

## **ANALISIS SPASIAL-EKOLOGIS DALAM MENENTUKAN POLA PERSEBARAN VEGETASI PADA EKOSISTEM TROPIS**

**Aulia Putri Nurjanah<sup>1</sup>, Ropi Yanti<sup>2</sup>, Hutri Rizki Amelia<sup>3</sup>, Fatmawati<sup>4</sup>**

Program Studi Pendidikan Geografi Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Email: [aputri35596@gmail.com](mailto:aputri35596@gmail.com), [Yantiropi2@gmail.com](mailto:Yantiropi2@gmail.com), [Hutririzkiamelia.m.pd@uin-suska.ac.id](mailto:Hutririzkiamelia.m.pd@uin-suska.ac.id), [fatmawati01@uin-suska.ac.id](mailto:fatmawati01@uin-suska.ac.id)

### **Abstrak**

Ekosistem tropis merupakan salah satu ekosistem paling kompleks dan kaya secara biologis di muka bumi, namun pola persebaran vegetasi tropis hingga kini masih menjadi tantangan ilmiah yang membutuhkan pendekatan analitis komprehensif. Penelitian ini mengkaji penerapan analisis spasial-ekologis yang mengintegrasikan teknologi penginderaan jauh (remote sensing), Sistem Informasi Geografis (SIG), dan metode statistik ekologi sebagai kerangka metodologis dalam mengidentifikasi dan menjelaskan pola distribusi fitososiologis vegetasi di kawasan hutan hujan tropis. Melalui pemodelan spasial berbasis data citra satelit multitemporal serta analisis faktor lingkungan seperti topografi, iklim mikro, kelembapan tanah, dan gangguan antropogenik, kajian ini menunjukkan bahwa pola persebaran vegetasi tropis bersifat heterogen, bertingkat secara vertikal, dan sangat dipengaruhi oleh gradien lingkungan lokal maupun regional dalam kerangka ekologi lanskap. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan spasial-ekologis terpadu merupakan instrumen yang efektif dan esensial dalam upaya pemantauan, konservasi, dan pengelolaan keanekaragaman hayati kawasan tropis secara berkelanjutan.

Kata kunci: analisis spasial, vegetasi tropis, penginderaan jauh, Sistem Informasi Geografis, ekologi lanskap, distribusi fitososiologis, keanekaragaman hayati.

### **PENDAHULUAN**

Ekosistem tropis merupakan salah satu sistem ekologis paling kompleks dan produktif di bumi karena didukung oleh intensitas radiasi matahari yang tinggi, curah hujan melimpah, serta kestabilan suhu sepanjang tahun. Kondisi tersebut memungkinkan terbentuknya keanekaragaman hayati yang sangat tinggi, terutama pada kawasan hutan hujan tropis yang tersebar di wilayah khatulistiwa seperti Asia Tenggara, Amazon, dan Afrika Tengah. Menurut Whitmore (1998), hutan tropis memiliki struktur vegetasi berlapis yang mencerminkan adaptasi tumbuhan terhadap variasi cahaya, kelembapan, dan kondisi lingkungan lainnya. Keunikan ini menjadikan ekosistem tropis sebagai pusat biodiversitas global sekaligus

penyedia jasa lingkungan penting, seperti penyimpanan karbon, pengatur siklus hidrologi, dan habitat berbagai spesies flora dan fauna.

Persebaran vegetasi pada ekosistem tropis tidak terjadi secara acak, melainkan dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor lingkungan, baik abiotik maupun biotik. Faktor-faktor seperti topografi, iklim, curah hujan, sifat fisik dan kimia tanah, intensitas cahaya, serta gangguan antropogenik berperan dalam menentukan komposisi, struktur, dan pola distribusi vegetasi pada suatu wilayah (Clark et al., 1998; Malhi & Phillips, 2004). Variasi elevasi dan kemiringan lereng, misalnya, dapat memengaruhi suhu lokal, drainase, serta kelembapan tanah yang kemudian menentukan jenis tumbuhan yang mampu beradaptasi pada kondisi tersebut. Selain itu, heterogenitas tanah juga menciptakan mosaik komunitas vegetasi yang berbeda meskipun berada dalam zona iklim yang sama.

Di sisi lain, aktivitas manusia telah menjadi faktor dominan yang mengubah pola distribusi vegetasi tropis di era modern. Deforestasi, fragmentasi habitat, alih fungsi lahan, dan kebakaran hutan menyebabkan perubahan struktur ekosistem serta menurunkan keanekaragaman hayati secara signifikan (Laurance et al., 2011). Perubahan tersebut tidak hanya berdampak pada vegetasi, tetapi juga memengaruhi stabilitas iklim global dan keseimbangan ekologi kawasan tropis. Oleh karena itu, pemahaman mengenai faktor-faktor yang memengaruhi persebaran vegetasi tropis menjadi sangat penting dalam mendukung upaya konservasi, restorasi ekosistem, serta pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pembahasan mengenai kondisi lingkungan ekosistem tropis dan faktor-faktor yang memengaruhi persebaran vegetasi menjadi relevan untuk dikaji secara mendalam. Kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai hubungan antara kondisi lingkungan dan dinamika vegetasi tropis, sekaligus menjadi dasar dalam pengembangan strategi pengelolaan dan konservasi ekosistem tropis di masa mendatang.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan pustaka (literature review) dengan memanfaatkan berbagai sumber ilmiah yang diperoleh melalui Google Scholar dan referensi akademik lainnya. Kata kunci yang digunakan meliputi ekosistem tropis, persebaran vegetasi, topografi, iklim, tanah (edafik), struktur kanopi, gangguan antropogenik, dan interaksi biotik. Dari hasil penelusuran dipilih 10 sumber yang paling relevan untuk dianalisis. Data dianalisis

secara kualitatif menggunakan pendekatan sintesis komparatif dengan membandingkan hasil berbagai penelitian guna memahami pengaruh faktor lingkungan terhadap pola persebaran vegetasi pada ekosistem tropis.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Kondisi Lingkungan Ekosistem Tropis**

Ekosistem tropis dicirikan oleh kondisi lingkungan yang ekstrem dalam hal kelimpahan energi matahari dan curah hujan, yang secara bersama-sama menciptakan produktivitas biologis tertinggi di antara seluruh bioma darat di bumi. Hutan hujan tropis yang tersebar di sepanjang zona khatulistiwa menerima radiasi matahari sepanjang tahun dengan variasi musiman yang minimal, serta curah hujan tahunan berkisar antara 1.500 hingga 10.000 mm (Whitmore, 1998). Kondisi ini menghasilkan struktur vegetasi yang sangat kompleks dengan kanopi berlapis-lapis yang mencerminkan adaptasi ekologis terhadap gradien cahaya yang tajam dari tajuk hingga lantai hutan.

Karakteristik lingkungan tropis yang paling menonjol adalah homogenitas termal relatif dengan suhu rata-rata bulanan yang stabil pada kisaran 24–28°C, meminimalkan tekanan fisiologis akibat suhu ekstrem yang lazim di bioma lintang tinggi. Namun demikian, heterogenitas lingkungan pada skala lokal justru sangat tinggi, menciptakan mozaik kondisi mikroklimat, sifat tanah, dan ketersediaan air yang menjadi penentu utama pola distribusi spesies vegetasi (Clark et al., 1998; Malhi & Phillips, 2004).

### **Faktor-Faktor Utama yang Mempengaruhi Persebaran Vegetasi**

Persebaran vegetasi tropis merupakan hasil interaksi multifaktor antara komponen abiotik dan biotik. Berikut adalah faktor-faktor penentu utama yang telah diidentifikasi melalui pendekatan analisis spasial-ekologis.

#### **a. Topografi sebagai Penentu Gradien Lokal**

Topografi merupakan salah satu faktor abiotik paling berpengaruh dalam membentuk pola distribusi vegetasi tropis pada skala lokal hingga meso-skala. Variasi elevasi menciptakan gradien suhu dan kelembapan udara yang signifikan, sementara kemiringan dan aspek lereng menentukan paparan radiasi matahari serta laju drainase air tanah (Poulsen et al., 2006). Lereng yang menghadap ke arah angin (windward) umumnya menerima curah hujan lebih tinggi, menciptakan kondisi hutan yang lebih rapat dan beragam dibandingkan sisi bayangan hujan (leeward).

Penelitian di Kalimantan oleh Slik et al. (2009) menunjukkan bahwa ketinggian dan kemiringan lereng berkorelasi signifikan dengan kerapatan biomassa pohon dan struktur kanopi. Pada lereng yang curam dengan drainase baik, komunitas vegetasi didominasi oleh spesies yang adaptif terhadap cekaman kekeringan periodik, sementara lembah dan dataran rendah dengan drainase buruk dihuni oleh komunitas yang toleran terhadap genangan (Clark et al., 1998). Pola ini secara konsisten terdeteksi melalui analisis korelasi spasial antara model elevasi digital (DEM) dan data inventarisasi vegetasi.

#### b. Faktor Iklim dan Curah Hujan

Iklim, khususnya distribusi curah hujan tahunan dan musiman, berperan sebagai penentu zonasi vegetasi tropis pada skala regional. Malhi & Phillips (2004) menunjukkan bahwa batas-batas komunitas vegetasi utama di kawasan tropis antara hutan hujan, hutan musim, dan sabana berkorelasi erat dengan isohyet curah hujan tahunan dan panjang musim kering. Daerah dengan curah hujan tahunan di atas 2.000 mm tanpa bulan kering yang nyata mendukung perkembangan hutan hujan tropis dengan keanekaragaman jenis tertinggi.

Variabilitas iklim antartahun yang dipicu fenomena El Niño-Southern Oscillation (ENSO) juga memberikan tekanan signifikan pada struktur vegetasi tropis. Episode El Niño yang memicu kemarau panjang terbukti meningkatkan mortalitas pohon secara masif di hutan Amazon dan Asia Tenggara, menghasilkan celah kanopi (canopy gap) yang kemudian diisi oleh spesies pionir dengan toleransi kekeringan lebih tinggi (Malhi & Phillips, 2004). Proses ini menciptakan dinamika suksesi vegetasi yang dapat dipantau secara temporal melalui analisis citra satelit multitemporal.

#### c. Sifat Fisik dan Kimia Tanah (Edafik)

Faktor edafik meliputi tekstur tanah, pH, kapasitas tukar kation, kedalaman solum, dan ketersediaan unsur hara merupakan determinan kritis komposisi spesies pada skala lokal. Tanah ultisol dan oxisol yang mendominasi sebagian besar lahan dataran rendah tropis bersifat miskin hara akibat pencucian intensif, sehingga komunitas vegetasi di atasnya telah mengembangkan strategi efisiensi pengambilan hara yang khas (Poulsen et al., 2006).

Heterogenitas edafik pada skala bentang lahan menciptakan mosaik komunitas vegetasi yang khas. Sebagai contoh, hutan kerangas (heath forest) yang tumbuh di atas tanah berpasir miskin hara di Kalimantan dan Sumatra memiliki komposisi floristik yang berbeda secara dramatis dari hutan dipterokarp campuran di tanah lempung yang berdekatan, meskipun kedua tipe hutan tersebut berada dalam zona iklim yang sama (Whitmore, 1998). Pemetaan

heterogenitas edafik menggunakan data penginderaan jauh hiperspektral dan model prediktif geostatistik memungkinkan identifikasi batas-batas komunitas vegetasi yang terkait dengan perubahan substrat tanah.

#### d. Cahaya dan Struktur Kanopi

Ketersediaan cahaya di dalam hutan tropis merupakan faktor pembatas utama bagi regenerasi dan pertumbuhan tumbuhan di bawah kanopi yang rapat. Struktur vertikal vegetasi tropis dari lapisan pohon emergent, kanopi utama, sub-kanopi, semak, hingga lapisan herba merupakan hasil adaptasi ekologis terhadap gradien cahaya yang sangat tajam (Turner et al., 2001). Intensitas cahaya di lantai hutan hujan tropis hanya mencapai 1–2% dari intensitas cahaya di atas kanopi, menciptakan tekanan seleksi yang kuat terhadap spesies yang toleran naungan.

Celah kanopi (treefall gap) yang terbentuk akibat kematian pohon tua merupakan sumber keberagaman struktural utama dalam hutan tropis. Celah ini menciptakan kondisi cahaya, suhu, dan kelembapan yang berbeda dari interior hutan, memicu respons regenerasi dari spesies-spesies intoleran naungan yang benih dan semai latennya menunggu di lantai hutan. Teknologi LiDAR memungkinkan pemetaan distribusi dan karakteristik celah kanopi secara sistematis pada skala bentang lahan (Asner et al., 2012).

#### e. Gangguan Antropogenik dan Fragmentasi Habitat

Aktivitas manusia meliputi penebangan selektif, pembukaan lahan untuk pertanian, pembangunan infrastruktur, dan kebakaran yang disengaja telah menjadi faktor penentu dominan dalam membentuk ulang pola distribusi vegetasi tropis di era Antroposen. Fragmentasi hutan menciptakan efek tepi (edge effect) yang mengubah kondisi mikroklimat, meningkatkan kekeringan dan suhu, serta mempermudah penetrasi spesies invasif ke dalam interior hutan (Laurance et al., 2011).

Analisis spasial berbasis penginderaan jauh telah memungkinkan kuantifikasi laju dan pola fragmentasi hutan tropis secara presisi. Data citra multitemporal dari Landsat menunjukkan bahwa deforestasi di kawasan tropis Asia Tenggara sepanjang 1990–2020 telah mengakibatkan hilangnya lebih dari 30% tutupan hutan primer, dengan dampak terbesar terkonsentrasi di wilayah dataran rendah yang dapat diakses (Myers et al., 2000). Pola fragmentasi ini tidak merata secara spasial, melainkan mengikuti gradien aksesibilitas transportasi dan nilai ekonomi lahan.

#### f. Interaksi Biotik

Di luar faktor abiotik, interaksi biotik antar spesies termasuk kompetisi, herbivori, mutualisme polinasi dan penyebaran benih, serta parasitisme turut membentuk pola distribusi vegetasi pada skala lokal. Hubungan mutualisme antara tumbuhan dan penyebar benih seperti burung, kelelawar, dan mamalia besar menentukan pola regenerasi spasial dari spesies-spesies tertentu (Ter Steege et al., 2006). Hilangnya fauna penyebar benih akibat perburuan berlebihan (defaunation) dapat mengakibatkan pergeseran komposisi vegetasi jangka panjang meskipun kondisi abiotik tidak berubah.

Kompetisi antarspesies juga berkontribusi pada pola distribusi yang teramati. Dominansi famili Dipterocarpaceae di hutan Asia Tenggara, misalnya, mencerminkan keunggulan kompetitif spesies-spesies tersebut pada kondisi tanah lempung dengan ketersediaan hara moderat, sementara famili lain mendominasi pada kondisi ekstrem seperti tanah berpasir atau berawa (Whitmore, 1998).

#### **Implikasi terhadap Konservasi dan Pengelolaan**

Pemahaman komprehensif tentang faktor-faktor lingkungan yang menentukan pola distribusi vegetasi tropis memiliki implikasi langsung bagi strategi konservasi dan pengelolaan kawasan. Identifikasi faktor penentu utama memungkinkan perancangan kawasan lindung yang lebih efektif dengan memastikan keterwakilan gradien lingkungan yang memadai dalam sistem zonasi (Myers et al., 2000). Selain itu, pemahaman tentang peran topografi dan tanah dalam membentuk distribusi vegetasi dapat memandu keputusan restorasi ekosistem dengan pemilihan spesies yang sesuai dengan kondisi tapak.

Integrasi pendekatan analisis spasial-ekologis dengan data inventarisasi lapangan yang komprehensif merupakan prasyarat untuk pengembangan model prediktif distribusi vegetasi yang akurat. Model-model ini menjadi instrumen kritis dalamantisipasi dampak perubahan iklim terhadap ekosistem tropis, memungkinkan identifikasi kawasan yang paling rentan terhadap pergeseran komposisi dan struktur vegetasi akibat perubahan kondisi iklim di masa mendatang (Malhi & Phillips, 2004; Turner et al., 2001).

#### **KESIMPULAN**

Ekosistem tropis merupakan ekosistem dengan tingkat produktivitas dan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi karena didukung oleh kondisi lingkungan berupa curah hujan melimpah, intensitas cahaya matahari yang tinggi, dan suhu yang relatif stabil

sepanjang tahun. Persebaran vegetasi pada ekosistem tropis dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor abiotik dan biotik, seperti topografi, iklim dan curah hujan, sifat fisik dan kimia tanah, ketersediaan cahaya, struktur kanopi, interaksi antarspesies, serta gangguan antropogenik.

Faktor-faktor tersebut membentuk pola distribusi vegetasi yang berbeda pada setiap wilayah dan menentukan komposisi serta struktur komunitas tumbuhan. Selain itu, aktivitas manusia seperti deforestasi dan fragmentasi habitat telah memberikan dampak besar terhadap perubahan pola vegetasi tropis. Oleh karena itu, pemahaman mengenai hubungan antara kondisi lingkungan dan persebaran vegetasi sangat penting dalam mendukung upaya konservasi, restorasi ekosistem, serta pengelolaan kawasan tropis secara berkelanjutan melalui pendekatan analisis spasial-ekologis dan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asner, G. P., Mascaro, J., Muller-Landau, H. C., Vieilledent, G., Vaudry, R., Rasamoelina, M., ... van Breugel, M. (2012). A universal airborne LiDAR approach for tropical forest carbon mapping. *Oecologia*, 168(4), 1147–1160.
- Clark, D. B., Palmer, M. W., & Clark, D. A. (1998). Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. *Ecology*, 80(8), 2662–2675.
- Laurance, W. F., Camargo, J. L., Luizão, R. C., Laurance, S. G., Pimm, S. L., Bruna, E. M., ... Lovejoy, T. E. (2011). The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation*, 144(1), 56–67.
- Malhi, Y., & Phillips, O. L. (2004). Tropical forests and global atmospheric change: A synthesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 359(1443), 549–555.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858.
- Poulsen, A. D., Tuomisto, H., & Balslev, H. (2006). Edaphic and floristic variation within a 1-ha plot of lowland Amazonian rain forest. *Biotropica*, 38(4), 468–478.
- Slik, J. W. F., Paoli, G., McGuire, K., Amaral, I., Barroso, J., Bastian, M., ... Zweifel, N. (2009). Environmental correlates of tree biomass, basal area, wood specific gravity and stem density gradients in Borneo's tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 50–60.
- Ter Steege, H., Pitman, N. C., Phillips, O. L., Chave, J., Sabatier, D., Duque, A., ... Vásquez, R. (2006). Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. *Nature*, 443(7110), 444–447.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer.
- Whitmore, T. C. (1998). *An Introduction to Tropical Rain Forests* (2nd ed.). Oxford University Press.