

Analisis Spasial Deforestasi Kawasan Hutan Lindung di Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan

Algif Fahri^{1*}, Hendry Frananda²

Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang

*Correspondent email: algiffahri02@gmail.com

Diterima: 21 Agustus 2025 | Disetujui: 30 Oktober 2025 | Diterbitkan: 31 Oktober 2025

Abstract. Protected forests play a crucial role in maintaining ecological balance, safeguarding biodiversity, and reducing disaster risks. However, human activities such as agricultural expansion, infrastructure development, and land conversion have triggered significant deforestation. Spatial monitoring of land cover change is essential to understand degradation patterns as a basis for conservation policies. This study aims to analyze land cover changes in the protected forest of Sangir Subdistrict from 2018 to 2025 and to identify spatial patterns of deforestation. The research employed Sentinel-2 imagery classified using the Random Forest algorithm into five classes: forest, cropland, open land, plantation, and rice field. Validation results showed overall accuracies of 0.84 (2018) and 0.82 (2025). The findings reveal that forest area decreased by 449.69 ha (−9.95%), mainly in forest–cultivation transition zones and areas near roads and rivers. Spatially based conservation policies are urgently needed to mitigate deforestation.

Keywords: deforestation; land cover change; spatial pattern; random forest

PENDAHULUAN

Hutan lindung merupakan salah satu aset penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan hidup. Kawasan ini berfungsi sebagai penyangga kehidupan, baik dari sisi ekologis maupun hidrologis, misalnya dalam mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, serta menjaga kesuburan tanah (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan [LHK], 2016). Selain itu, hutan lindung juga menjadi habitat bagi berbagai jenis flora dan fauna yang menopang keanekaragaman hayati Indonesia sebagai negara megabiodiversitas. Keberadaan hutan lindung berperan krusial dalam menopang sistem ekologi, sosial, dan ekonomi masyarakat di sekitarnya.

Namun, saat ini hutan lindung menghadapi ancaman serius akibat meningkatnya tekanan terhadap lahan. Secara global, deforestasi masih menjadi persoalan utama. Food and Agriculture Organization (FAO, 2020) mencatat bahwa meskipun laju deforestasi global menunjukkan tren menurun, kawasan tropis—termasuk Indonesia—tetap menjadi wilayah dengan tingkat kehilangan hutan yang tinggi. Margono dkk. (2014) menambahkan bahwa sebagian besar kehilangan hutan di Indonesia terjadi pada hutan primer dan kawasan lindung, sehingga kawasan yang seharusnya dilindungi justru mengalami degradasi dan fragmentasi yang mengkhawatirkan.

Fenomena deforestasi dapat dipahami dari dua sisi. Pertama, deforestasi sebagai penyebab, yang menyoroti faktor sosial-ekonomi seperti illegal logging, ekspansi perkebunan, serta perambahan lahan (Geist & Lambin, 2020; Kartodihardjo & Supriono, 2021). Kedua, deforestasi sebagai perubahan, yang memusatkan perhatian pada kuantifikasi dan pemetaan perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu. Penelitian ini menekankan pada perspektif kedua, yaitu analisis spasial terhadap dinamika perubahan tutupan lahan untuk memahami sejauh mana deforestasi terjadi di kawasan hutan lindung.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah memungkinkan analisis deforestasi dilakukan secara lebih efisien, akurat, dan berkelanjutan. Citra satelit Sentinel-2A yang dikembangkan oleh European Space Agency (ESA) menyediakan data multiband dengan resolusi spasial 10–20 meter, sangat ideal untuk kajian perubahan lahan di wilayah tropis (ESA, 2015). Ketika dikombinasikan dengan algoritma klasifikasi berbasis *machine learning* seperti Random Forest, citra ini dapat menghasilkan peta tutupan lahan dengan tingkat akurasi yang tinggi (Belgiu & Drăguț, 2016). Evaluasi akurasi menggunakan *Confusion Matrix* dan *Kappa Coefficient* membantu menilai reliabilitas hasil klasifikasi secara kuantitatif (Jaya, 2014).

Selain itu, variabel indeks vegetasi seperti NDVI, NDII, dan EVI terbukti dominan dalam menjelaskan variasi data perubahan tutupan lahan. Penelitian sebelumnya menegaskan bahwa indeks vegetasi, khususnya



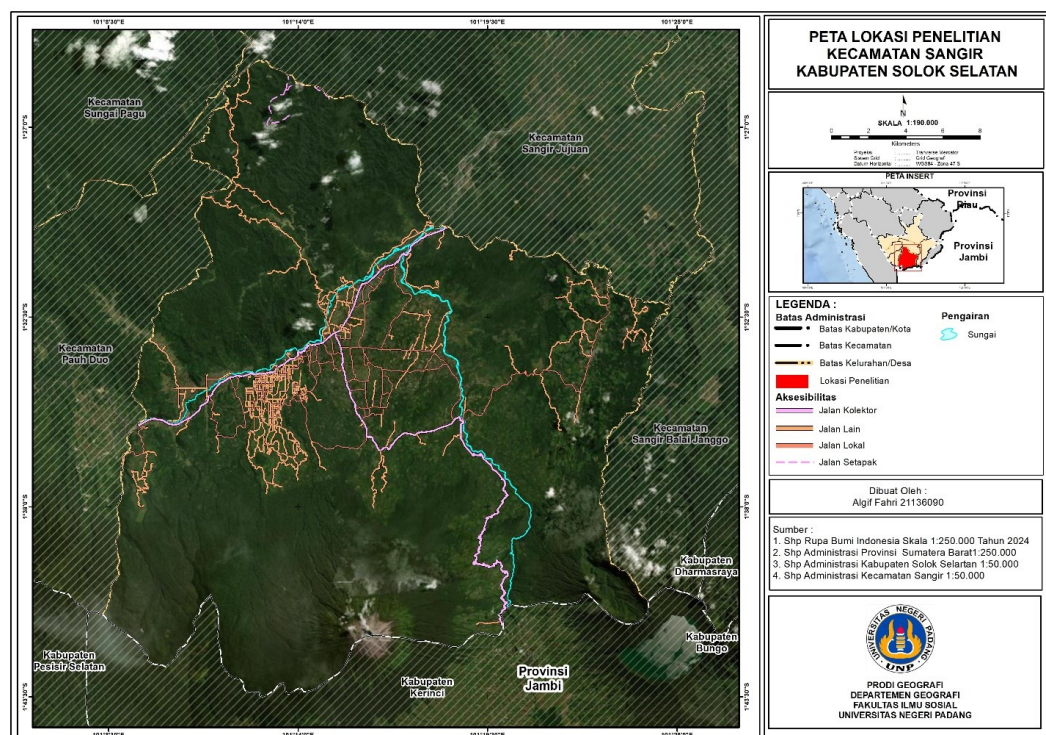
EVI, memiliki kemampuan yang baik dalam menggambarkan kondisi vegetasi (Frananda & Hartono, 2015). Hal ini memperkuat pentingnya penggunaan indeks vegetasi tidak hanya dalam estimasi karbon, tetapi juga sebagai indikator kunci dalam analisis deforestasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian yang berjudul “Analisis Spasial Deforestasi Kawasan Hutan Lindung di Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan” ini bertujuan untuk menganalisis luas dan perubahan tutupan lahan di kawasan hutan lindung Kecamatan Sangir pada periode 2018–2025, mengidentifikasi pola spasial deforestasi, serta menguji akurasi hasil klasifikasi citra penginderaan jauh. Melalui pemanfaatan citra Sentinel-2A dan analisis spasial, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai dinamika deforestasi di wilayah penelitian serta menjadi dasar ilmiah bagi perumusan kebijakan pengelolaan hutan lindung yang berkelanjutan di tingkat daerah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini kuantitatif merupakan dengan pendekatan spasial-deskriptif. Analisis dilakukan menggunakan data penginderaan jauh (citra Sentinel-2A) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan yang mengindikasikan deforestasi. Metode klasifikasi berbasis Random Forest diimplementasikan melalui platform Google Earth Engine (GEE), dengan validasi dan optimasi fitur dilakukan di Google Colab.

Penelitian dilaksanakan di kawasan hutan lindung Kecamatan Sangir, Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat, pada periode Juni–Juli 2025.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Jenis data dan sumber data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi citra satelit Sentinel-2A tahun 2018 dan 2025, hasil survei lapangan (ground truthing) yang digunakan untuk validasi hasil klasifikasi, serta peta administrasi dari BPS dan BIG dan peta kawasan hutan lindung yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Sementara itu, data sekunder mencakup peta administrasi (BPS & BIG) dan peta kawasan hutan lindung (KLHK) yang digunakan sebagai data pendukung dalam proses analisis spasial dan interpretasi hasil penelitian.

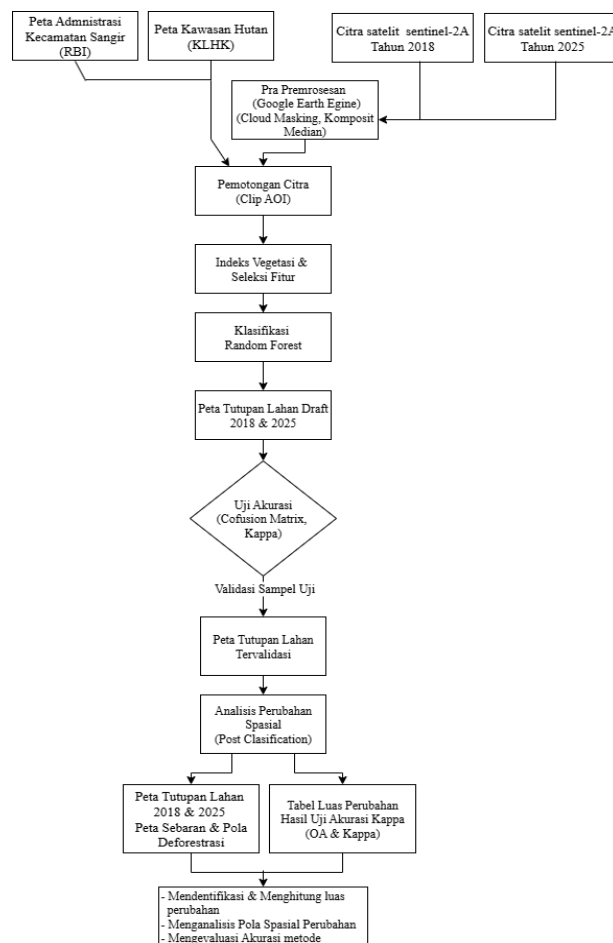
Teknik pengumpulan data

Tahapan analisis dalam penelitian ini terdiri atas beberapa langkah utama. Pertama, dilakukan pra-pemrosesan citra yang meliputi koreksi atmosferik, cloud masking, komposit median, serta perhitungan berbagai indeks vegetasi seperti NDVI, SAVI, dan NDWI menggunakan Google Earth Engine (GEE) untuk meningkatkan kualitas dan akurasi data. Kedua, dilakukan klasifikasi tutupan lahan dengan menggunakan algoritma Random Forest untuk menghasilkan peta tutupan lahan yang representatif. Ketiga, dilakukan validasi model melalui perhitungan confusion matrix dan koefisien kappa dengan pembagian data sebesar 70% untuk training dan 30% untuk testing guna mengukur tingkat akurasi klasifikasi. Selanjutnya, dilakukan analisis perubahan tutupan lahan menggunakan metode post-classification comparison dengan membandingkan peta hasil klasifikasi tahun 2018 dan 2025 untuk mengidentifikasi perubahan spasial, khususnya peralihan dari hutan menjadi non-hutan sebagai indikasi deforestasi.

Prosedur penelitian

Proses penelitian ini meliputi beberapa tahapan utama, dimulai dengan pengumpulan data berupa akuisisi citra satelit dan peta administrasi wilayah. Selanjutnya dilakukan pra-pemrosesan citra yang mencakup koreksi atmosferik, cloud masking, komposit median, serta perhitungan indeks vegetasi untuk meningkatkan kualitas data. Tahap berikutnya adalah klasifikasi menggunakan algoritma Random Forest guna memodelkan dan menentukan kelas tutupan lahan. Setelah klasifikasi, dilakukan validasi model melalui evaluasi akurasi menggunakan confusion matrix dan kappa coefficient untuk memastikan keandalan hasil. Tahap analisis perubahan lahan kemudian dilakukan untuk mendeteksi transisi dari hutan menjadi non-hutan sebagai indikasi deforestasi. Akhirnya, seluruh temuan disajikan dalam bentuk peta tematik, tabel statistik, diagram, dan analisis spasial deskriptif sebagai hasil akhir penelitian.

Diagram alir penelitian



Gambar 2. Alur Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Umum Daerah Penelitian

Kecamatan Sangir memiliki luas wilayah 646,9 km² dengan koordinat 1°28'–1°49' LS dan 101°17'–101°43' BT. Wilayah ini mencakup kawasan hutan lindung seluas 5.870,6 ha yang menjadi bagian penting dari sistem ekologi di Kabupaten Solok Selatan. Topografi wilayah umumnya berbentuk perbukitan dan pegunungan dengan ketinggian 500–1.400 mdpl.

Kondisi geografis ini menyebabkan variasi bentuk penggunaan lahan, di mana area datar di lembah dimanfaatkan untuk pertanian dan permukiman, sedangkan lereng curam masih didominasi oleh hutan lindung. Secara spasial, kawasan hutan Sangir berperan sebagai zona penyangga bagi Taman Nasional Kerinci Seblat (TNKS).

Kecamatan Sangir, Kabupaten Solok Selatan, memiliki luas ±79.699 ha dengan topografi bergelombang hingga bergunung (500–2.800 mdpl). Wilayah ini dilalui Pegunungan Bukit Barisan dan sebagian berada dalam kawasan Taman Nasional Kerinci Seblat (TNKS) yang menjadi penyangga ekosistem kritis di Sumatera Barat. Kondisi ini menjadikan kawasan tersebut rawan terhadap tekanan antropogenik seperti pembukaan lahan.

Sebaran Tutupan Lahan Tahun 2018 dan 2025

Hasil klasifikasi citra Sentinel-2A menggunakan algoritma Random Forest menghasilkan enam kelas tutupan lahan: Hutan Lahan Kering Sekunder, Perkebunan, Ladang, Sawah, Lahan Terbuka, dan Permukiman.

Tabel 1. Perubahan Tutupan Lahan Hutan Lindung Tahun 2018–2025.

Kelas Lahan	2018 (ha)	2025 (ha)	Perubahan (ha)	Tren
Hutan Lahan Kering	4512,95	4063,26	–449,69	Turun
Ladang	10,94	32,72	21,78	Naik
Lahan Terbuka	697,24	1040,25	343,01	Naik
Perkebunan	582,87	681,59	98,73	Naik
Sawah	67,54	52,71	–14,83	Turun

Sumber: Analisis Citra Sentinel-2A (2025)

Dari tabel di atas terlihat bahwa luasan hutan lahan kering sekunder mengalami penurunan sebesar 449,69 ha atau sekitar 9,96% selama periode 2018–2025. Sebaliknya, kelas non-hutan seperti lahan terbuka dan ladang mengalami peningkatan yang cukup signifikan.

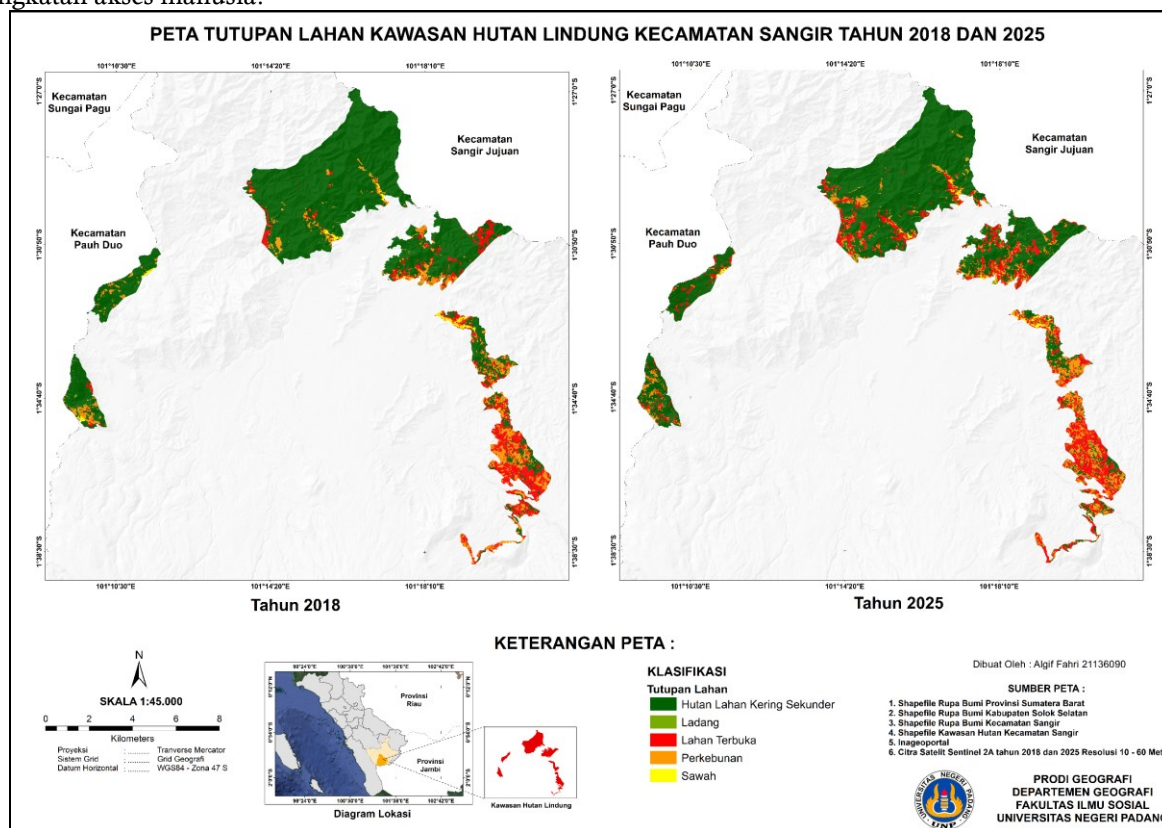
Berdasarkan hasil klasifikasi citra Sentinel-2A menggunakan algoritma Random Forest, diperoleh peta perbandingan tutupan lahan tahun 2018 dan 2025. Pada tahun 2018, Hutan Lahan Kering Sekunder mendominasi dengan luas 4.512,95 ha (72,6%), sedangkan pada tahun 2025 luasnya menurun menjadi 4.063,26 ha (65,3%). Sebaliknya, kelas non-hutan seperti Lahan Terbuka dan Perkebunan meningkat masing-masing sebesar 343,01 ha dan 98,72 ha.

Perubahan ini menggambarkan proses fragmentasi hutan yang semakin meluas terutama di wilayah dengan aksesibilitas tinggi, seperti tepi jalan dan kawasan dekat permukiman. Hasil ini sejalan dengan temuan Gaveau dkk. (2016) di Sumatera, bahwa deforestasi cenderung terkonsentrasi di area dengan akses mudah, serta penelitian Rahman (2020) yang menunjukkan kecenderungan serupa di Solok Selatan, di mana hutan lindung mulai tergantikan oleh ladang dan perkebunan rakyat.

Dari sisi spasial, area perubahan terbesar terdapat di blok selatan dan timur Kecamatan Sangir. Pola perubahan yang dominan berupa transisi hutan menjadi lahan terbuka dan ladang, yang menunjukkan bahwa pembukaan lahan pertanian subsisten merupakan penyebab utama deforestasi. Pola edge encroachment



(perambahan tepi) juga terlihat jelas di sekitar batas luar kawasan hutan, sebagaimana dikemukakan oleh Laurance dkk. (2011) bahwa tepi hutan tropis lebih rentan terhadap gangguan akibat tekanan antropogenik dan peningkatan akses manusia.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Tahun 2018-2025

Analisis Kuantitatif Perubahan Tutupan Lahan

Analisis kuantitatif dilakukan untuk menegaskan besaran perubahan yang terjadi pada masing-masing kelas tutupan lahan selama periode 2018–2025. Pendekatan ini berfungsi melengkapi analisis visual, dengan memberikan informasi numerik yang dapat diukur secara objektif. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh data sebagaimana disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Luas Perubahan Tutupan Lahan (2018–2025)

No	Tutupan Lahan	Luas 2018 (Ha)	Luas 2025 (Ha)	Perubahan (Ha)	Perubahan (%)
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	4512,95	4063,26	-449,69	-9,96%
2	Ladang	412,87	532,72	119,85	29,02%
3	Lahan Terbuka	697,24	1040,25	343,01	49,19%
4	Perkebunan	582,87	681,59	98,72	16,94%
5	Sawah	289,13	252,71	-36,42	-12,60%

Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas hutan lahan kering sekunder mengalami penurunan luas paling signifikan, yakni sebesar 449,69 hektare (–9,96%). Penurunan ini menggambarkan laju deforestasi yang cukup tinggi di kawasan hutan lindung Kecamatan Sangir. Sebaliknya, kelas lahan terbuka dan ladang menunjukkan peningkatan paling besar, masing-masing sebesar 49,19% dan 29,02%. Kondisi ini menandakan adanya konversi hutan menjadi lahan non-vegetatif dan area pertanian subsisten.

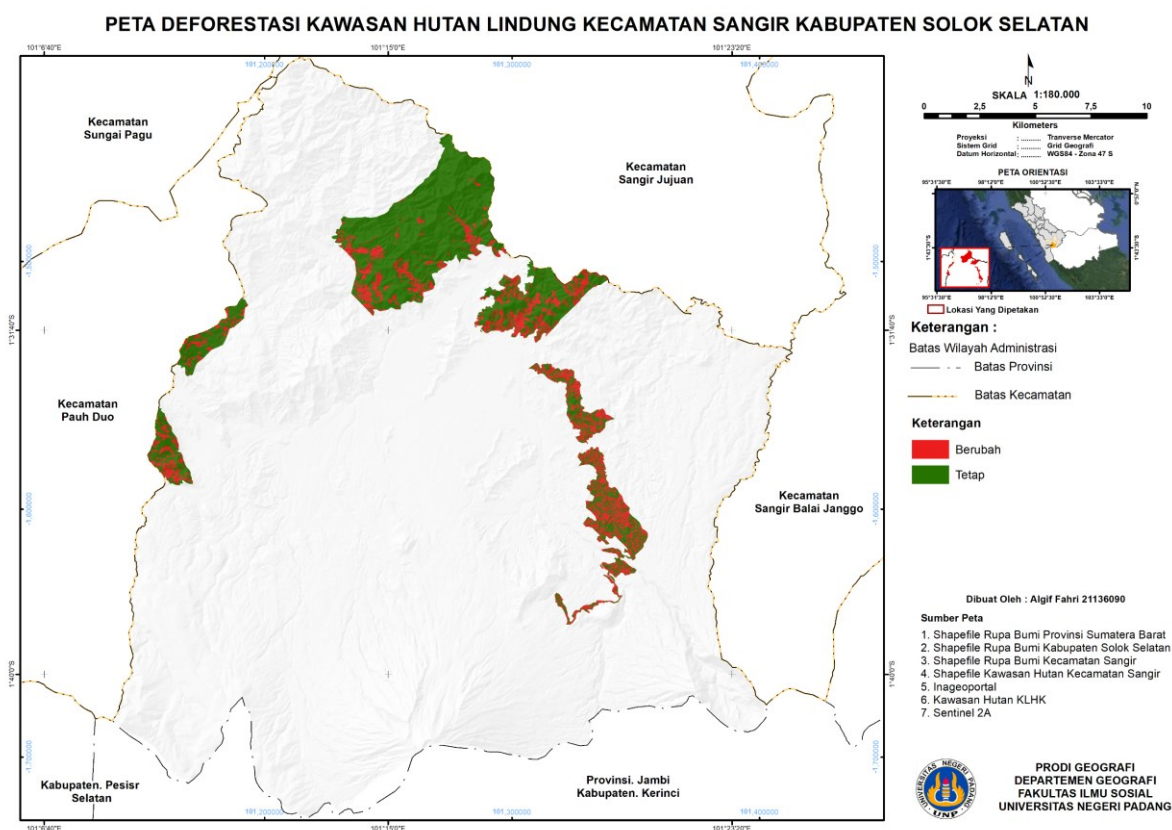
Peningkatan luas pada perkebunan (16,94%) menunjukkan ekspansi aktivitas ekonomi masyarakat, sementara penurunan luas sawah (–12,60%) mengindikasikan adanya alih fungsi lahan pertanian menjadi bentuk



penggunaan lain. Temuan ini sejalan dengan penelitian Jaya (2014) dan Miettinen dkk. (2011) yang menyatakan bahwa tekanan aktivitas manusia di sekitar kawasan lindung sering kali memicu perubahan tutupan lahan yang cepat dan tidak terkendali.

Secara umum, hasil kuantitatif ini mengonfirmasi bahwa hutan lindung di Kecamatan Sangir mengalami degradasi cukup signifikan dalam kurun waktu tujuh tahun. Pola ini memperlihatkan dinamika yang kompleks antara kebutuhan ekonomi masyarakat dan keberlanjutan fungsi ekologis kawasan hutan.

Identifikasi Lokasi Perubahan Tutupan Lahan (Deforestasi)



Gambar 4. Peta Deforestasi Hutan Lindung 2018–2025

Peta Gambar 3 memperlihatkan persebaran spasial deforestasi di kawasan hutan lindung Kecamatan Sangir. Berdasarkan hasil interpretasi citra, perubahan tutupan lahan tidak terjadi secara merata, tetapi terkonsentrasi di beberapa lokasi yang dapat disebut sebagai hotspot deforestasi.

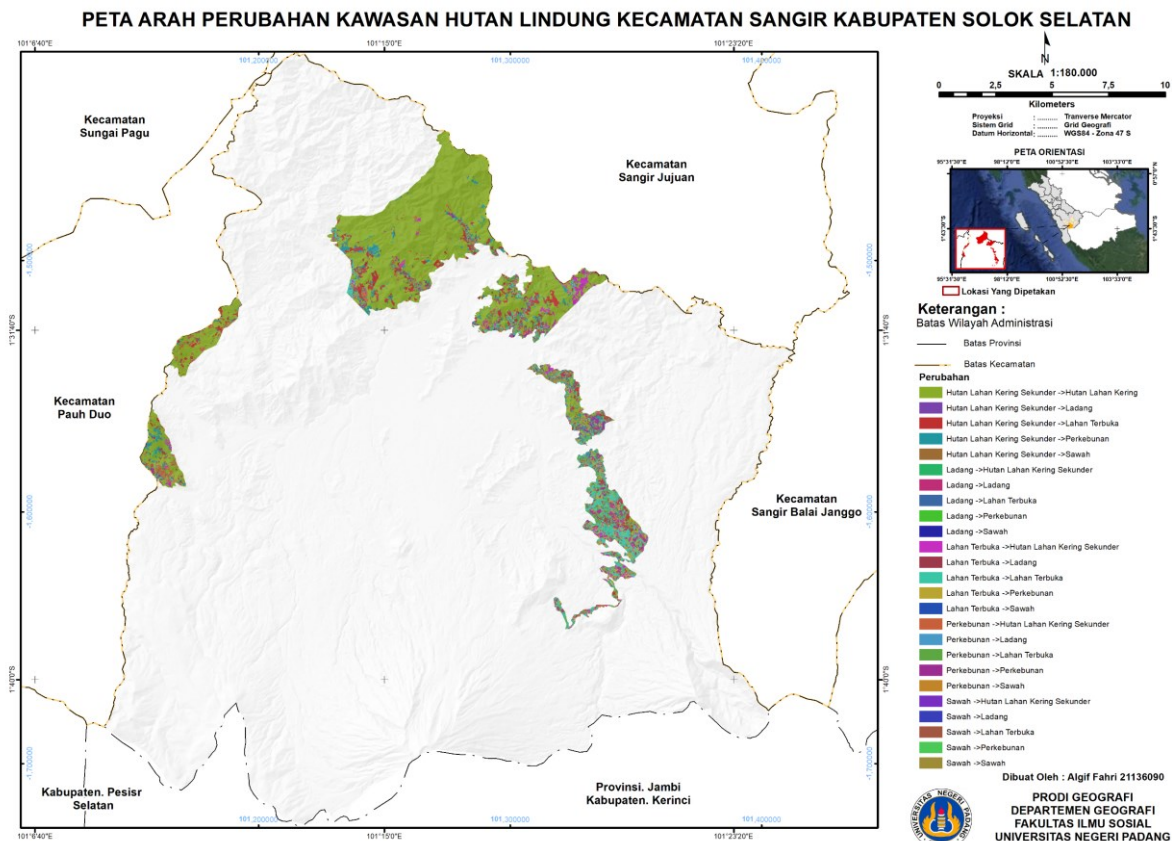
Bagian blok selatan kawasan menunjukkan tingkat degradasi yang paling tinggi. Tutupan hutan pada area ini banyak berubah menjadi lahan terbuka dan ladang. Skala perubahan yang besar mengindikasikan adanya tekanan kuat dari aktivitas masyarakat, terutama pembukaan lahan pertanian subsisten dan perluasan kebun masyarakat. Kondisi ini sejalan dengan temuan Laurance dkk. (2011), yang menyatakan bahwa wilayah dengan aksesibilitas tinggi cenderung lebih rentan terhadap kehilangan tutupan hutan.

Sementara itu, pada tepi blok utara ditemukan pola *edge encroachment* atau perambahan dari tepi hutan. Pola ini memperlihatkan bahwa perubahan dimulai dari batas luar kawasan hutan dan kemudian meluas ke bagian dalam. Adapun inti blok utara relatif masih stabil dengan tutupan hutan yang dominan. Faktor topografi curam dan keterbatasan akses jalan diduga menjadi pelindung alami terhadap perambahan.

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa aksesibilitas merupakan faktor kunci yang memengaruhi intensitas perubahan. Area yang berdekatan dengan jalan, sungai, dan permukiman lebih mudah mengalami deforestasi dibandingkan area yang terpencil. Oleh karena itu, strategi pengelolaan hutan lindung di Kecamatan Sangir perlu mempertimbangkan pendekatan berbasis zonasi kerentanan akses, dengan prioritas pengawasan pada zona dengan tekanan tinggi.



Analisis Jenis Perubahan Tutupan Lahan



Gambar 5. Peta Arah Perubahan Tutupan Lahan 2018–2025

Analisis arah perubahan tutupan lahan (Gambar 4). Hasil overlay menunjukkan beberapa pola utama, antara lain:

1. Transisi Hutan → Lahan Terbuka

Menjadi pola dominan yang menggambarkan pembukaan lahan tanpa konversi langsung ke fungsi budidaya. Fenomena ini sering terjadi pada tahap awal aktivitas illegal logging atau klaim lahan baru.

2. Transisi Hutan → Ladang

Merupakan jenis perubahan terbesar kedua. Pola ini menandakan bahwa aktivitas pertanian tradisional subsisten masih menjadi motor utama perubahan lanskap.

3. Stabilitas Perkebunan dan Sawah

Kedua kelas ini relatif stabil sepanjang periode pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa lahan budidaya permanen cenderung tetap terjaga setelah terbentuk.

Pola-pola tersebut memiliki implikasi ekologis yang signifikan. Perubahan dari hutan menjadi lahan terbuka atau ladang tidak hanya mengurangi luas vegetasi, tetapi juga menyebabkan fragmentasi habitat, efek tepi (edge effect), dan penurunan daya dukung ekologis kawasan. Jika dibiarkan berlanjut, proses ini dapat mempercepat degradasi hutan dan mengancam keberlanjutan fungsi lindungnya.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa deforestasi di Kecamatan Sangir didorong terutama oleh pembukaan lahan skala kecil berbasis masyarakat, bukan oleh ekspansi perkebunan besar. Namun demikian, pola perubahan yang tersebar dan berulang ini berpotensi menciptakan mosaik lanskap terfragmentasi, yang pada jangka panjang dapat menghambat upaya konservasi hutan dan mempercepat proses degradasi ekosistem.

Uji Akurasi Klasifikasi

Uji akurasi dilakukan dengan *confusion matrix* menggunakan 150 titik sampel acak hasil verifikasi lapangan dan Google Earth.



Tabel 3. Hasil Uji Akurasi Klasifikasi Citra Sentinel-2A

Tahun	Overall Accuracy (OA)	Kappa Coefficient	Interpretasi
2018	89,91%	0,85	Akurasi sangat baik
2025	89,08%	0,82	Akurasi sangat baik

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2025).

Uji akurasi menggunakan *confusion matrix* menghasilkan nilai *Overall Accuracy (OA)* sebesar 89,91% (2018) dan 89,08% (2025), dengan Kappa Coefficient masing-masing 0,85 dan 0,82. Nilai ini menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil klasifikasi dan data referensi (Congalton & Green, 2019; Jensen, 2016).

Nilai Kappa di atas 0,80 menandakan *strong agreement*, menunjukkan reliabilitas tinggi hasil klasifikasi. Hasil ini konsisten dengan temuan Rodriguez-Galiano *et al.* (2012) dan Purwanto dkk. (2021) yang melaporkan bahwa algoritma Random Forest mampu mencapai akurasi di atas 85% pada klasifikasi citra Sentinel-2. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya menangani variasi spektral kompleks dan mencegah *overfitting* (Breiman, 2001; Foody, 2002).

Dengan demikian, penggunaan citra Sentinel-2A dan algoritma Random Forest dalam penelitian ini terbukti efektif untuk mendeteksi dinamika perubahan tutupan lahan di kawasan hutan tropis dengan tingkat akurasi yang tinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Kecamatan Sangir memiliki karakteristik geografis berupa topografi bergelombang hingga bergunung dengan ketinggian 500–2.800 mdpl yang menjadikannya bagian penting dari ekosistem Pegunungan Bukit Barisan serta zona penyangga Taman Nasional Kerinci Seblat (TNKS). Analisis tutupan lahan menggunakan citra Sentinel-2A tahun 2018 dan 2025 menunjukkan bahwa kawasan hutan lindung mengalami deforestasi signifikan, dengan penurunan luas hutan lahan kering sekunder sebesar 449,69 ha (–9,96%), terutama di bagian selatan dan tepi utara yang memiliki aksesibilitas tinggi terhadap jalan dan permukiman. Sementara itu, lahan terbuka dan ladang meningkat masing-masing sebesar 49,19% dan 29,02%, menunjukkan adanya aktivitas pembukaan lahan pertanian subsisten. Uji akurasi klasifikasi citra menghasilkan nilai Overall Accuracy di atas 89% dan Kappa Coefficient di atas 0,8, menandakan reliabilitas tinggi hasil klasifikasi. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa deforestasi di Kecamatan Sangir didominasi oleh aktivitas masyarakat skala kecil yang memanfaatkan lahan hutan untuk pertanian, sehingga diperlukan kebijakan pengelolaan berbasis zonasi dan penguatan peran masyarakat lokal guna menjaga keberlanjutan fungsi ekologis kawasan hutan lindung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Karya ini didukung oleh Universitas Negeri Padang melalui Fakultas Ilmu Sosial sebagai lembaga pembina akademik yang telah memberikan bimbingan, fasilitas, serta dukungan administratif selama proses penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Pemerintah Kecamatan Sangir dan Dinas Kehutanan Kabupaten Solok Selatan atas izin dan kerja samanya dalam pelaksanaan penelitian di kawasan hutan lindung. Dukungan dana penelitian ini diperoleh secara mandiri tanpa bantuan dari lembaga pendanaan eksternal. Penulis turut berterima kasih kepada para dosen pembimbing, rekan sejawat, serta seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan motivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asian Development Bank (ADB). (2016). *Muara Laboh geothermal project: Environmental management plan*. Manila: ADB.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). *Klasifikasi penutup lahan (SNI 7645:2010)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.



- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Chen, J., Li, X., Wang, Y., & Zhang, H. (2021). Accuracy assessment of land cover classification using confusion matrix and Kappa statistics. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Cuenca, P., Armenteras, D., & Rodríguez, N. (2024). Forest cover change in the tropical Andes: Patterns and drivers. *Ecological Indicators*, 160, 107080. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.107080>.
- European Space Agency (ESA). (2015). *Sentinel-2 user handbook*. ESA Standard Document. https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Global forest resources assessment 2020: Main report*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4).
- Forest Watch Indonesia (FWI). (2020). *Potret keadaan hutan Indonesia 2020*. Bogor: Forest Watch Indonesia.
- Frananda, H., Hartono, H., & Jatmiko, R. H. (2015). Komparasi indeks vegetasi untuk estimasi stok karbon hutan mangrove kawasan Segoro Anak pada kawasan Taman Nasional Alas Purwo Banyuwangi, Jawa Timur. *Majalah Ilmiah Globe*, 17(2), 113–123.
- Gaveau, D. L. A., Locatelli, B., Salim, M. A., Yaen, H., Pacheco, P., & Sheil, D. (2016). How are Indonesia's forests doing? An independent assessment of the state of the forests and their management. *Biological Conservation*, 216, 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.008>.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2).
- Jaya, I. N. S. (2014). *Pengolahan citra digital: Teori dan aplikasinya dalam bidang penginderaan jauh*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Jensen, J. R. (2016). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (4th ed.). New York: Pearson.
- Kartodihardjo, H., & Supriono, A. (2021). *The impact of sectoral development on natural forest conversion and degradation: The case of timber and tree crop plantations in Indonesia*. CIFOR Occasional Paper. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Laurance, W. F., Goosem, M., & Laurance, S. G. W. (2009). Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 659–669. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.009>.
- Margono, B. A., Potapov, P. V., Stolle, F., & Hansen, M. C. (2014). Primary forest cover loss in Indonesia over 2000–2012. *Nature Climate Change*, 4(8), 730–735. <https://doi.org/10.1038/nclimate2277>.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK). (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.54/Menlhk/Setjen/Kum.1/6/2016 tentang tata cara penetapan fungsi pokok kawasan hutan*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S. C. (2011). Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology*, 17(7), 2261–2270. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02398.x>



- Purwanto, R., Ardiansyah, F., & Hidayat, A. (2021). Evaluasi akurasi klasifikasi penutup lahan menggunakan algoritma Random Forest pada citra Sentinel-2. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Indonesia*, 3(1), 15–25.
- Rahman, A. (2020). Analisis perubahan tutupan hutan di Kabupaten Solok Selatan menggunakan citra Landsat. *Jurnal Geografi dan Lingkungan*, 18(2), 85–97.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>.
- Winarso, H., & Siregar, C. (2022). Monitoring land cover change in West Sumatra using Sentinel-2. *Indonesian Journal of Geography*, 54(3), 245–260. <https://doi.org/10.22146/ijg.65432>.

