengon, singkong, jagung dan pisang. Pada Citra memiliki warna hijau muda hingga hijau tua, tekstur kasar, pola tidak beraturan, berasosiasi dengan permukiman.
9	Semak belukar	 	Semak belukar merupakan kumpulan semak dengan ketinggian kurang dari 50 cm. Semak belukar yang ditemui di lapangan didominasi oleh tumbuhan perdu, semak, dan liana. Pada citra memiliki warna hijau muda, tekstur halus, pola tidak teratur, berasosiasi dengan permukiman, kebun campuran, dan hutan.

### Klasifikasi tutupan lahan Menggunakan *Random Forest* dan *Support vector Machine*

Hasil klasifikasi citra menggunakan algoritma *Random Forest* menunjukkan luasan paling dominan terjadi pada tutupan lahan hutan, sawah, pertanian lahan kering dan permukiman. Luasan permukiman sebesar 1.234,02 ha (12,95%) pada th 2018 dan 1.389,42 ha (14,52%) pada tahun 2024 (Tabel 4). Hasil ini tidak berbeda dengan klasifikasi menggunakan algoritma *Support vector Machine*. Klasifikasi menggunakan algoritma *Support vector Machine* juga menghasilkan luasan paling dominan terjadi pada tutupan lahan hutan, sawah, pertanian lahan kering dan permukiman (Tabel 5).

Tabel 4 Luas tutupan lahan menggunakan random forest tahun 2018 dan 2024

No	Penutup lahan	Tahun 2018		Tahun 2024	
		Luas (ha)	Proporsi (%)	Luas (ha)	Proporsi (%)
1	Badan air	101,37	1,06	101,37	1,06
2	Permukiman	1.234,02	12,95	1389,42	14,52
3	Sawah	1.885,20	19,78	1818,63	19,08
4	Bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran	157,77	1,66	172,83	1,81
5	Pertambangan	553,50	5,81	655,47	6,88
6	Hutan	3.237,93	33,97	3190,03	33,47
7	Pertanian lahan kering	1.239,15	13,00	1283,39	13,52
8	Kebun campuran	359,60	3,77	347,40	3,65
9	Semak belukar	761,95	7,99	571,97	6
<b>Total</b>		<b>9530,50</b>	<b>100</b>	<b>9530,50</b>	<b>100</b>

Hasil klasifikasi citra menggunakan algoritma *Random Forest* menunjukkan luasan paling dominan terjadi pada tutupan lahan hutan, sawah, pertanian lahan kering dan pemukiman. Luasan permukiman sebesar 1234,02 ha (12,95%) pada th 2018 dan 1389,42 ha (14,52%) pada tahun 2024 (Tabel 4). Hasil ini tidak berbeda dengan klasifikasi menggunakan algoritma *Support vector Machine*. Klasifikasi menggunakan algoritma *Support vector Machine* juga menghasilkan luasan paling dominan terjadi pada tutupan lahan hutan, sawah, pertanian lahan kering dan pemukiman (Tabel 5).

Tabel 5 Luas tutupan lahan menggunakan *support vector machine* tahun 2018 dan 2024

No	Penutup lahan	Tahun 2018		Tahun 2024	
		Luas (ha)	Proporsi (%)	Luas (ha)	Proporsi (%)
1	Badan air	99,17	1,04	99,17	1,04
2	Permukiman	1258	13,20	1.419,84	14,90
3	Sawah	1.639,75	17,21	1.514,09	15,89
4	Bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran	137,72	1,45	145,12	1,52
5	Pertambangan	478,51	5,02	595,59	6,25
6	Hutan	3.104,67	32,58	3.058,91	32,10
7	Pertanian lahan kering	1.482,85	15,56	1.536,64	16,12
8	Kebun campuran	388,09	4,07	363,09	3,81
9	Semak belukar	941,76	9,88	798,06	8,37
<b>Total</b>		<b>9.530,50</b>	<b>100</b>	<b>9.530,50</b>	<b>100</b>

### Kesesuaian algoritma *random forest* dan *support vector machine*

Algoritma *machine learning random forest* dan *support vector machine* merupakan salah satu klasifikasi digital berbasis *supervised*. Metode ini tergolong sebagai algoritma non-parametrik yang bersifat independen terhadap data, sehingga pada metode ini tidak diperlukan parameter statistik untuk memisahkan banyak kelas pada citra. Metode ini sangat sesuai untuk dilakukan di lingkungan dengan fitur objek yang kompleks (seperti area perkotaan atau daerah yang padat bangunan). Metode *random forest* dan *support vector*



*machine* dipilih karena pada klasifikasi berbasis non parametrik yang sering digunakan adalah metode *machine learning decision trees*, *random forest*, dan *support vector machine* (Havyas *et al.* 2015).

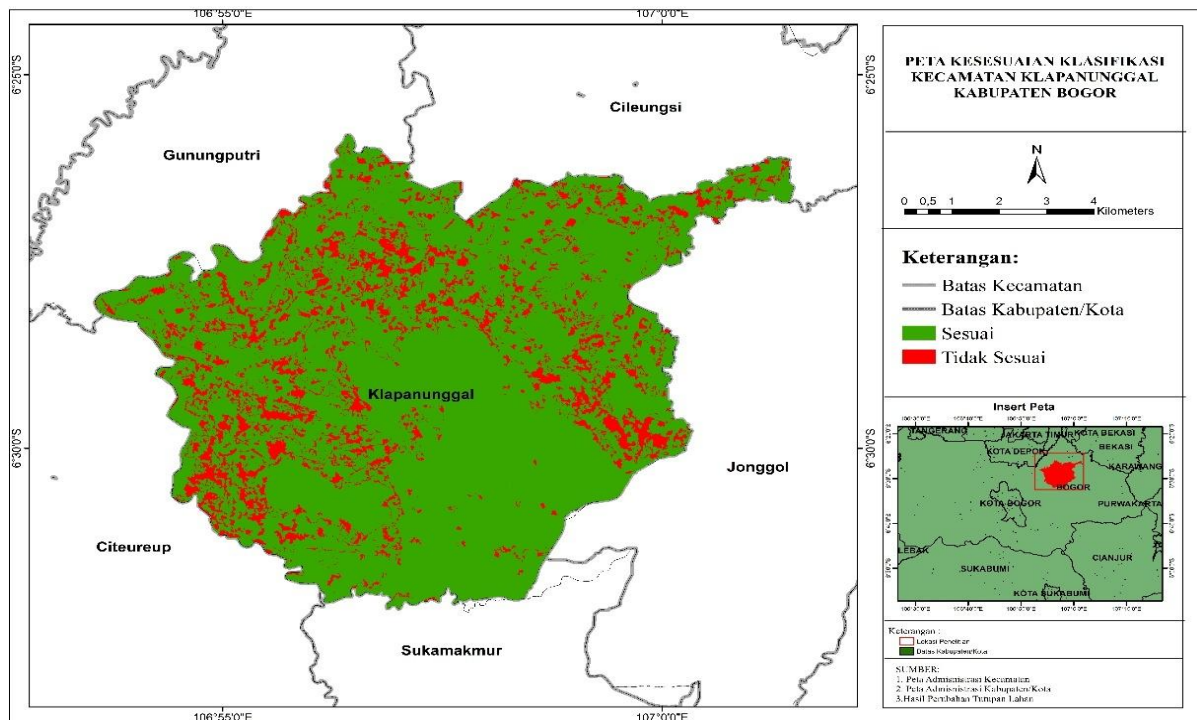
Tabel 6 Kesesuaian algoritma *random forest* dan *support vector machine*

Kelas	RF (ha)	SVM (ha)	Sesuai*		Tidak sesuai**	
			Luas (ha)	Proporsi (%)	Luas (ha)	Proporsi (%)
Badan Air	101,37	99,17	86,76	0,91	12,01	0,13
Permukiman	1389,42	1419,84	1299,83	13,64	175,61	1,84
Sawah	1818,63	1514,09	1316,87	13,82	171,82	1,80
Bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran	172,83	145,12	129,68	1,36	16,06	0,17
Pertambangan	655,47	595,59	569,79	5,98	33,33	0,35
Hutan	3190,03	3058,91	3020,42	31,69	66,99	0,70
Pertanian lahan kering	1283,39	1536,64	1049,02	11,01	459,31	4,83
Kebun campuran	347,40	363,09	244,56	2,57	109,27	1,15
Semak belukar	571,97	798,06	444,09	4,66	324,08	3,40
<b>Total</b>	<b>9530,50</b>	<b>9530,50</b>	<b>8161,02</b>	<b>85,63</b>	<b>1369,48</b>	<b>14,37</b>

Ket : \*Sesuai : kelas di algoritma *random forest* dan *support vector machine* tumpang tindih

\*\*Tidak sesuai : kelas di algoritma *random forest* dan *support vector machine* tidak tumpang tindih

Hasil klasifikasi menggunakan dua algoritma *machine learning* yang kompetitif, yaitu *Random Forest* (RF) dan *Support Vector Machine* (SVM), digunakan untuk mengevaluasi kinerjanya dalam klasifikasi tutupan lahan pada wilayah yang luas dengan mempertimbangkan *dataset input* berdimensi tinggi. Kedua algoritma ini memiliki kesamaan hasil klasifikasi 85,63% atau 8.161,02 ha yang ditunjukkan pada Tabel 6. Hal ini menunjukkan bahwa kedua algoritma memiliki hasil klasifikasi yang baik. Merujuk pada Farda (2017), algoritma *machine learning random forest* dan *support vector machine* memiliki akurasi di atas 80% secara konsisten dalam pemetaan multi-waktu. Pendekatan klasifikasi yang digunakan yaitu *pixed based* atau klasifikasi multispektral. Sebaran spasial kesesuaian metode RF dan SVM ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kesesuaian hasil klasifikasi *random forest* dan *support vector machine*

Uji akurasi menunjukkan bahwa algoritma *Random Forest* (RF) lebih unggul dibandingkan *Support Vector Machine* (SVM). RF mendapatkan overall akurasi 92,73% dan nilai kappa 91,55%. Sedangkan SVM mendapatkan overall akurasi 90,91% dan nilai kappa 89,40%. Kedua algoritma *machine learning* ini memiliki nilai yang sudah sesuai dengan penelitian Jaya (2010), nilai akurasi > 85% menunjukan proses indentifikasi dan klasifikasi telah dilakukan dengan baik. Namun, pemetaan tutupan lahan skala kecamatan menggunakan citra satelit Sentinel-2A dalam penelitian ini, RF menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan SVM.

*Random Forest* merupakan metode terbaik untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan di Kecamatan Klapanunggal Kabupaten Bogor menggunakan citra Sentinel-2A. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Zhao *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa metode *Random Forest* terbukti efektif dalam mengklasifikasikan tutupan lahan dengan akurat, menangkap hubungan yang kompleks, dan memberikan prediksi yang baik. Dengan memanfaatkan kekuatan pembelajaran *ensemble* dari banyak *decision tree* yang dibangun pada subset data, metode *Random Forest* lebih stabil dan *robust* terhadap variasi dalam data *training* sehingga cenderung terhindar dari *overfitting* (Afininnas *et al.* 2024).

### Perubahan tutupan lahan

Perubahan tutupan lahan dianalisis menggunakan hasil klasifikasi metode yang mempunyai uji akurasi yang lebih baik yaitu *random forest*. Perubahan yang dianalisis adalah besar luasan perubahan penutupan lahan dan arah perubahan penutupan lahan. Arah perubahan penutupan lahan dianalisis berdasarkan dari sisi ekologis yang terbagi menjadi dua yaitu perubahan ke arah positif dan perubahan ke arah negatif. Merujuk pada penelitian Anggita (2021), perubahan penutupan lahan ke arah positif merupakan perubahan yang dapat memberikan dampak baik pada lingkungan seperti perubahan penutup lahan tidak

berhutan menjadi berhutan. Sebaliknya perubahan ke arah negatif dapat memberikan dampak yang merusak bagi ekosistem. Perubahan ke arah negatif seperti perubahan hutan menjadi tidak berhutan. Parameter yang digunakan merupakan cadangan karbon di setiap tutupan lahan (Tabel 2). Peningkatan cadangan karbon mengidentifikasikan bahwa perubahan yang terjadi ke arah positif. Sedangkan penurunan cadangan karbon mengidentifikasikan sebaliknya. Luas perubahan penutupan lahan tahun 2018–2024 diberikan pada Tabel 7, sedangkan arah perubahan tutupan lahan diberikan pada Tabel 8. Peningkatan tutupan lahan paling besar terjadi pada tutupan lahan pemukiman yaitu sebesar 155,40 ha. Sedangkan penurunan luasan paling kecil terjadi pada tutupan lahan Semak belukar yaitu sebesar 189,98 ha (Tabel7).

Tabel 7 Luas perubahan penutupan lahan tahun 2018–2024

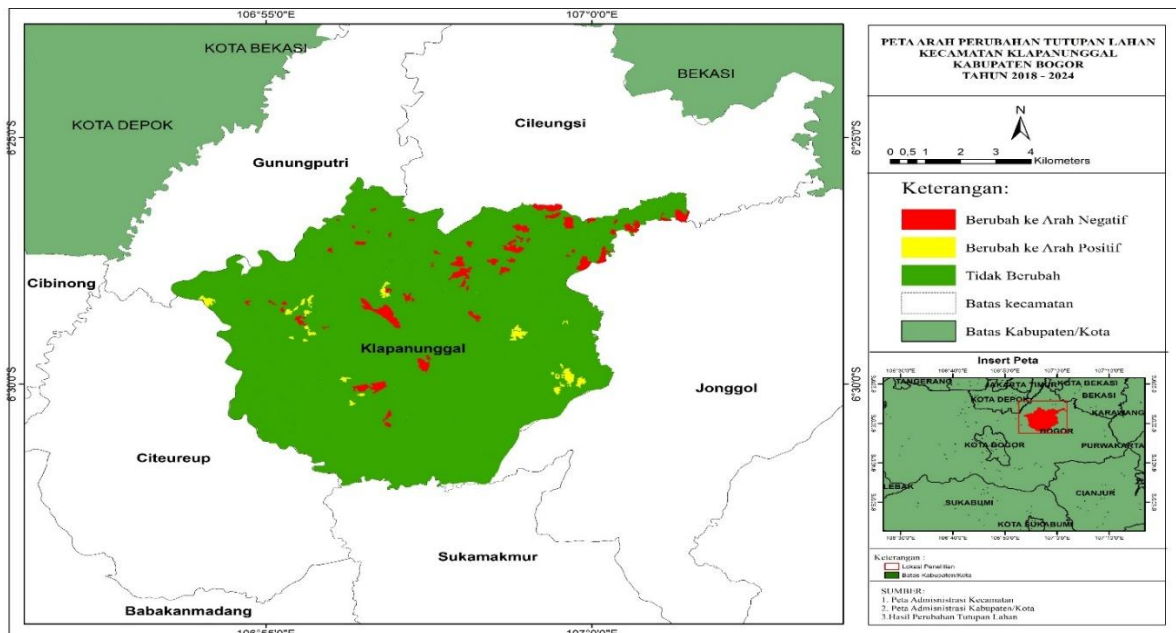
Kelas	2018		2024		Luas Perubahan	
	Luas	Proporsi	Luas	Proporsi	(+)	(-)
Badan Air	101,37	1,06	101,37	1,06		
Permukiman	1.234,02	12,95	1.389,42	14,58	155,40	
Sawah	1.885,20	19,78	1.818,63	19,08		66,57
Industri	157,77	1,66	172,83	1,81	15,06	
Pertambangan	553,50	5,81	655,47	6,88	101,97	
Hutan	3.237,93	33,97	3.190,03	33,47		47,91
Pertanian lahan kering	1.239,15	13,00	1.283,39	13,52	49,24	
Kebun campuran	359,60	3,77	347,40	3,65		12,20
Semak belukar	761,95	7,99	571,97	6,00		189,98
Total	9.530,50	100,00	9.530,50	100,00		

Penutupan lahan pada tahun 2018–2024 di Kecamatan Klapanunggal mengalami perubahan ke arah positif maupun negatif. Perubahan kelas penutupan lahan ke arah positif sebesar 85,60 ha atau 0,9% dimana perubahan paling besar semak belukar menjadi pertanian lahan kering 43,50 ha atau 0,46% dari keseluruhan Kecamatan Klapanunggal. Sedangkan perubahan ke arah negatif sebesar 272,42 ha atau 2,86% dengan perubahan terbesar ada pada kelas sawah menjadi permukiman 114,42 ha atau 1,20% pada tahun 2018–2024. Sebaran spasial perubahan tutupan lahan Kecamatan Klapanunggal disajikan pada Gambar 2.

Tabel 8 Arah perubahan penutupan lahan Kecamatan Klapanunggal Tahun 2018 -2024

No	Tutupan lahan		Luas (ha)	Proporsi (%)	Total	
	2018	2024			Luas (ha)	Proporsi (%)
Berubah ke Arah Negatif					272,42	2,86
1	Sawah	Permukiman	114,42	1,20		
2	Semak belukar	Permukiman	40,98	0,43		
3	Kebun campuran	Bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran	5,72	0,06		
4	Semak belukar	Bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran	9,33	0,10		
5	Hutan	Pertambangan	47,91	0,50		

No	Tutupan lahan		Luas (ha)	Proporsi (%)	Total	
	2018	2024			Luas (ha)	Proporsi (%)
6	Semak belukar	Pertambangan	54,06	0,57	85,60	0,90
Berubah ke Arah Positif						
1	Semak belukar	Sawah	42,10	0,44		
2	Semak belukar	Pertanian lahan kering	43,50	0,46		
Tidak Berubah			9.172,47	96,24	9.172,47	96,24
Total			9.530,50	100	9.530,50	100



Gambar 2 Peta perubahan tutupan lahan Kecamatan Klapanunggal

## SIMPULAN

Hasil klasifikasi menggunakan *machine learning Random Forest (RF)* dan *Support Vector Machine (SVM)* menghasilkan sembilan kelas tutupan lahan, yaitu badan air, permukiman, sawah, bangunan industri, perdagangan, dan perkantoran, pertambangan, hutan, pertanian lahan kering, kebun campuran, dan semak belukar. RF menghasilkan *overall accuracy* 92,73% dan *kappa accuracy* 91,55%, sedangkan SVM mempunyai akurasi sebesar *overall accuracy* 91,55% dan *kappa accuracy* 89,40%. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan algoritma RF karena memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan SVM. Perubahan tutupan lahan dikelompokkan menjadi dua kategori berdasarkan aspek ekologis, yaitu perubahan positif dan negatif. Perubahan ke arah negatif sebesar 272,42 ha (2,86%), yang didominasi oleh sawah menjadi permukiman 114,42 ha (1,2%) dan perubahan ke arah positif sebesar 85,6 ha (0,90%) yang di dominasi oleh semak belukar menjadi pertanian lahan kering 43,5 ha (0,46%). Meskipun terjadi perubahan tutupan lahan ke arah negatif yang dominan akan tetapi tutupan lahan secara keseluruhan tidak berubah signifikan. Tutupan lahan yang tetap (tidak mengalami perubahan) masih mendominasi yaitu sebesar 9.172,47 ha (96,24%).

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adugna T dan Xu W, Fan J. 2022. Comparison of random forest and support vector machine classifiers for regional land cover mapping using coarse resolution FY-3C images. *Remote Sensing*. 14(3): 1-22.
- Afininnas F, Wulandari YN, Jati F, Kurniawan R. 2024. Analisis Perbandingan Metode Klasifikasi pada Pemetaan Tutupan Lahan di Provinsi DI Yogyakarta Tahun 2023. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DATA* (Vol. 4, No. 1, pp. 624-635).
- Agus K, Santosa I, Dewi PS, Setyanto, Thamrin YCS. 2009. *Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku 1 Landasan Ilmiah*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Jakarta.
- Anggita N. 2021. Analisis Perubahan Tutupan Lahan di BKPH Gunung Slamet Barat Perum Perhutani KPH Banyumas Timur Menggunakan Citra Satelit Spot 7 [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2024. Kecamatan Klapanunggal dalam Angka 2024. Kabupaten Bogor: BPS Kabupaten Bogor.
- Breiman L. 2001. *Random Forest*. California: Statistics Department, University of California.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 7645:2014 Klasifikasi Penutup Lahan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Danoedoro P. 2012. *Pengantar penginderaan jauh digital*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Farda NM. 2017. Multi-temporal land use mapping of coastal wetlands area using machine learning in Google earth engine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98(1). Doi:10.1088/1755-1315/98/1/012042.
- Gitelson AA, Stark R, Grits U, Rundquist D, Kaufman Y, Derry D. 2002. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*. 23(13): 2537-2562.
- Havyas VB, Choodarathnakara AL, Thribhuvan R, Chethan KS. 2015. Decision tree approach for classification of satellite imagery. *Int. J. Soft Computing Eng.(IJSCE)*. 5(2): 2231-2307.
- Huete AR. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of the environment*. 25(3): 295-309.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Co-Chairs of the Task Force Bureau on National Greenhouse Gas Inventories, Switzerland.
- [IPCC] International Panel on Climate Change. (2013). Climate change 2013 the physical basis working group I contribution to the fifth assessment report of the IPCC. [diakses pada 5 februari 2025] <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Jaya INS. 2010. *Analisis Citra Digital: Perspektif Penginderaan Jarak Jauh untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- McFeeters SK. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.

- Nugroho RA, Handayani HH. 2021. Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Markov Chain dan Citra Satelit Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Surabaya). *Jurnal Teknik ITS*. 9(2): 71-77.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*. 351: 309-317.
- Setiawan G, Syaufina L, Puspaningsih N. 2016. Pendugaan hilangnya cadangan karbon dari perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Bogor. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 7(2): 79-85.
- Suni MA, Borman AK, Umar MFH, Kurniawan AD. 2023. Pemetaan penggunaan lahan di Kota Palu menggunakan citra sentinel 2-A. *Jurnal Pengabdian Kolaborasi dan Inovasi*. 1(4): 384-391.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Bandung: Alfabet.
- Suryo AB, Hariyanto T. 2013. Studi Perubahan Tutupan Lahan DAS Ciliwung dengan Metode Klasifikasi Terbimbing Citra Landsat 7 ETM+ Multitemporal Tahun 2001 & 2008 (Studi Kasus: Bogor). *Geoid*. 9(1): 1-6.
- Sutaryo D. 2009. *Perhitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor (ID): Wetlands International Indonesia Programme.
- Xue J, Su B. 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*. 12(3) 1-17.
- Zhao Z, Islam F, Waseem LA, Tariq A, Nawaz M, Islam I U, Bibi T, Rehman NU, Ahmad W, Aslam RW, Raza D, Hatamleh WA. 2024. Comparison of three machine learning algorithms using google earth engine for land use land cover classification. *Rangeland ecology & management*. 92: 129-137.