



## Tipologi Lanskap Berbasis Biofisik, Sosial Ekonomi, dan Spasial untuk Pengembangan Multiusaha Kehutanan KPHP Kerinci

*(Landscape Typology Based on Biophysical, Socioeconomic, and Spatial Variables for Multiple-Use Forestry Development in KPHP Kerinci)*

Neneng Susanti<sup>1\*</sup>, I Nengah Surati Jaya<sup>2</sup>, Handian Purwawangsa<sup>2</sup>, & Nining Pusaningsih<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

<sup>2</sup> Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

### Informasi Artikel:

Submitted : 03 September 2026  
Revised : 16 Oktober 2026  
Accepted : 18 Oktober 2026  
Published : 22 Oktober 2026

### \* Penulis Korespondensi:

Neneng Susanti  
Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan,  
Sekolah Pascasarjana, IPB University,  
Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa  
Barat 16680, Indonesia  
e-mail: [nenengkincai@gmail.com](mailto:nenengkincai@gmail.com)  
Telp: +628212231980

Makila 20 (2) 2026: 531-546

DOI:  
<https://doi.org/10.30598/makila.v20i2.27831>



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Copyright ©2026 Author(s): Neneng Susanti, I Nengah Surati Jaya, Handian Purwawangsa, & Nining Pusaningsih

Journal homepage:

<https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila>

Journal e-mail: [makilajournal@gmail.com](mailto:makilajournal@gmail.com)

Research Article · [Open Access](#)

### ABSTRACT

*Multiple-use forestry requires site-specific allocation because forest landscapes simultaneously contain ecological values, resource potential, accessibility differences, and human pressures. This study aimed to develop a landscape typology of KPHP Kerinci by integrating biophysical, socioeconomic, and spatial variables as a basis for differentiated multiple-use forestry development. The analysis used 580 spatial grid units and 19 basic variables. Spatial dependence was assessed using Global Moran's I and Local Indicators of Spatial Association. Sixteen attribute variables and 19 local spatial indicators were integrated into 35 initial features. An initial agglomerative hierarchical clustering model was followed by stepwise discriminant selection, resulting in 10 principal differentiating variables, and the clustering was rerun using Ward's method and Euclidean distance. All basic variables showed positive and significant spatial autocorrelation. The parsimonious 10-variable model identified three landscape typologies with improved internal clustering indices relative to the full 35-feature model, achieving a Silhouette Index of 0.494 and a Calinski-Harabasz Index of 188.18. The two models showed highly similar cluster memberships (Adjusted Rand Index = 0.953), indicating substantial consistency between the alternative feature representations. The typology provides a spatially explicit basis for spatially differentiated allocation of conservation, environmental services, community-based utilization, and sustainable forest production strategies according to local landscape characteristics.*

**KEYWORDS:** *landscape typology; multiple-use forestry; hierarchical clustering; spatial autocorrelation; KPHP Kerinci*

### INTISARI

Multiusaha kehutanan memerlukan diferensiasi pengelolaan berbasis tapak karena satu lanskap hutan secara bersamaan memiliki nilai ekologis, potensi sumber daya, perbedaan aksesibilitas, dan tekanan aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan membangun tipologi lanskap KPHP Kerinci melalui integrasi peubah biofisik, sosial ekonomi, dan spasial sebagai dasar pengembangan multiusaha kehutanan yang terdiferensiasi. Analisis menggunakan 580 unit grid dan 19

peubah dasar. Ketergantungan spasial dianalisis menggunakan Global Moran's I dan Local Indicators of Spatial Association. Sebanyak 16 peubah atribut dan 19 indikator spasial lokal diintegrasikan menjadi 35 peubah awal. Model awal Agglomerative Hierarchical Clustering dilanjutkan dengan seleksi stepwise discriminant yang menghasilkan 10 peubah pembeda utama, kemudian klusterisasi diulang menggunakan metode Ward dan jarak Euclidean. Seluruh peubah dasar menunjukkan autokorelasi spasial positif dan signifikan. Model ringkas berbasis 10 peubah menghasilkan tiga tipologi lanskap dengan peningkatan indikator validitas internal pengelompokan dibandingkan model lengkap 35 peubah, sebagaimana ditunjukkan oleh Silhouette Index sebesar 0,494 dan Calinski-Harabasz Index sebesar 188,18. Kedua model memperlihatkan tingkat kesesuaian keanggotaan klaster yang tinggi (Adjusted Rand Index = 0,953), yang menunjukkan konsistensi struktur pengelompokan antara kedua representasi peubah. Tipologi ini menyediakan dasar spasial untuk mendukung alokasi strategi pengelolaan yang berbeda (*spatially differentiated allocation*) bagi fungsi konservasi, jasa lingkungan, pemanfaatan berbasis masyarakat, dan produksi hutan berkelanjutan sesuai dengan karakteristik lokal lanskap.

**KATA KUNCI:** tipologi lanskap; multiusaha kehutanan; klusterisasi hierarkis aglomeratif; autokorelasi spasial; KPHP Kerinci

## PENDAHULUAN

Kebijakan pemanfaatan hutan di Indonesia bergerak dari orientasi usaha berbasis komoditas tunggal menuju pengelolaan yang memungkinkan diversifikasi manfaat hutan dalam satu kesatuan pengelolaan. Kerangka penyelenggaraan kehutanan memberi ruang bagi pemanfaatan kawasan, jasa lingkungan, hasil hutan kayu, hasil hutan bukan kayu, dan bentuk pemungutan hasil hutan secara terpadu. Perubahan tersebut memperluas peluang ekonomi kehutanan, tetapi sekaligus meningkatkan kebutuhan untuk menentukan jenis usaha yang sesuai dengan daya dukung dan sensitivitas setiap bagian lanskap (Pemerintah Republik Indonesia, 2021; Suryanto *et al.* 2023). Perubahan regulasi berikutnya juga memperkuat integrasi pemanfaatan hutan dan jasa lingkungan, sehingga tuntutan terhadap perencanaan berbasis karakter tapak menjadi semakin besar (Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, 2025).

Secara konseptual, multiusaha kehutanan tidak identik dengan menempatkan sebanyak mungkin kegiatan usaha pada seluruh areal. Keberhasilannya ditentukan oleh kemampuan pengelola mengelola trade-off antara konservasi biodiversitas, produksi, jasa lingkungan, akses masyarakat, kelayakan ekonomi, dan kesesuaian ekologis. Kerangka multiusaha menekankan diversifikasi manfaat dalam satu kesatuan pengelolaan, sedangkan agenda pembangunan hutan berkelanjutan mensyaratkan keseimbangan antara kepentingan ekologis dan ekonomi (Nurrochmat

*et al.* 2021; Nurrochmat *et al.* 2022). Kajian terbaru menunjukkan bahwa implementasi multiusaha memerlukan kombinasi kelayakan sosial, ekonomi, dan ekologis, serta dukungan kelembagaan, akses pasar, dan kesesuaian kondisi kawasan (Hardjanto *et al.* 2024; Widiyanto *et al.* 2026). Dengan demikian, persoalan utama multiusaha kehutanan bukan hanya ketersediaan pilihan usaha, tetapi juga bagaimana mengalokasikan pilihan tersebut secara tepat pada ruang yang heterogen.

Kesatuan Pengelolaan Hutan merupakan level pengelolaan yang strategis untuk menerjemahkan heterogenitas tersebut ke dalam keputusan tapak. Pada skala KPH, perbedaan topografi, tutupan lahan, aksesibilitas, potensi hasil hutan, keberadaan satwa, dan karakter masyarakat dapat membentuk unit-unit pengelolaan dengan fungsi serta tingkat sensitivitas yang berbeda (Groß *et al.*, 2024). Pengelolaan yang seragam berisiko menempatkan kegiatan produksi pada lokasi bernilai konservasi tinggi atau, sebaliknya, membatasi peluang ekonomi pada lokasi yang secara ekologis dan sosial memungkinkan pemanfaatan lebih intensif. Bukti dari pengelolaan hutan masyarakat menunjukkan pentingnya dimensi penghidupan, sementara pendekatan spasial pada tingkat KPH berguna untuk memilih opsi manajerial di tingkat tapak (Hutauruk *et al.* 2016; Astuti *et al.* 2020). Perencanaan kehutanan juga semakin menuntut integrasi aspek agraria, sosial, dan berbagai tujuan pengelolaan pada lanskap yang sama (Rustiadi & Veriasa 2022; Başkent *et al.* 2024).

Tipologi lanskap dapat menjembatani kebutuhan tersebut dengan mengelompokkan unit ruang berdasarkan kesamaan karakteristik dan menempatkan setiap kelompok sebagai dasar diferensiasi pengelolaan (Daulay *et al.*, 2023; Purwandari & Herdianto, 2024). Pendekatan klasifikasi lanskap telah digunakan untuk mengidentifikasi struktur wilayah dan merangkum banyak indikator menjadi kelompok yang lebih operasional untuk perencanaan (Long *et al.* 2010; Carlier *et al.* 2021; Lausch *et al.* 2026). Pada konteks kehutanan, pemodelan kesesuaian lahan juga menunjukkan bahwa karakter biofisik tapak perlu dipertemukan dengan pilihan penggunaan atau komoditas agar arahan pengelolaan tidak seragam (Soraya *et al.* 2022). Namun, tipologi yang hanya menggunakan atribut nonspasial belum sepenuhnya menangkap fakta bahwa nilai suatu lokasi dapat dipengaruhi oleh kondisi lokasi di sekitarnya.

Konektivitas habitat, konsentrasi permukiman, pola penggunaan lahan, dan distribusi satwa merupakan proses yang memiliki struktur keruangan. KPHP Kerinci memperlihatkan heterogenitas yang kuat pada kondisi biofisik, pola pemanfaatan lahan, keberadaan satwa, aksesibilitas, dan kondisi sosial ekonomi. Heterogenitas tersebut relevan langsung terhadap multiusaha kehutanan karena satu bagian lanskap dapat lebih tepat diarahkan pada perlindungan habitat dan jasa lingkungan, sedangkan bagian lain lebih sesuai untuk pengembangan hasil hutan, agroforestri, atau kegiatan berbasis masyarakat (Sunusi *et al.*, 2021).

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka tipologi lanskap KPHP Kerinci yang mengintegrasikan karakteristik biofisik, sosial ekonomi, dan asosiasi spasial lokal melalui analisis kluster hierarkis serta seleksi peubah pembeda. Integrasi tersebut memungkinkan

identifikasi kelompok lanskap berdasarkan kombinasi atribut tapak dan konteks keruangannya, sekaligus mengevaluasi sejauh mana penyederhanaan peubah dapat mempertahankan struktur pengelompokan. Kontribusi penelitian diarahkan pada penyediaan informasi spasial pendukung keputusan untuk diferensiasi pengembangan multiusaha kehutanan dengan mempertimbangkan potensi sumber daya, sensitivitas ekologis, dan karakteristik lokal wilayah pengelolaan.

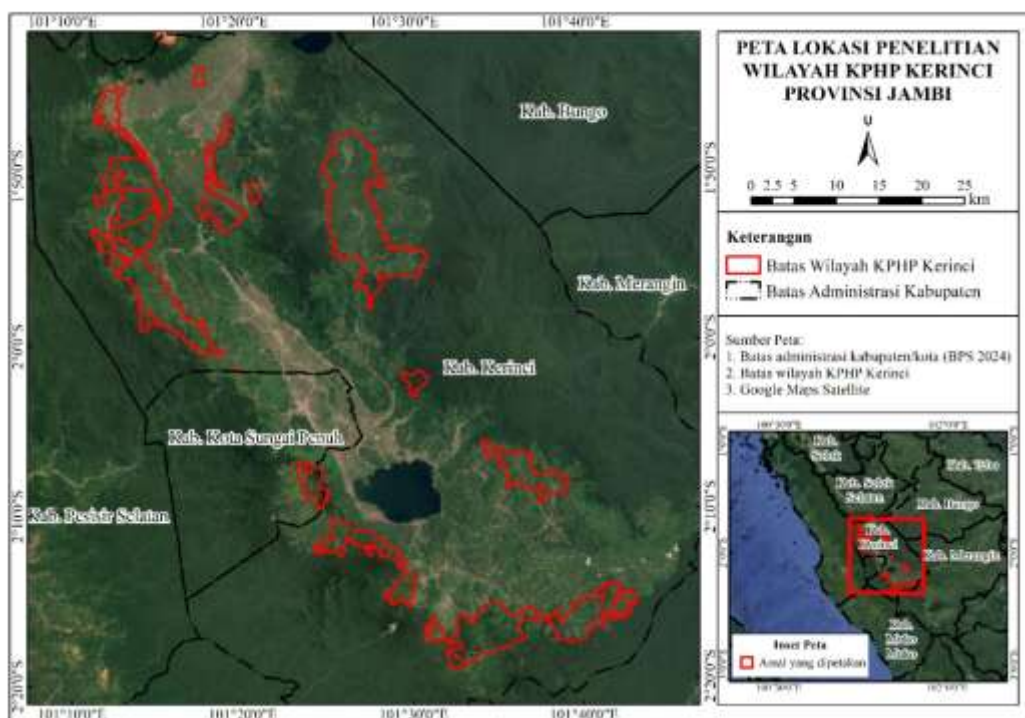
## METODE PENELITIAN

### Lokasi, unit analisis, dan peubah penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada wilayah Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP) Kerinci Unit I, Provinsi Jambi. Unit analisis dalam penelitian ini berupa 580 grid spasial yang digunakan untuk merepresentasikan variasi karakteristik lanskap pada tingkat tapak. Peubah penelitian disusun untuk menggambarkan tiga dimensi utama pembentuk karakter lanskap, yaitu aspek biofisik, fisik/spasial, dan sosial ekonomi.

Dimensi biofisik mencakup peubah yang berkaitan dengan kondisi ekologis dan potensi sumber daya hutan, meliputi elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, tutupan lahan, indikator hasil hutan kayu dan hasil hutan bukan kayu, serta keberadaan satwa. Dimensi fisik/spasial merepresentasikan aspek keruangan yang berkaitan dengan aksesibilitas dan keterhubungan antarwilayah, meliputi jarak terhadap kawasan hutan, jaringan jalan, sungai, dan permukiman. Sementara itu, dimensi sosial ekonomi mencakup karakteristik aktivitas manusia dan pola pemanfaatan ruang yang direpresentasikan melalui penggunaan lahan, jumlah penduduk, dan tingkat upah harian.

Sebanyak 19 peubah dasar digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik awal lanskap. Selanjutnya, sebanyak 16 peubah atribut dikombinasikan dengan 19 indikator spasial yang dihasilkan melalui analisis *Local Indicators of Spatial Association* (LISA), sehingga membentuk 35 peubah pembentuk tipologi. Integrasi antara peubah atribut dan indikator spasial dilakukan untuk memastikan bahwa model tipologi tidak hanya menggambarkan karakteristik internal setiap grid, tetapi juga mempertimbangkan keterkaitan spasial dengan unit-unit lanskap di sekitarnya. Lokasi penelitian dan batas wilayah KPHP Kerinci disajikan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian KPHP Kerinci Unit I.

### Analisis spasial dan integrasi peubah

Hubungan spasial antarunit grid direpresentasikan menggunakan matriks bobot spasial (*spatial weights matrix*) berbasis *distance band*. Dua unit grid dianggap memiliki hubungan spasial apabila berada dalam batas jarak yang telah ditentukan. Matriks bobot ini digunakan untuk menggambarkan keterkaitan antarunit analisis berdasarkan kedekatan geografis. Bobot spasial selanjutnya dilakukan standarisasi baris (*row-standardization*) sebelum digunakan dalam perhitungan Global Moran's I dan Local Indicators of Spatial Association (LISA). Autokorelasi spasial global diuji menggunakan Global Moran's I untuk mengetahui apakah distribusi nilai peubah cenderung mengelompok, menyebar, atau acak. Selanjutnya, LISA digunakan untuk menangkap pola asosiasi lokal dan pencilan spasial pada setiap peubah. Signifikansi statistik Global Moran's I dan LISA diuji menggunakan pendekatan permutasi acak dengan 999 kali pengulangan. Tingkat signifikansi ditetapkan pada nilai  $p < 0,05$ .

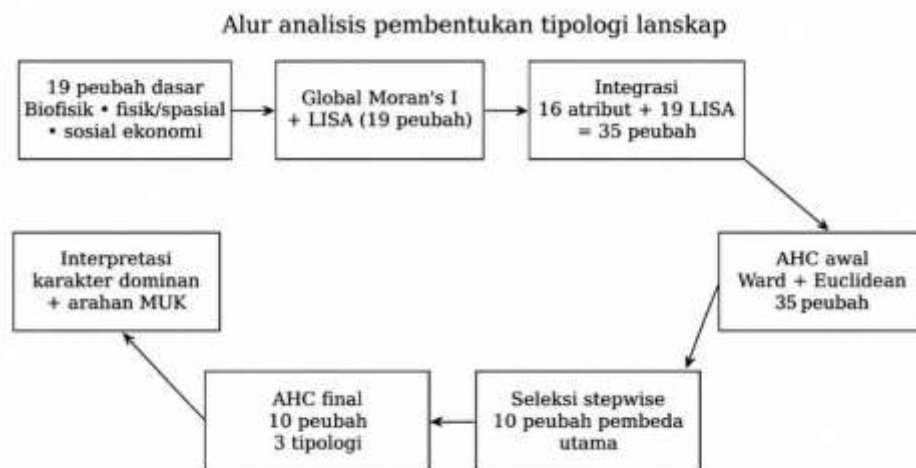
Nilai statistik hasil observasi dibandingkan dengan distribusi nilai dari permutasi untuk menentukan keberadaan pola autokorelasi spasial yang signifikan. Seluruh indikator LISA kemudian diintegrasikan dengan peubah atribut sehingga model awal tidak hanya merepresentasikan karakteristik suatu grid, tetapi juga posisi grid tersebut dalam struktur keruangan di sekitarnya. Pendekatan ini digunakan karena pengembangan multiusaha kehutanan membutuhkan informasi mengenai kondisi tapak sekaligus konteks spasialnya.

### Seleksi peubah dan pembentukan tipologi

Sebanyak 35 peubah awal dianalisis melalui matriks korelasi dan Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) untuk memperoleh struktur pengelompokan awal. Keanggotaan klaster yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai dasar stepwise discriminant analysis guna mengidentifikasi peubah dengan kemampuan diskriminasi relatif paling tinggi terhadap kelompok awal. Sepuluh peubah terpilih kemudian digunakan untuk membangun kembali model AHC. Sebelum pengelompokan, seluruh peubah distandardisasi, ketidakmiripan antarunit dihitung menggunakan jarak Euclidean, dan penggabungan klaster dilakukan dengan metode Ward. Karena seleksi peubah didasarkan pada keanggotaan klaster yang dibentuk dari data yang sama, hasil analisis diskriminan diinterpretasikan sebagai evaluasi internal terhadap struktur pengelompokan, bukan sebagai validasi independen terhadap tipologi yang dihasilkan.

### Evaluasi model dan interpretasi tipologi

Jumlah klaster dibandingkan untuk solusi dua sampai lima kelompok menggunakan Silhouette Index dan Calinski-Harabasz Index. Konsistensi model parsimonious dibandingkan dengan model 35 peubah menggunakan Adjusted Rand Index. Model final dipilih apabila mampu mempertahankan struktur klaster, meningkatkan keterpisahan antar kelompok, dan menyediakan jumlah peubah yang lebih operasional untuk pembaruan data. Keseluruhan alur analisis ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Alur analisis pembentukan tipologi lanskap berbasis peubah biofisik, sosial ekonomi, dan spasial.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rasionalitas integrasi peubah untuk multiusaha kehutanan

Inventarisasi peubah menunjukkan bahwa karakteristik lanskap KPHP Kerinci dalam mendukung pengembangan multiusaha kehutanan bersifat kompleks dan tidak dapat dijelaskan hanya melalui satu kelompok karakteristik tertentu. Peubah biofisik yang meliputi topografi, jenis

tanah, tutupan lahan, potensi hasil hutan kayu dan bukan kayu, serta keberadaan satwa digunakan untuk menggambarkan kapasitas ekologis, potensi sumber daya, dan tingkat sensitivitas lingkungan suatu wilayah. Sementara itu, peubah fisik/spasial berupa jarak terhadap jalan dan permukiman merepresentasikan tingkat aksesibilitas serta intensitas interaksi antara manusia dan kawasan hutan. Adapun peubah sosial ekonomi yang mencakup penggunaan lahan, jumlah penduduk, dan upah harian digunakan untuk menggambarkan pola pemanfaatan ruang, tekanan aktivitas manusia, serta kondisi ekonomi masyarakat sekitar kawasan.

Integrasi ketiga kelompok peubah tersebut mencerminkan prinsip pengelolaan hutan berkelanjutan yang menempatkan aspek ekologis, ekonomi, dan sosial sebagai komponen yang saling berkaitan dalam suatu kesatuan ruang pengelolaan (Nurrochmat *et al.* 2021; Rustiadi & Veriasa 2022; Mutaqin *et al.* 2023). Oleh karena itu, setiap peubah yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan relevansinya terhadap karakteristik lanskap dan kebutuhan diferensiasi strategi multiusaha kehutanan pada tingkat tapak. Rincian peubah dasar beserta rasionalitas penggunaannya disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Peubah dasar penelitian dan rasionalitas penggunaannya dalam pembentukan tipologi lanskap

| Kode       | Peubah                                   | Kelompok         | Rasionalitas                                                |
|------------|------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------|
| K_ELV      | Kelas elevasi                            | Biofisik         | Gradien topografi dan kondisi ekologis                      |
| K_SLP      | Kelas kemiringan lereng                  | Biofisik         | Topografi, keterbatasan tapak, dan sensitivitas pemanfaatan |
| K_CTD      | Jarak ke kawasan hutan                   | Fisik/spasial    | Kedekatan terhadap inti kawasan berhutan                    |
| K_JLN      | Jarak ke jalan                           | Fisik/spasial    | Aksesibilitas dan potensi tekanan manusia                   |
| K_SNG      | Jarak ke sungai                          | Fisik/spasial    | Keterkaitan dengan jaringan hidrologi                       |
| K_PMK      | Jarak ke permukiman                      | Fisik/spasial    | Intensitas interaksi manusia-lanskap                        |
| K_PGHN     | Penggunaan lahan                         | Sosial ekonomi   | Pola pemanfaatan ruang dan aktivitas manusia                |
| K_JTNH     | Jenis tanah                              | Biofisik         | Karakter edafik dan kesesuaian tapak                        |
| K_TUPLAH   | Tutupan lahan                            | Biofisik         | Struktur vegetasi dan kondisi penutup lahan                 |
| K_HHBK_KAM | Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) kayu manis | Biofisik/ekonomi | Potensi hasil hutan bukan kayu                              |
| K_HHBK_KOP | Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) kopi       | Biofisik/ekonomi | Potensi hasil hutan bukan kayu                              |
| K_HHK_SRN  | Hasil Hutan Kayu (HHK) surian            | Biofisik/ekonomi | Potensi hasil hutan kayu                                    |

| Kode      | Peubah             | Kelompok         | Rasionalitas                                 |
|-----------|--------------------|------------------|----------------------------------------------|
| K_HHK     | Hasil Hutan Kayu   | Biofisik/ekonomi | Potensi fungsi produksi kehutanan            |
| STW_HRM   | Keberadaan harimau | Biofisik         | Nilai biodiversitas dan sensitivitas habitat |
| K_STW_SMG | Keberadaan siamang | Biofisik         | Nilai biodiversitas dan konektivitas habitat |
| STW_MYT   | Keberadaan monyet  | Biofisik         | Kondisi biologis/fauna lanskap               |
| STW_ULR   | Keberadaan ular    | Biofisik         | Kondisi biodiversitas dan karakter habitat   |
| JUM_PEN   | Jumlah penduduk    | Sosial ekonomi   | Tekanan dan intensitas aktivitas manusia     |
| UP_HARIAN | Upah harian        | Sosial ekonomi   | Kondisi ekonomi dan biaya tenaga kerja       |

Hasil analisis Global Moran's I menunjukkan bahwa seluruh 19 peubah dasar memiliki autokorelasi spasial positif dan signifikan ( $p < 0,001$ ), dengan tingkat kekuatan asosiasi yang berbeda antarpeubah. Hasil ini menunjukkan adanya ketergantungan spasial pada seluruh karakteristik lanskap yang dianalisis. Nilai Global Moran's I dan z-score setiap peubah disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Global Moran's I peubah pembentuk tipologi lanskap KPHP Kerinci

| Peubah     | Moran's I | z-score | p-value |
|------------|-----------|---------|---------|
| K_ELV      | 0,625     | 29,62   | <0,001  |
| K_SLP      | 0,517     | 24,49   | <0,001  |
| K_CTD      | 0,820     | 38,81   | <0,001  |
| K_JLN      | 0,735     | 34,89   | <0,001  |
| K_SNG      | 0,315     | 17,99   | <0,001  |
| K_PMK      | 0,847     | 40,09   | <0,001  |
| K_PGHN     | 0,549     | 25,97   | <0,001  |
| K_JTNH     | 0,545     | 25,80   | <0,001  |
| K_TUPLAH   | 0,384     | 18,24   | <0,001  |
| K_HHBK_KAM | 0,319     | 15,13   | <0,001  |
| K_HHBK_KOP | 0,323     | 15,33   | <0,001  |
| K_HHK_SRN  | 0,294     | 13,98   | <0,001  |
| K_HHK      | 0,379     | 17,94   | <0,001  |
| STW_HRM    | 0,608     | 28,77   | <0,001  |
| K_STW_SMG  | 0,881     | 41,97   | <0,001  |
| STW_MYT    | 0,893     | 42,30   | <0,001  |
| STW_ULR    | 0,640     | 30,72   | <0,001  |
| JUM_PEN    | 0,675     | 31,97   | <0,001  |
| UP_HARIAN  | 0,694     | 32,84   | <0,001  |

Kekuatan autokorelasi spasial berbeda antarpeubah. Nilai tertinggi ditemukan pada STW\_MYT (0,893), K\_STW\_SMG (0,881), dan K\_PMK (0,847), yang menunjukkan kecenderungan pengelompokan spasial yang kuat pada keberadaan satwa tertentu dan kedekatan terhadap

permukiman. Sebaliknya, K\_HHK\_SRN (0,294), K\_SNG (0,315), dan K\_HHBK\_KAM (0,319) memiliki nilai lebih rendah, tetapi tetap menunjukkan autokorelasi positif dan signifikan. Temuan ini menegaskan bahwa karakteristik penting bagi multiusaha kehutanan tidak tersebar secara acak. Oleh karena itu, pembentukan LISA diperlukan untuk menangkap hotspot, coldspot, dan pencilon spasial yang tidak dapat direpresentasikan apabila model hanya menggunakan atribut setiap grid secara terpisah.

Temuan tersebut memperkuat rasionalitas penggunaan tipologi sebagai dasar pengembangan multiusaha kehutanan. Multiusaha pada dasarnya membutuhkan pencocokan antara jenis manfaat hutan dan karakter ruang. Pemodelan kesesuaian agroforestri menunjukkan pentingnya mencocokkan kebutuhan komoditas dengan karakter biofisik tapak, sementara studi kelayakan multiusaha menegaskan perlunya mempertimbangkan aspek ekologis selain penerimaan dan kelayakan finansial (Soraya *et al.* 2022; Widiyanto *et al.* 2026). Dengan demikian, diferensiasi ruang bukan sekadar kebutuhan kartografis, tetapi merupakan prasyarat untuk mengurangi risiko ketidaksesuaian antara rencana usaha dan daya dukung lanskap.

#### Seleksi peubah utama dan penyederhanaan model

Dari 35 peubah awal, *stepwise discriminant analysis* memilih 10 peubah pembeda utama, yaitu STW\_ULR, LISA\_SMG, K\_STW\_SMG, LISA\_ULR, LISA\_JPEN, LISA\_HRM, LISA\_SLP, LISA\_JTNH, K\_HHBK\_KOP, dan LISA\_HHKSRN. Empat peubah yang pertama terseleksi dalam prosedur *stepwise discriminant analysis* adalah STW\_ULR, LISA\_SMG, K\_STW\_SMG, dan LISA\_ULR. Berdasarkan nilai Partial R<sup>2</sup>, STW\_ULR dan LISA\_SMG menunjukkan kontribusi terbesar dalam membedakan kelompok. Komposisi peubah terpilih menunjukkan bahwa informasi atribut dan pola spasial sama-sama berperan dalam membedakan tipologi lanskap, dengan dominasi peubah spasial pada model parsimonious. Nilai Partial R<sup>2</sup> dan signifikansi masing-masing peubah disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Peubah pembeda utama hasil *stepwise discriminant analysis*

| Urutan Seleksi | Peubah    | Representasi           | Partial R <sup>2</sup> | p-value |
|----------------|-----------|------------------------|------------------------|---------|
| 1              | STW_ULR   | Atribut biofisik       | 0,908                  | <0,001  |
| 2              | LISA_SMG  | Spasial biodiversitas  | 0,901                  | <0,001  |
| 3              | K_STW_SMG | Atribut biofisik       | 0,188                  | <0,001  |
| 4              | LISA_ULR  | Spasial biodiversitas  | 0,146                  | <0,001  |
| 5              | LISA_JPEN | Spasial sosial ekonomi | 0,031                  | 0,002   |
| 6              | LISA_HRM  | Spasial biodiversitas  | 0,033                  | 0,001   |
| 7              | LISA_SLP  | Spasial topografi      | 0,024                  | 0,008   |
| 8              | LISA_JTNH | Spasial biofisik       | 0,022                  | 0,012   |

| Urutan Seleksi | Peubah      | Representasi        | Partial R <sup>2</sup> | p-value |
|----------------|-------------|---------------------|------------------------|---------|
| 9              | K_HHBK_KOP  | Atribut HHBK        | 0,024                  | 0,009   |
| 10             | LISA_HHKSRN | Spasial hasil hutan | 0,018                  | 0,029   |

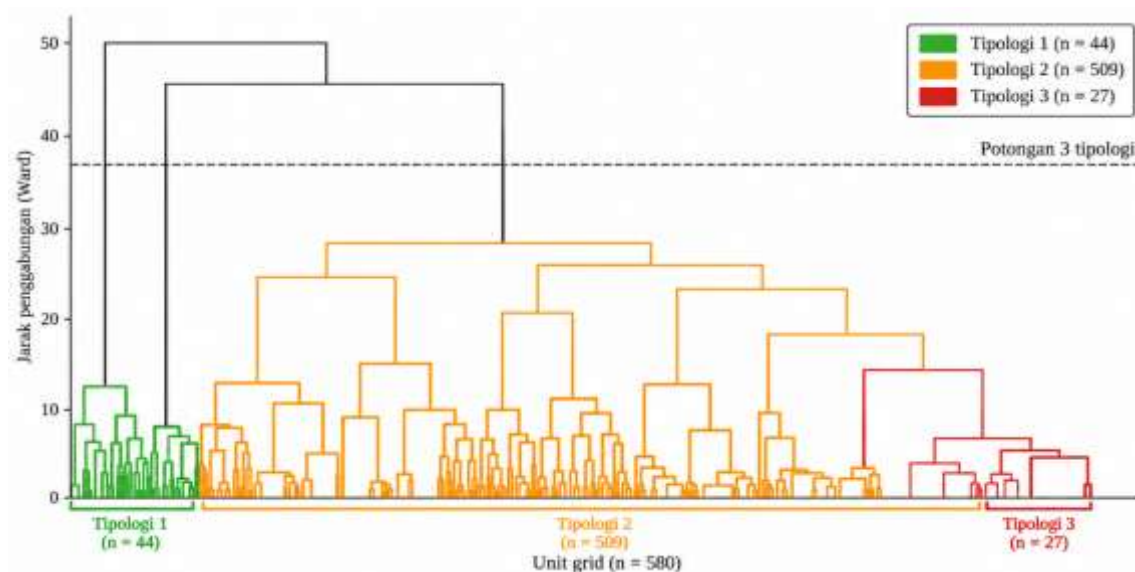
Model 35 peubah menghasilkan tiga klaster dengan Silhouette Index 0,209 dan Calinski-Harabasz Index 51,23. Setelah disederhanakan menjadi 10 peubah, solusi tiga klaster tetap dipertahankan, tetapi kualitas pemisahan meningkat menjadi Silhouette Index 0,494 dan Calinski-Harabasz Index 188,18. Struktur keanggotaan kedua model juga sangat konsisten dengan Adjusted Rand Index 0,953. Perbandingan kedua model ditampilkan pada Tabel 4. Peningkatan ini menunjukkan bahwa reduksi peubah mengurangi redundansi tanpa menghilangkan struktur utama lanskap, sehingga model final lebih parsimonious dan lebih mudah diterapkan untuk pembaruan tipologi. Nilai Partial R<sup>2</sup> yang tinggi pada STW\_ULR dan LISA\_SMG menunjukkan bahwa kedua peubah memiliki kemampuan diskriminasi yang kuat terhadap kelompok hasil klasterisasi awal. Namun, nilai tersebut perlu diinterpretasikan dalam konteks prosedur seleksi yang bersifat internal (*data-driven*), karena kelompok awal yang digunakan dalam analisis diskriminan berasal dari hasil AHC berdasarkan fitur yang sama. Dengan demikian, Partial R<sup>2</sup> dalam penelitian ini menunjukkan kontribusi relatif peubah dalam membedakan struktur kelompok yang terbentuk, bukan hubungan independen atau hubungan kausal

**Tabel 4.** Perbandingan model penuh dan model parsimonious

| Model              | Peubah | Tipologi | Komposisi grid | Silhouette | Calinski-Harabasz |
|--------------------|--------|----------|----------------|------------|-------------------|
| Model penuh        | 35     | 3        | 47-27-506      | 0,209      | 51,23             |
| Model parsimonious | 10     | 3        | 44-27-509      | 0,494      | 188,18            |

### Tipologi lanskap final

AHC final membentuk tiga tipologi dengan komposisi 44 grid (7,59%), 509 grid (87,76%), dan 27 grid (4,66%). Struktur hierarkis dan titik pemotongan menjadi tiga kelompok ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan centroid peubah pembeda pada masing-masing kelompok disajikan pada Tabel 5. Label tipologi kemudian disusun berdasarkan karakter dominan masing-masing kelompok, bukan berdasarkan urutan numerik klaster semata.



**Gambar 3.** Dendrogram AHC model final menggunakan 10 peubah pembeda utama; garis putus-putus menunjukkan pemotongan menjadi tiga tipologi.

Tabel 5. Distribusi kode peubah utama pada tiga tipologi lanskap final

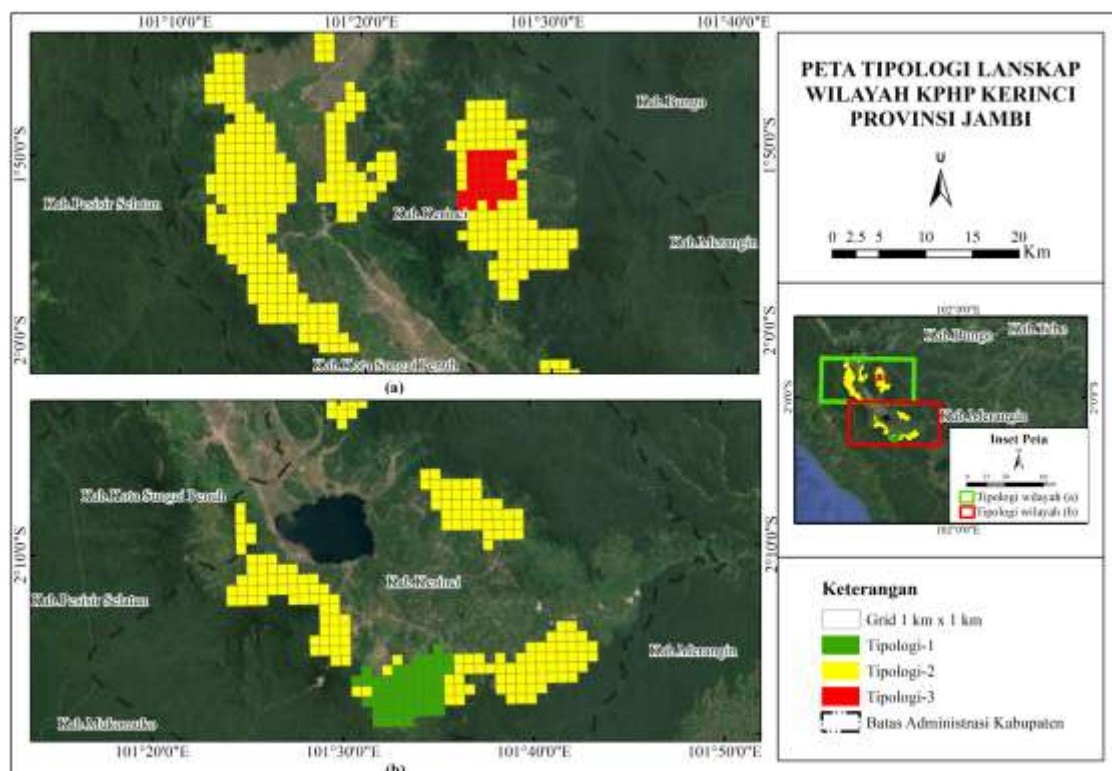
| Peubah      | Tipologi 1 (n=44) | Tipologi 2 (n=509) | Tipologi 3 (n=27) |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| STW_ULR     | 0,00              | 0,00               | 1,00              |
| LISA_SMG    | 3,00              | 0,05               | 0,00              |
| K_STW_SMG   | 1,00              | 0,00               | 0,00              |
| LISA_ULR    | 0,00              | 0,13               | 3,00              |
| LISA_JPEN   | 2,57              | 0,75               | 0,78              |
| LISA_HRM    | 1,91              | 1,14               | 0,96              |
| LISA_SLP    | 1,18              | 0,83               | 0,78              |
| LISA_JTNH   | 2,09              | 0,98               | 0,11              |
| K_HHBK_KOP  | 0,36              | 0,23               | 0,93              |
| LISA_HHKSRN | 0,91              | 0,39               | 2,04              |

Tipologi 1 memperlihatkan dominasi indikator spasial biodiversitas yang kuat. Kelompok ini dicirikan oleh dominasi kategori LISA\_SMG tertentu dan keberadaan siamang, yang menunjukkan pola pengelompokan spasial terkait biodiversitas pada unit lanskap tersebut. Nilai LISA\_HRM, LISA\_JPEN, LISA\_SLP, dan LISA\_JTNH juga relatif tinggi dibanding kelompok lain. Kombinasi ini menunjukkan bahwa fungsi ekologis kelompok tidak hanya berasal dari keberadaan satwa, tetapi juga dari konteks spasial habitat, topografi, dan karakter tanah. Implikasi multiusaha pada tipologi ini perlu menempatkan konservasi biodiversitas sebagai batas ekologis utama. Kegiatan yang relatif kompatibel adalah jasa lingkungan, karbon, pemanfaatan non-ekstraktif, pengayaan habitat, dan pemanfaatan hasil hutan bukan kayu yang terukur apabila tidak meningkatkan fragmentasi maupun gangguan satwa (Duflet *et al.*, 2021).

Tipologi 2 mencakup sebagian besar wilayah dan memiliki centroid yang umumnya berada pada tingkat menengah. Kelompok ini tidak menunjukkan ekstrem biodiversitas maupun ekstrem

pemanfaatan hasil hutan seperti dua kelompok lainnya. Posisi tersebut membuatnya paling sesuai dipahami sebagai lanskap transisi, yaitu ruang yang secara bersamaan memerlukan pemeliharaan fungsi ekologis dan pengembangan manfaat ekonomi (Nurda & Habibie, 2023). Multiusaha pada kelompok ini dapat diarahkan pada kombinasi agroforestri konservatif, hasil hutan bukan kayu, jasa lingkungan, usaha berbasis masyarakat, rehabilitasi produktif, serta pemeliharaan koridor satwa. Diversifikasi agroforestri dapat memperluas manfaat sosial-ekologis, sedangkan multiusaha hasil hutan bukan kayu memerlukan penguatan kelembagaan dan diversifikasi usaha yang sesuai dengan kondisi kawasan (Willmott *et al.* 2023; Hardjanto *et al.* 2024).

Tipologi 3 memiliki karakter yang berbeda. Keberadaan ular mencapai 1,00 dengan LISA\_ULR sebesar 3,00, sedangkan K\_HHBK\_KOP sebesar 0,93 dan LISA\_HHKSRLN sebesar 2,04. Kelompok ini dengan demikian memperlihatkan potensi pemanfaatan hasil hutan yang tinggi sekaligus sensitivitas biodiversitas yang tidak dapat diabaikan. Arahan multiusaha pada kelompok ini sebaiknya tidak langsung diposisikan sebagai zona produksi intensif, tetapi sebagai lanskap pemanfaatan terkendali. Pengembangan hasil hutan kayu dan bukan kayu perlu disertai safeguards habitat, mitigasi konflik satwa, pembatasan bukaan, dan monitoring perubahan penggunaan lahan (Suab *et al.*, 2024). Pendekatan ini lebih konsisten dengan prinsip multiusaha sebagai optimasi berbagai manfaat hutan daripada maksimalisasi satu komoditas.



**Gambar 4.** Sebaran spasial tiga tipologi lanskap KPHP Kerinci.

Sebaran spasial ketiga tipologi ditunjukkan pada **Gambar 4**. Peta memperlihatkan bahwa Tipologi 2 mendominasi unit grid KPHP Kerinci, sedangkan Tipologi 1 dan Tipologi 3 membentuk

kelompok yang lebih terlokalisasi pada bagian tertentu dari lanskap. Pola ini konsisten dengan komposisi klaster hasil AHC, yaitu 509 grid pada Tipologi 2, 44 grid pada Tipologi 1, dan 27 grid pada Tipologi 3. Penyajian spasial tersebut penting untuk menerjemahkan hasil klasifikasi statistik menjadi dasar diferensiasi pengelolaan multiusaha kehutanan pada unit ruang yang nyata.

### Implikasi terhadap pengembangan multiusaha kehutanan

Hasil tipologi menunjukkan bahwa permasalahan utama multiusaha kehutanan di KPHP Kerinci bukan kekurangan pilihan usaha, melainkan kebutuhan untuk membedakan intensitas dan kombinasi usaha menurut kapasitas serta sensitivitas lanskap. Tabel 6 merangkum karakter dominan setiap tipologi dan arahan indikatif multiusaha kehutanan. Arahan tersebut bersifat pendukung keputusan dan tetap memerlukan verifikasi fungsi kawasan, status legal, daya dukung, kelayakan komoditas, dan kondisi lapangan sebelum diterjemahkan menjadi rencana usaha.

**Tabel 6.** Karakter dominan dan arahan indikatif multiusaha kehutanan berdasarkan tipologi lanskap

| Tipologi                                                             | Jumlah grid  | Karakter dominan                                                                                 | Arahan indikatif multiusaha kehutanan                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Lanskap Konservasi Biodiversitas                                  | 44 (7,59%)   | Siamang dan pola spasial satwa tinggi; indikator topografi dan tanah menonjol                    | Jasa lingkungan, karbon, perlindungan habitat, pemanfaatan non-ekstraktif, HHBK terbatas dan terukur                       |
| 2. Lanskap Transisi Multiusaha                                       | 509 (87,76%) | Sebagian besar indikator berada pada tingkat menengah; fungsi ekologis dan pemanfaatan beririsan | Agroforestri konservatif, HHBK, jasa lingkungan, rehabilitasi produktif, usaha berbasis masyarakat, koridor satwa          |
| 3. Lanskap Pemanfaatan Hasil Hutan dengan Sensitivitas Biodiversitas | 27 (4,66%)   | Indikator HHBK/HHK dan pola ular tinggi; potensi pemanfaatan disertai sensitivitas habitat       | Pemanfaatan hasil hutan terkendali, <i>safeguards</i> habitat, mitigasi konflik satwa, monitoring tutupan/penggunaan lahan |

**Catatan :** Arahan multiusaha kehutanan bersifat indikatif sebagai informasi pendukung keputusan dan tidak menggantikan fungsi kawasan atau zonasi legal. Implementasinya memerlukan verifikasi lapangan serta penilaian terhadap status dan fungsi kawasan, daya dukung lingkungan, kesesuaian komoditas, aspek legal, dan kelayakan usaha.

Dari perspektif perencanaan, Tipologi 1 berfungsi sebagai ecological constraint bagi pengembangan usaha, Tipologi 2 sebagai ruang utama diversifikasi usaha yang adaptif, dan Tipologi 3 sebagai ruang pemanfaatan hasil hutan dengan pengendalian biodiversitas yang lebih ketat. Pembagian ini tidak dimaksudkan menggantikan fungsi kawasan atau zonasi legal. Tipologi berfungsi sebagai *decision-support layer* untuk menyaring pilihan usaha, menentukan kebutuhan verifikasi lapangan, menetapkan prioritas monitoring, dan mengarahkan evaluasi kelayakan bisnis secara lebih spesifik (Aryawan *et al.*, 2023; Nurrochmat *et al.*, 2023). Pendekatan ini konsisten dengan agenda pembangunan hutan berkelanjutan dan perkembangan perencanaan hutan spasial yang menuntut integrasi berbagai tujuan serta interaksi antarunit lanskap (Nurrochmat *et al.* 2022; Başkent *et al.* 2024; Fard *et al.* 2025; Lausch *et al.* 2026).

Perbandingan model menunjukkan bahwa penyederhanaan dari 35 menjadi 10 peubah meningkatkan nilai Silhouette Index dari 0,209 menjadi 0,494 dan Calinski–Harabasz Index dari 51,23 menjadi 188,18. Kedua model juga menunjukkan kesamaan keanggotaan klaster yang tinggi, dengan Adjusted Rand Index sebesar 0,953. Temuan tersebut mendukung penggunaan model 10 peubah sebagai representasi yang lebih ringkas dan memiliki keterpisahan kelompok yang lebih baik berdasarkan indikator validitas internal yang digunakan. Namun, peningkatan indikator tersebut tidak dapat secara langsung ditafsirkan sebagai bukti validitas eksternal, stabilitas temporal, atau keunggulan prediktif model. Oleh karena itu, evaluasi lanjutan melalui pengujian sensitivitas, validasi lapangan, dan pembaruan data secara berkala diperlukan untuk memperkuat penerapan tipologi dalam perencanaan operasional multiusaha kehutanan.

## **KESIMPULAN**

Integrasi peubah biofisik, sosial ekonomi, dan spasial menghasilkan tiga tipologi lanskap yang dapat digunakan sebagai dasar pendukung keputusan dalam diferensiasi pengembangan multiusaha kehutanan di KPHP Kerinci. Seluruh 19 peubah dasar menunjukkan autokorelasi spasial positif dan signifikan berdasarkan hasil pengujian yang dilaporkan, sehingga analisis karakteristik tapak perlu mempertimbangkan keterkaitannya dengan struktur keruangan. Penyederhanaan model dari 35 menjadi 10 peubah menghasilkan peningkatan Silhouette Index dari 0,209 menjadi 0,494 dan Calinski–Harabasz Index dari 51,23 menjadi 188,18, dengan tingkat kesesuaian keanggotaan klaster yang tinggi antara kedua model (Adjusted Rand Index = 0,953). Model final mengidentifikasi tiga kelompok, yaitu Lanskap Konservasi Biodiversitas sebanyak 44 grid (7,59%), Lanskap Transisi Multiusaha sebanyak 509 grid (87,76%), dan Lanskap Pemanfaatan Hasil Hutan dengan Sensitivitas Biodiversitas sebanyak 27 grid (4,66%). Ketiga tipologi menunjukkan perlunya pendekatan pengelolaan yang terdiferensiasi menurut karakteristik dan sensitivitas lanskap. Tipologi yang dihasilkan berfungsi sebagai instrumen pendukung keputusan, bukan sebagai pengganti penetapan fungsi kawasan atau evaluasi kelayakan usaha. Penerapannya memerlukan verifikasi lapangan, penilaian aspek legal dan ekologis, serta validasi lanjutan untuk memastikan ketepatan rekomendasi pengelolaan pada tingkat operasional.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Sekolah Pascasarjana IPB University, pengelola KPHP Kerinci, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pengumpulan, pengolahan, dan verifikasi data penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aryawan, I. M. A., Paturusi, S. A., Nuarsa, I. W. & Suyasa, I. W. B. 2023. Analysis of the dynamics of changes in landscape ecological structure using geographic information system (GIS) technology in Badung Regency, Bali. *Engineering Solid Mechanics*, 12(1): 81–92. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2023.6.002>
- Astuti, E.W., Hidayat, A. & Nurrochmat, D.R. 2020. Community Forest Scheme: Measuring Impact in Livelihood Case Study Lombok Tengah Regency, West Nusa Tenggara Province. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 26(1): 52-58. <https://doi.org/10.7226/jtftm.26.1.52>
- Başkent, E.Z., Borges, J.G. & Kašpar, J. 2024. An Updated Review of Spatial Forest Planning: Approaches, Techniques, Challenges, and Future Directions. *Current Forestry Reports*, 10(5): 299-321. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00222-8>
- Carlier, J., Doyle, M., Finn, J.A., Ó hUallacháin, D. & Moran, J. 2021. A Landscape Classification Map of Ireland and Its Potential Use in National Land Use Monitoring. *Journal of Environmental Management*, 289: 112498. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112498>
- Daulay, M. H., Susanti, F. D., Laraswati, D., Arthalina, E. C. & Maryudi, A. 2023. New land governance models and management scenarios: Fitting Forest Management Units (FMUs) for forested landscapes outside forest zones in Indonesia. *Forest and Society*, 7(1): 43–60. <https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.23962>
- Dufлот, R., Eyvindson, K. & Mönkkönen, M. 2021. Management diversification increases habitat availability for multiple biodiversity indicator species in production forests. *Landscape Ecology*, 37(2): 443–459. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01375-8>
- Fard, R.P., Soffianian, A., Ahmadi, M. & Pourmanafi, S. 2025. From Pixels to Objects: Integrated Indicators for Balancing Sustainable Management in Protected Areas. *Ecological Informatics*, 91: 103371. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103371>
- Groß, V. von, Sibhatu, K. T., Knohl, A., Qaim, M., Veldkamp, E., Hölscher, D., Zemp, D. C., Corre, M. D., Graß, I., Fiedler, S., Stiegler, C., Irawan, B., Sundawati, L., Husmann, K. & Paul, C. 2024. Transformation scenarios towards multifunctional landscapes: A multi-criteria land-use allocation model applied to Jambi Province, Indonesia. *Journal of Environmental Management*, 356: 120710. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120710>
- Hardjanto, H., Safitri, Y. & Sundawati, L. 2024. Development Strategy of Non-Timber Forest Product Multi-Business Forestry in Social Forestry Partnership. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 14(2): 220. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.2.220>
- Hutauruk, R.R., Puspaningsih, N. & Saleh, M.B. 2016. Spatial Modeling for Determining Managerial Options for Structuring Productivity in KPH Bogor. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 22(3): 169-179. <https://doi.org/10.7226/jtftm.22.3.169>
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. 2025. *Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 23 Tahun 2025 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2021 tentang Tata Hutan dan Penyusunan Rencana Pengelolaan Hutan, serta Pemanfaatan Hutan di Hutan Lindung dan Hutan Produksi*.
- Lausch, A., Selsam, P. & Bumberger, J. 2026. Conceptual Framework for Hybrid Landscape Modelling: The Pixel-Zone-Object Approach and Its Theoretical Foundations. *Ecological Indicators*, 183: 114679. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114679>
- Long, J., Nelson, T. & Wulder, M.A. 2010. Regionalization of Landscape Pattern Indices Using Multivariate Cluster Analysis. *Environmental Management*, 46(1): 134-142. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9510-6>

- Mutaqin, F., Nurrochmat, D.R. & Supriyanto, B. 2023. Evaluating the Sustainability of Forest Utilization in the Protected Areas of Mandalagiri Forest, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(5): 2745-2755. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240528>
- Nurda, N. & Habibie, M. I. 2023. Dampak perubahan lahan melalui pemanfaatan remote sensing dan GIS terhadap kebijakan publik. *Jurnal Lemhannas RI*, 11(2): 45-49. <https://doi.org/10.55960/jlri.v11i2.433>
- Nurrochmat, D.R., Hendroyono, B. & Suryanto. 2021. *Multiusaha Kehutanan: Konsep dan Implementasi Bisnis Kehutanan Berkelanjutan*. Bogor: IPB Press.
- Nurrochmat, D.R., Priyadi, R., Siregar, H., Justianto, A. & Park, M.S. 2021. Transformation of Agro-Forest Management Policy under the Dynamic Circumstances of a Two-Decade Regional Autonomy in Indonesia. *Forests*, 12(4): 419. <https://doi.org/10.3390/f12040419>
- Nurrochmat, D.R., Sahide, M.A.K. & Fisher, M.R. 2022. Making Sustainable Forest Development Work: Formulating an Idea for a More Appropriate Green Policy Paradigm. *Frontiers in Environmental Science*, 10: 783718. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.783718>
- Nurrochmat, N. A., Purnomo, H., Muhdin, M. & Erbaugh, J. T. 2023. Developing sustainable models of agroforest-landscape in Bogor, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(8). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240814>
- Pemerintah Republik Indonesia. 2021. *Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Kehutanan*.
- Purwandari, A. R. & Herdianto, A. 2024. Potret multifungsi hutan di Kabupaten Jember: Dinamika, tantangan, dan strategi pengelolaan berkelanjutan tahun 2024. *BIO-CONS Jurnal Biologi dan Konservasi*, 6(2): 534-546. <https://doi.org/10.31537/biocons.v6i2.2116>
- Rustiadi, E. & Veriasa, T.O. 2022. Towards Inclusive Indonesian Forestry: An Overview of a Spatial Planning and Agrarian Perspective. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 28(1): 60-71. <https://doi.org/10.7226/jtfm.28.1.60>
- Soraya, E., Senawi, Wardhana, W. & Larasati, B. 2022. Spatial Modeling of Land Suitability in Agroforestry Blocks of Gadjah Mada University's Teaching Forest. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 16(2): 219-233. <https://doi.org/10.22146/jik.v16i2.1820>
- Suab, S. A., Supe, H., Louw, A. S., Korom, A., Rakib, M. R. M., Wong, Y. B., Kemarau, R. A. & Avtar, R. 2024. Assessing Borneo's tropical forests and plantations: A multi-sensor remote sensing and geospatial MCDA approach to environmental sustainability. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1337535>
- Sunusi, S., Supratman, S. & Millang, S. 2021. Landscape-based multifunctional plant forest management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 870(1): 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/870/1/012031>
- Suryanto, Nurrochmat, D.R., Tarigan, S., Siregar, I.Z., Yassir, I., Tandio, T. & Abdulah, L. 2023. Defining the Objectives and Roles of Indonesian Production Forest Governance through the Multi-Business Forestry Policy Narrative. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266: 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1266/1/012030>
- Widiyanto, A., Nurrochmat, D.R., Trison, S. & Subarudi. 2026. Feasibility Analysis of Multi-Business Forestry in Social Forestry in Forest Areas with Special Management (KHDPK). *Indonesian Journal of Forestry Research*, 13(1): 123-137. <https://doi.org/10.59465/ijfr.2026.13.1.123-137>
- Willmott, A., Willmott, M., Grass, I., Lusiana, B. & Cotter, M. 2023. Harnessing the Socio-Ecological Benefits of Agroforestry Diversification in Social Forestry with Functional and Phylogenetic Tools. *Environmental Development*, 47: 100881. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100881>