

**TINJAUAN PERUBAHAN LAYANAN EKOSISTEM AKIBAT PERLUASAN
PERTANIAN DAN PERTAMBANGAN DI DAS TROPIS**

**REVIEW OF CHANGES IN ECOSYSTEM SERVICES DUE TO THE
EXPANSION OF AGRICULTURE AND MINING IN TROPICAL
WATERSHEDS**

La Ode Rustam^{1*}, Setyardi Pratika Mulya²

1. Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, UHO, Kendari
Jl. H.E.A. Mokodompit Kampus Baru Anduonohu, Kendari
2. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor
Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor

Corresponding author: rustamlaode05@gmail.com

Abstrak

Perluasan areal pertanian dan pertambangan di Daerah Aliran Sungai (DAS) tropis berdampak pada perubahan layanan ekosistem (ES) yang terus mengalami tekanan dalam beberapa dekade terakhir. Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur sistematis (SLR) dengan mensintesis artikel setelah melalui peninjauan secara sistematis dari data base scopus, yang diterbitkan pada tahun 2009-2025 menggunakan kerangka kerja PRISMA Flow Diagram 2020. Kombinasi kata kunci yang digunakan terdiri dari “*Ecosystem Service*”, “*Watershed OR River Basin*”, “*Land Use AND Agricultural OR Plantation OR Oil Palm OR Mining*” serta “*Tropical*”. Analisis bibliometrik menggunakan R-studio dan VOSviewer dilakukan untuk melihat distribusi artikel dan kerangka keterhubungan mengenai layanan ekosistem. Hasil sintesis menunjukkan perluasan pertanian menjadi penyebab perubahan (*change driver*) yang dampaknya lebih meluas mengubah lanskap secara fundamental dan menyebabkan dampak kumulatif jangka panjang. Sementara pertambangan cenderung menjadi penyebab tekanan (*pressure driver*) dengan dampak lokal yang sangat tajam dan beracun. Penurunan terjadi pada jasa pengatur terutama untuk retensi sedimen, penyaringan air dan penyimpanan karbon. Jasa penyedia seperti produksi pertanian dan mineral mengalami peningkatan dalam jangka pendek sehingga menciptakan trade-off berarti yang berpotensi merusak DAS tropis. Hasil tinjauan penelitian menunjukkan adanya dominasi model InVEST dan SWAT dalam penilaian ES, namun masih kurang dalam validasi lapangan secara berkelanjutan. Informasi lain terkait abang batas tutupan hutan sekitar 50-60% sebagai faktor penting untuk menjaga pengaturan hidrologi dan biogeokimia di DAS tropis. Tinjauan ini juga menekankan perlunya perlindungan dan pembatasan pembukaan hutan demi praktik pengelolaan lahan berkelanjutan dan ramah lingkungan serta ditekankan bahwa pengelolaan DAS perlu beralih dari pendekatan yang fokus pada produktivitas menuju pengelolaan berbasis layanan ekosistem. Respon pengelolaan berkelanjutan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan layanan ekosistem melalui reforestasi, penerapan tindakan konservasi dan kompensasi secara ekonomi untuk perbaikan layanan ekosistem di DAS tropis.

Kata Kunci: Layanan Ekosistem, Pertanian, Pertambangan, DAS Tropis.

Abstract

The expansion of agricultural and mining areas in tropical watersheds (DAS) has resulted in changes in ecosystem services (ES), which have been under pressure for decades. This study uses a systematic literature review (SLR) by synthesizing articles published in the Scopus database between 2009 and 2025 using the PRISMA Flow Diagram 2020 framework. The

keyword combinations used include "Ecosystem Service", "Watershed OR River Basin", "Land Use AND Agricultural OR Plantation OR Oil Palm OR Mining", and "Tropical". Bibliometric analysis using R-studio and VOSviewer was conducted to examine the distribution of articles and the interconnectedness of ecosystem services. The synthesis results indicate that agricultural expansion is a change driver with broader impacts, fundamentally altering the landscape and causing long-term cumulative impacts. Meanwhile, mining tends to be a pressure driver with very sharp and toxic local impacts. Declines occur in regulating services, especially for sediment retention, water filtration, and carbon storage. Service providers such as agricultural and mineral production have increased in the short term, creating significant trade-offs that have the potential to damage tropical watersheds. The research review results indicate the dominance of the InVEST and SWAT models in ES assessments, but there is still a lack of continuous field validation. Other information related to the forest cover threshold of around 50-60% is a critical factor in maintaining hydrological and biogeochemical regulation in tropical watersheds. This review also emphasizes the need to protect and limit forest clearing for sustainable and environmentally friendly land management practices and emphasizes that watershed management needs to shift from a productivity-focused approach to ecosystem service-based management. Sustainable management responses that need to be implemented to improve ecosystem services through reforestation, implementation of conservation measures, and economic compensation for improved ecosystem services in tropical watersheds.

Keywords: Keywords: Ecosystem Services, Agriculture, Mining, Tropical Watersheds

Pendahuluan

Layanan ekosistem (*ecosystem services*, ES) merupakan instrument penilaian keberlanjutan lingkungan dan kebutuhan manusia karena menyediakan informasi penting terkait penyediaan air yang bersih, pengendalian erosi, penyimpanan karbon, dan pemeliharaan keanekaragaman hayati (Costanza et al., 2017; de Groot et al., 2012). Tekanan akibat perluasan sektor pertanian dan pertambangan khususnya di wilayah tropis menyebabkan dalam dua puluh tahun terakhir terjadi perubahan dalam penggunaan lahan dan kerusakan daerah aliran sungai (DAS), yang secara langsung mengurangi kemampuan ekosistem dalam memberikan layanan ekologisnya (Ochoa-Tocachi et al., 2016; Kroeger et al., 2019).

Secara global, dalam tiga puluh tahun terakhir lebih dari 67% area DAS di wilayah tropis telah beralih fungsi dari hutan menjadi area pertanian atau eksploitasi tambang (UN Environment, 2017). Peralihan hutan menjadi lahan pertanian telah menyebabkan hilangnya 277 hektar ekosistem alami hanya dalam dua puluh tahun terakhir di Bacalar, Meksiko wilayah Amerika Latin, dengan kerugian dari layanan ekosistem mencapai lebih dari 10 juta Dolar per tahun (Palafox-Juárez et al., 2025). Fenomena serupa juga terlihat di wilayah Asia Tenggara, di mana kerusakan bentang lahan akibat perluasan pertanian dan pertambangan di wilayah DAS tropis Malaysia berdampak besar pada menurunnya kualitas air dan penurunan laju infiltrasi secara alami (Zakariya et al., 2023). Kerusakan lahan akibat penambangan terbuka juga dilaporkan di wilayah Amazon dan Afrika Tengah, semakin memperburuk pengurangan simpanan karbon dan meningkatkan laju erosi tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi layanan pengaturan hidrologis (Asner et al., 2005; Bossio et al., 2020).

Hubungan yang kuat antara perubahan penggunaan tanah dan penurunan fungsi layanan ekosistem hidrologis telah dilaporkan dalam studi sebelumnya. Beberapa penelitian telah menerapkan pendekatan evaluasi ekonomi untuk memperkirakan nilai uang dari kehilangan layanan ekosistem tersebut, sementara penelitian lainnya memanfaatkan pemodelan spasial yang didasarkan pada penginderaan jauh untuk menganalisis dinamika spasial dari ekosistem (Palafox-Juárez et al., 2025; Mangis et al., 2025). Walaupun berbagai metode telah

diperkenalkan, hasilnya masih menunjukkan perbedaan yang signifikan di berbagai kawasan tropis, terutama karena adanya variasi dalam jenis penggunaan lahan, karakteristik daerah aliran sungai, serta tingkat aktivitas manusia dalam membentuk respon hidrologi (Li et al., 2022).

Meskipun banyak penelitian telah membahas pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap layanan ekosistem, masih terdapat kekurangan dalam metode dan ruang lingkup (Mangist et al., 2025; Maza-Maza et al., 2025; Piffer et al., 2022; Galindo et al., 2021; Netzer et al., 2019; Locatelli et al., 2009). Hal ini dikarenakan banyak studi yang dilakukan bersifat terbatas pada lokasi tertentu dan tidak mengadopsi pendekatan spasial yang mencakup berbagai wilayah untuk menemukan pola umum perubahan layanan ekosistem di daerah aliran sungai tropis. Selain itu, masih sedikit penelitian yang menganalisis pengaruh bersamaan dari pertumbuhan sektor pertanian dan pertambangan terhadap layanan ekosistem seperti penyediaan, regulasi, pendukung, dan budaya, khususnya pada jasa regulasi (retensi tanah, kualitas air, simpanan karbon) dan jasa pendukung (fungsi tanah) menggunakan kerangka yang sistematis dan dapat diukur. Tinjauan sistematis yang mengevaluasi kontribusi strategi pemodelan spasial dalam meramalkan perubahan layanan ekosistem akibat kombinasi faktor tekanan manusia di kawasan daerah aliran sungai tropis secara umum masih terbatas.

Studi ini dilaksanakan berdasarkan Tinjauan Pustaka Sistematis (SLR) untuk mengenali, mensintesis, dan menilai berbagai pendekatan serta hasil penelitian yang berkaitan dengan perubahan layanan ekosistem akibat perkembangan sektor pertanian dan pertambangan di Daerah Aliran Sungai tropis. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan respon pengelolaan berkelanjutan dalam rangka perubahan layanan ekosistem akibat aktivitas pertanian dan pertambangan.

Metode Penelitian

Pendekatan umum

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan Tinjauan Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review* - SLR) untuk menemukan, mengevaluasi, dan merangkum temuan-temuan penelitian empiris yang berkaitan dengan perubahan layanan ekosistem akibat dari peningkatan aktivitas pertanian dan penambangan di daerah aliran sungai (DAS) yang berada di wilayah tropis. Prosedur tinjauan ini mengikuti pedoman PRISMA 2020 statement (Page et al., 2021) yang menekankan pentingnya transparansi, kemampuan untuk direplikasi, serta pengurangan bias dalam pemilihan literatur. Protokol penelitian disusun berdasarkan prinsip-prinsip yang direkomendasikan oleh Kitchenham dan Charters (2007), terutama pada tahap pencarian literatur, pemilihan, penilaian kualitas, dan sintesis hasil.

Proses Pencarian dan Penyaringan Literatur Sistematis

Pencarian dan pemilihan literatur secara sistematis dilakukan dengan metode bibliometrik dan tinjauan pustaka secara sistematis. Dengan memanfaatkan perangkat lunak PRISMA Flow Diagram 2020, metode ini menjamin bahwa pemeriksaan literatur dilakukan secara mendalam dan dapat diulang, memberikan gambaran yang jelas dan terbuka mengenai topik yang sedang dibahas. Kriteria yang digunakan untuk inklusi adalah: (1) artikel yang diterbitkan hingga Oktober 2025, (2) publikasi yang ditulis dalam Bahasa Inggris, dan (3) fokus pada topik perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis. Analisis bibliometrik dikerjakan dengan R-Studio dan VOSviewer, yang memvisualisasikan data bibliografi untuk meneliti distribusi artikel, kerja sama antar wilayah, serta mengungkap bidang subjek serta kerangka kerja keterhubungan dalam

bidang penelitian tersebut. Paduan antara analisis bibliometrik dan tinjauan sistematis mendukung peneliti dalam menintesis hasil empiris serta memetakan aktivitas penelitian, termasuk menemukan kontributor utama dan tren yang muncul. Penggabungan kedua metode ini memberikan pemahaman yang menyeluruh. Memahami perkembangan, sejarah, dan proyeksi masa depan dari bidang penelitian ini sangat bermanfaat untuk studi interdisipliner dalam mendapatkan wawasan yang lebih mendalam. Kombinasi kata kunci yang terkait dengan layanan ekosistem dan jumlah artikel dari setiap tahapan proses pencarian (penambahan berurutan) disajikan sebagai berikut:

- 1) *Ecosystem Service AND Watershed OR River Basin* (n = 5.089).
- 2) *Ecosystem service AND Watershed OR River Basin AND Land Use* (n = 1.912).
- 3) *Ecosystem service AND Watershed OR River Basin" AND Land Use AND Agricultural OR Plantation OR Oil Palm OR Mining* (n = 568).
- 4) *Ecosystem Service AND Watershed OR River Basin AND Land Use AND Agricultural OR Plantation OR Oil Plam OR Mining AND Tropical* (n = 47).

Pencarian dan penyaringan literatur secara sistematis berdasarkan kata kunci tersebut dilakukan melalui basis data Scopus yang dilakukan pada Oktober 2025 di laman web <https://www.scopus.com/pages/home?display=basic#basic>. Selanjutnya, data dari Skopus di ekspor ke dalam format csv. Format csv digunakan untuk mendukung analisis kauntitaif menggunakan R-studio dan VOSviewer. Selain itu, dilakukan pembatasan pada rentang waktu, subjek area, tipe dokumen, kata kunci dan akses dilakukan untuk memperoleh artikel yang siap dianalisis dan disintesis.

Analisis Bibliometrik

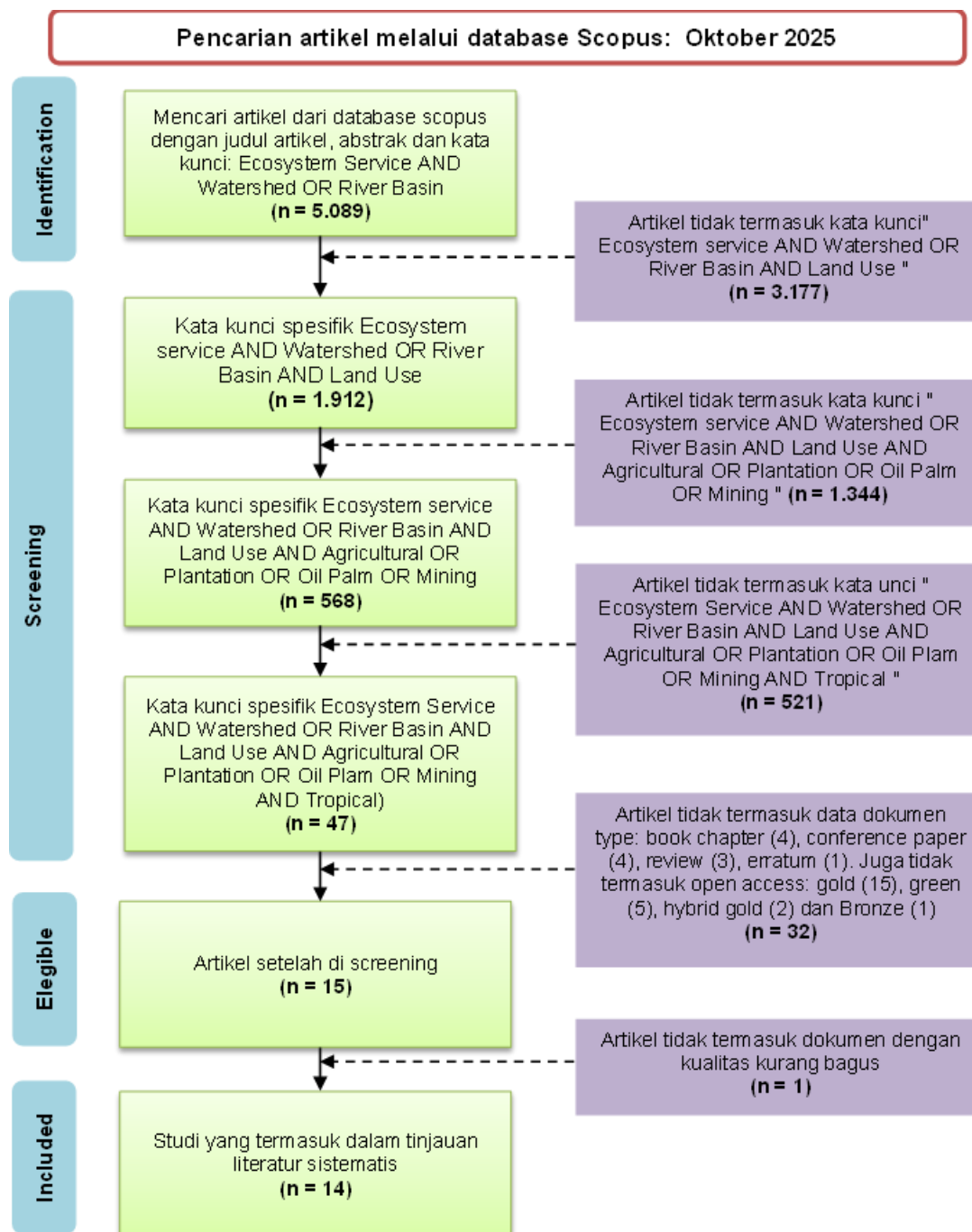
Analisis kuantitatif menggunakan R-studio dan VOSviewr dilakukan untuk memahami distribusi pola publikasi dan keterkaitan antar konsep yang relevan. Analisis yang dilakukan meliputi analisis distribuis artikel berdasarkan tahun penerbitan, jumlah artikel berdasarkan negara atau wilayah, jumlah artikel berdasarkan bidang subjek serta analisis kerangka kerja keterhubungan (*co-occurence*) dan representasi istilah-istilah kunci. Klasifikasi publikasi juga dilakukan untuk menganalisis distribusi artikel berdasarkan judul artikel, nama penulis dan tahun publikasi, tujuan penelitian, pendekatan dan metode yang digunakan untuk menganalisis layanan ekosistem, hasil temuan terkait perubahan layanan ekosistem dan kontribusi hasil penelitian. Hasil analisis tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik, diagram dan tabel untuk menunjukkan proporsi dominasi tema dan jenis layanan ekosistem yang diteliti. Hasil dari keseluruhan analisis perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis menghasilkan keluaran berupa pola penelitian terkait layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan, hubungan antar konsep untuk membangun kerangka baru tentang layanan ekosistem serta rekomendasi kebijakan dan arah penelitian pada pengembangan pengelolaan DAS berbasis layanan ekosistem.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Analisis PRISMA Flow Diagram 2020

Pencarian yang sistematis melalui basis data base scopus untuk periode 2009 hingga 2025 dengan strategi kata kunci yang telah ditetapkan menghasilkan 14 artikel dinyatakan memenuhi syarat dan dimasukkan dalam sintesis akhir. (Proses ini divisualisasikan dalam alur PRISMA Flow Diagram 2020.



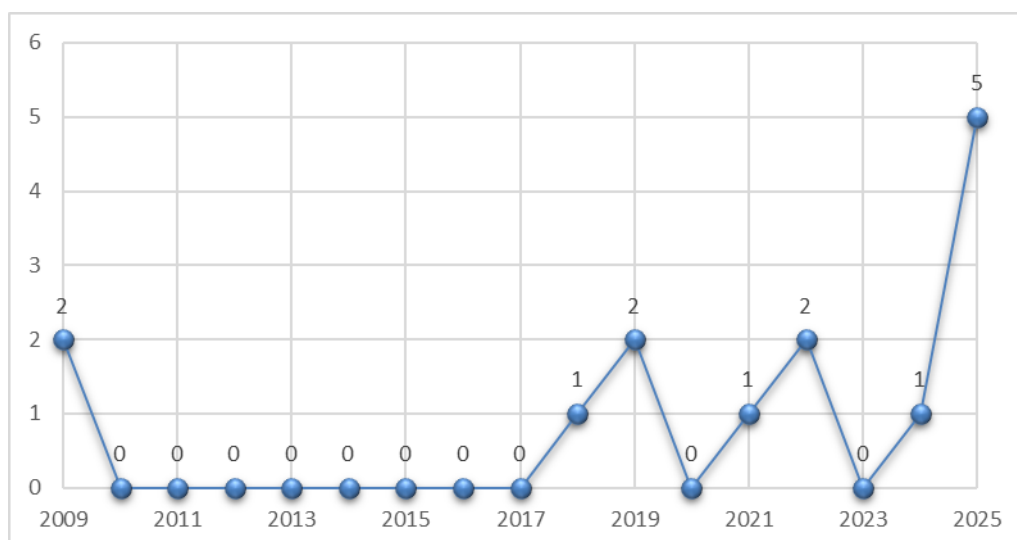
Gambar 1. PRISMA Flow Diagram 2020

Berdasarkan gambar 1, bahwa pencarian literatur dilakukan dengan menggabungkan kata kunci dengan penambahan berurutan memungkinkan diperolehnya artikel yang termasuk dalam studi SLR. Pada tahap identifikasi pencarian menggunakan kata kunci "*Ecosystem Service AND Watershed OR River Basin*" dihasilkan 5.089 artikel, menunjukkan banyaknya penelitian tentang layanan ekosistem di wilayah daerah aliran sungai (DAS). Selanjutnya pada tahap screening dengan penambahan kata kunci "*Land Use*" menyebabkan 3.177 artikel tidak masuk dalam wilayah kajian sehingga tersisa 1.912 artikel mengindikasikan adanya

perubahan penggunaan lahan dalam konteks DAS yang lebih spesifik dan terarah. Urutan selanjutnya adalah penambahan "*Agricultural OR Plantation OR Oil Palm OR Mining*" menghasilkan artikel yang masuk dalam kajian adalah 568 artikel (1.344 artikel tidak masuk dalam wilayah kajian). Hasil tersebut menandakan adanya perhatian pada pengaruh perluasan pertanian, perkebunan dan pertambangan terhadap perubahan layanan ekosistem dalam wilayah DAS. Pada akhir tahap screening dilakukan penambahan kata kunci "*Tropical*" untuk mempersempit konteks geografis ke wilayah tropis, diperoleh lebih sedikit yaitu 47 artikel (521 artikel tidak masuk wilayah kajian). Selanjutnya untuk mendapatkan artikel yang sesuai maka dilakukan pembatasan rentang tahun antara 2009-2025, pembatasan subjek area hanya pada bidang *Environmental science* dan *Agriculture and Biological science*, tipe dokumen artikel, kata kunci (*Watershed, Ecosystem Service, Land Use, Ecosystem, Land Use Change and Tropical Forest*) bahasa Inggris dan akses terbuka (*All open access*) sehingga dari pembatasan tersebut dihasilkan 15 artikel, kemudian terdapat 1 artikel yang kualitasnya kurang bagus sehingga terdapat 14 artikel yang siap dianalisis dan disintesis.

Analisis Bibliometrik

Berdasarkan analisis bibliometrik menggunakan R-studio diperoleh gambaran distribusi artikel perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis pada rentang 2009-2025 sebanyak 14 artikel, dengan jumlah publikasi tertinggi terjadi pada tahun 2025 sebanyak 5 artikel. Hasil mengenai distribusi artikel terkait tema kajian selengkapnya disajikan pada Gambar 2.

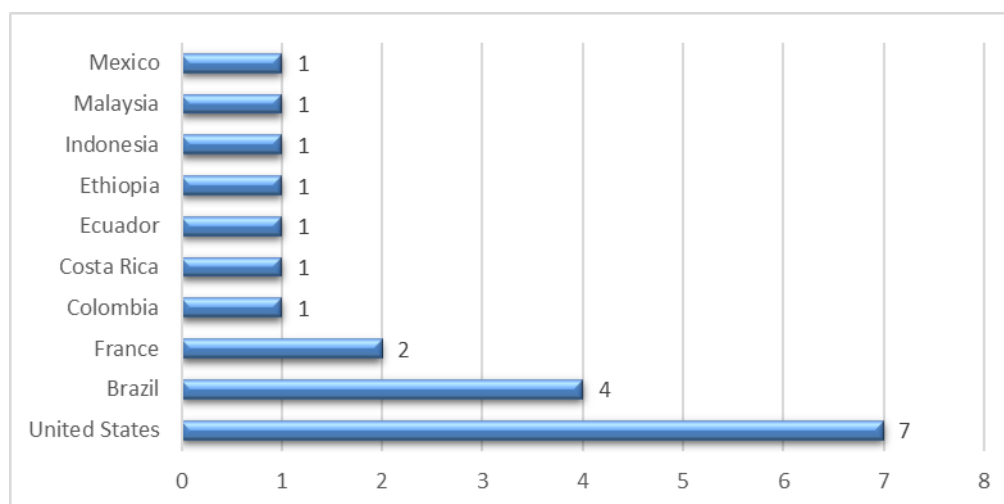


Gambar 2. Distribusi artikel berdasarkan tahun penerbitan

Distribusi artikel terkait perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis menunjukkan kecenderungan peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Publikasi dengan kajian tersebut tergolong sedikit hanya pada tahun 2009 terdapat 2 artikel dan selanjutnya tidak ada artikel yang terbit dalam rentang waktu 2010 hingga 2017. Kondisi tersebut menandakan perhatian terhadap perubahan layanan ekosistem di DAS tropis masih rendah. Aktivitas penelitian mulai menunjukkan trend peningkatan pada tahun 2018 hingga 2025, meskipun pada tahun 2020 dan 2023 tidak terdapat artikel yang terbit. Puncak publikasi tertinggi terjadi pada tahun 2025 sebanyak 5 artikel menandai peningkatan yang signifikan dalam periode observasi ini. Hal ini mengindikasikan bahwa kalangan

akademik mulai menyadari dampak perluasan pertanian dan pertambangan terhadap perubahan layanan ekosistem di DAS tropis. Kenaikan tersebut mencerminkan kepedulian global terhadap masalah kerusakan lingkungan yang mengkhawatirkan serta perlunya penerapan konsep pembangunan berkelanjutan dalam kegiatan pertanian dan pertambangan khususnya di DAS tropis.

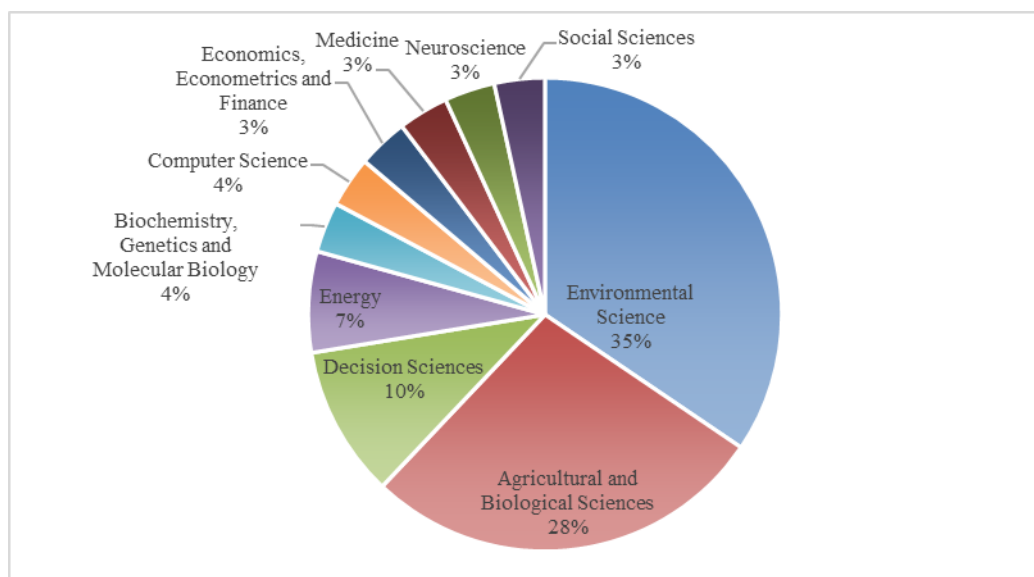
Berdasarkan analisis bibliometrik menggunakan R-studio diperoleh gambaran distribusi artikel berdasarkan negara atau wilayah (10 negara teratas). Amerika Serikat merupakan negara dengan jumlah publikasi tertinggi yakni sebanyak 7 artikel. Hasil mengenai distribusi artikel terkait tema kajian berdasarkan negara atau wilayah selengkapnya disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Jumlah artikel berdasarkan negara atau wilayah (10 negara teratas)

Distribusi artikel berdasarkan negara yang menganalisis perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis terbanyak terdapat di Amerika Serikat dengan jumlah 7 artikel, diikuti Brasil 4 artikel dan Prancis 2 artikel. Sementara itu, negara-negara tropis seperti Kolombia, Kosta Rika, Ekuador, Ethiopia, Meksiko, Malaysa dan Indonesia masing-masing menyumbang satu artikel. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun penelitian difokuskan pada wilayah tropis, namun kontribusi terbesar justru datang dari negara-negara maju atau lembaga penelitian global terutama Amerika Serikat, Brasil dan Prancis. Sementara negara-negara tropis yang menjadi pusat perluasan pertanian dan pertambangan masih menunjukkan kontribusi yang rendah dalam penelitian dan publikasi ilmiah. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan dalam kapasitas penelitian dan publikasi ilmiah antara negara maju dan negara berkembang dalam penelitian dan publikasi perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis.

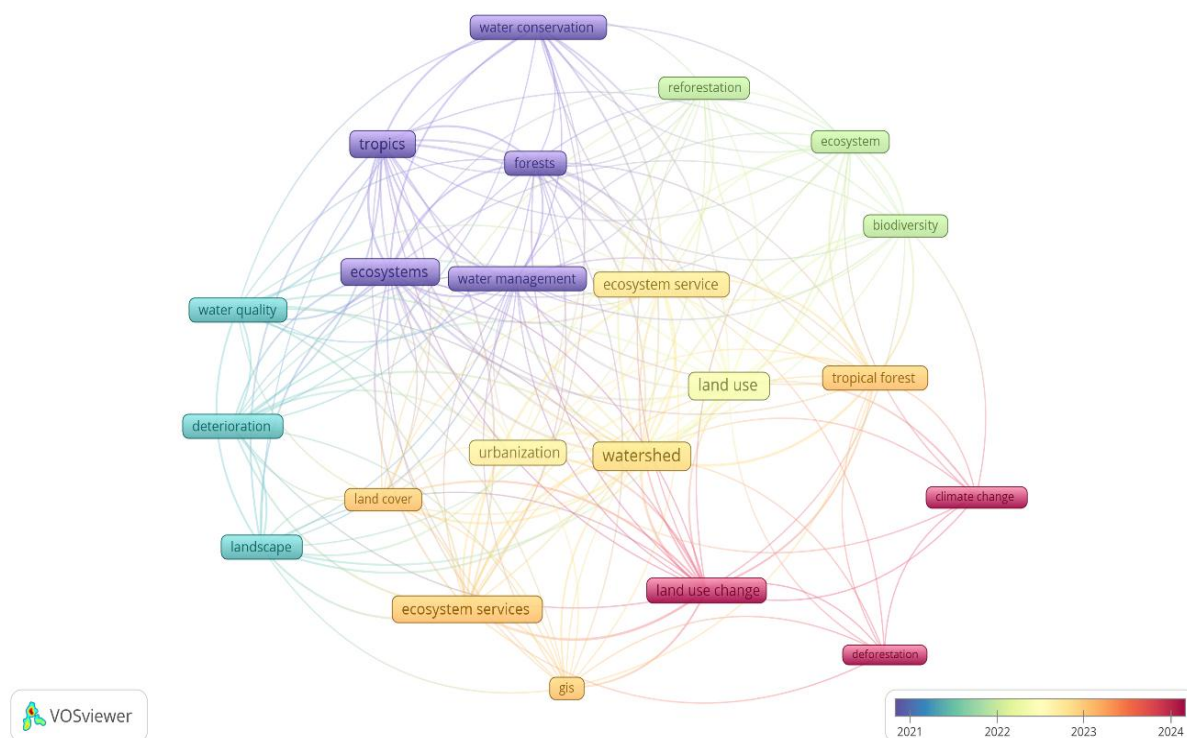
Berdasarkan analisis bibliometrik menggunakan R-studio diperoleh gambaran persentase artikel berdasarkan bidang subjek terkait perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis. Dimana artikelnya umumnya diterbitkan pada Bidang *Environmental Science* mencapai dan Bidang *Agriculture and Biological Science*. Hasil mengenai distribusi artikel berdasarkan bidang subjek selengkapnya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Persentase artikel berdasarkan bidang subjek

Distribusi artikel berkaitan dengan perubahan layana ekosistem didominasi oleh bidang *Environmental Science* sebesar 35%, diikuti bidang *Agricultural and Biological Science* sebesar 28%. Penerbitan pada bidang *Environmental Science* ditekankan pada ekosistem yang mengalami kerusakan, lahan yang berubah fungsi dan DAS yang berkelanjutan. Sementara penerbitan pada bidang *Agricultural and Biological Science* ditekankan pada sistem pertanian yang mengalami perubahan, keanekaragaman hayati, dan ES. Selanjutnya bidang *Decision Science* mencapai 10% dan bidang *Energy* mencapai 7% bermakna adanya keterlibatan berbagai disiplin hubungannya dengan efisiensi energi dalam pengelolaan sumber daya alam. Disiplin lain dengan capaian 4% pada bidang *Molecular Biology* dan *Computer Science* serta capaian 3% pada bidang *Finance*, *Medicine*, dan *Neuroscience* menunjukkan bahwa kajian terkait perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan pada DAS tropis bersifat interdisipliner terkait kontek analisis kebijakan, sosial dan teknologi.

Berdasarkan analisis bibliometrik menggunakan *VOSviewer* terkait kerangka kerja keterhubungan dan representasi istilah-istilah kunci diperoleh gambaran perubahan layana ekosistem kekuatan tautan tertinggi terkait pengelolaan daerah aliran sungai, penggunaan lahan, ekosistem, wilayah tropis, layanan ekosistem, urbanisasi, perubahan penggunaan lahan, hutan tropis, pengelolaan air dan bentang lahan. Hasil mengenai analisis kerangka kerja keterhubungan dan representasi istilah-istilah kunci menggunakan *VOSviewer* terkait perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis selengkapnya disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Analisis kerangka kerja keterhubungan dan representasi istilah-istilah kunci (Sumber: Data base scopus tahun 2009-2025)

Berdasarkan Gambar 5, bahwa kerangka kerja keterhubungan berdasarkan analisis *VOSviewer* menggambarkan alur logis dimana tekanan utama perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan pada DAS tropis terjadi akibat perubahan penggunaan lahan, hilangnya tutupan hutan secara permanen dan pembukaan lahan untuk pertambangan. Sistem yang terkena dampak berdasarkan analisis keterhubungan tersebut adalah daerah aliran sungai, bentang lahan dan wilayah tropis. Sementara ekosistem terdampak adalah kualitas air dan layanan ekosistem. Respon dan solusi akibat perluasan pertanian dan pertambangan dapat dilakukan melalui penanaman kembali pohon dilahan yang sebelumnya kawasan hutan, pengelolaan, serta konservasi tanah dan air. Secara umum visualisasi *VOSviewer* ini menggambarkan konsep hubungan sebab akibat antara aktivitas manusia (perluasan pertanian dan pertambangan) terhadap perubahan fisik bentang lahan, penurunan layanan ekosistem dan kebutuhan akan tata kelola berbasis konservasi. Visualisasi ini juga menunjukkan trend penelitian yang bergerak dari dinamika penggunaan lahan menuju pengelolaan daerah aliran sungai berbasis layanan ekosistem.

Klasifikasi Tinjauan Literatur

Tabel ini memberikan gambaran hasil analisis tinjauan literatur sistematis (SLR) terkait perubahan layanan ekosistem akibat perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis. Informasi yang diberikan terkait nama peneliti dan tahun publikasi, kontribusi penelitian, pendekatan dan metode yang digunakan untuk menganalisis layanan ekosistem, serta manfaat hasil temuan terkait perubahan layanan ekosistem. Hasil tinjauan ini untuk memahami hubungan perubahan penggunaan lahan, kerusakan ekosistem akibat perubahan fungsi serta kebijakan dan strategi yang perlu dilakukan untuk pengelolaan DAS tropis secara

berkelanjutan. Hasil mengenai klasifikasi tinjauan literatur selengkapnya sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tinjauan literatur

Kontribusi	Pendekatan dan Metode	Manfaat	Sumber
Tutupan hutan berkontribusi penting pada peningkatan kualitas air dibanding lahan pertanian dan pertambangan	Pemodelan Annual water Yield (AWY) Analisis Spasial (GIS) Analisis Statistik (MANOVA, PCA)	Konservasi hutan sebagai zona penyangga menjadi prioritas dalam pengelolaan DAS tropis	Corrêa, et al. (2025); Shehab, et al. (2021); Mello, et al. (2018)
Pengelolaan lahan berkelanjutan menurunkan erosi tanah dan meningkatkan layanan ekosistem karbon. Sebaliknya penghilangan hutan menurunkan stok karbon, kualitas air, keanekaragaman hayati serta meningkatkan erosi, limpasan permukaan dan sedimentasi	Model RUSEL Model InVEST Model SWAT Analisis Spasial (GIS)	Pembatasan perluasan pertanian dan pertambangan di lahan hutan dapat dilakukan secara holistik demi menjaga pengelolaan lahan berkelanjutan dan ramah lingkungan	Mangist, et al. (2025); Maza-Maza, et al. (2025); Piffer, et al. (2022); Galindo, et al. (2021); Netzer, et al. (2019); Locatelli, et al. (2009)
Kehilangan hutan alami menurunkan nilai layanan ekosistem secara ekonomi. Sebaliknya perlindungan hutan menguntungkan secara ekonomi karena bermanfaat meningkatkan layanan ekosistem utamanya ketersediaan air, menjaga fungsi hidrologi, kualitas air dan habitat	Analisis Spasial (SIG) Analisis Valuasi Ekonomi Analisis Kebijakan	Perlindungan hutan meningkatkan layanan ekosistem dan menguntungkan secara ekonomi	Palafox-Juárez, et al. (2025); Bremer, et al. (2019); Stickler, et al. (2009)

Sumber: Data di Olah, 2025

Berdasarkan Tabel 1, bahwa perluasan pertanian dan pertambangan di wilayah tropis memiliki dampak terhadap perubahan fungsi layanan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya air di DAS. Corrêa et al. (2025) melaporkan bahwa penghilangan hutan secara permanen di wilayah DAS telah berdampak hasil air yang lebih rendah. Melalui model InVEST, mereka menunjukkan variabilitas iklim memperkuat dampak penghilangan hutan terhadap debit sungai. Kondisi tersebut juga ditemukan pada wilayah tropis yang mengalami eksploitasi tambang, dimana hilangnya vegetasi mengubah neraca air permukaan dan meningkatkan erosi. Piffer et al. (2022) membuktikan bahwa pertanian intensif dan urbanisasi berdampak pada penurunan kualitas air, yang semakin diperparah oleh aktivitas pertambangan di wilayah DAS. Studi lain menunjukkan efektivitas pendekatan pengelolaan lahan berkelanjutan dalam mempertahankan layanan ekosistem. Mangist et al. (2025) melaporkan bahwa penggunaan konservasi dalam pemanfaatan lahan dapat menekan kehilangan tanah dan meningkatkan biomassa karbon, kondisi ini dapat memperkuat fungsi ekosistem dalam menyerap dampak perubahan penggunaan lahan. Hasil ini sangat sesuai dalam konteks pertambangan, dimana revegetasi dapat mengembalikan fungsi ekologis DAS. Hasil penelitian Galindo et al. (2021) di Andes menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian menurunkan keanekaragaman hayati dan kemampuan tanah menahan air, sedangkan sistem agroforestri dapat meningkatkan infiltrasi dan menurunkan erosi.

Studi lain menekankan adanya keuntungan ekonomi dan ekologi dari mempertahankan hutan. Bremer et al. (2019) melaporkan bahwa melindungi hutan asli di Maui Timur dapat menghasilkan nilai ekonomi signifikan. Hasil ini jika dihubungkan pada DAS tropis yang terpengaruh pertambangan, menunjukkan konservasi vegetasi dapat menekan biaya pemulihan hidrologi. Netzer et al. (2019) menemukan bahwa penghilangan hutan di Lembah Mekong meningkatkan aliran permukaan dan sedimentasi di sebagian besar DAS, memperkuat pernyataan bahwa merusak vegetasi akan mempercepat kerusakan hidrologi.

Kualitas air sebagai indikator utama kesehatan ekosistem juga dipengaruhi oleh konfigurasi lanskap. Mello et al. (2018) membuktikan bahwa DAS dengan tutupan hutan >55% memiliki kualitas air lebih baik. Shehab et al. (2021) menambahkan bahwa fragmentasi lanskap menurunkan kualitas air di DAS Bentong, Malaysia. Pola ini dapat dibandingkan dengan kondisi DAS tropis yang menghadapi ekspansi tambang nikel atau sawit, di mana fragmentasi vegetasi memperlemah fungsi penyangga ekologis. Oleh karena itu, penerapan buffer zone vegetatif menjadi strategi penting dalam meredam dampak kumulatif dari kegiatan pertanian dan pertambangan.

Dalam tataran kebijakan, Stickler et al. (2009) menekankan bahwa skema seperti REDD dapat memberikan manfaat hidrologi dan ekologis, tetapi membutuhkan pengaturan spasial yang hati-hati untuk menghindari pergeseran tekanan deforestasi. Locatelli et al. (2009) melalui meta analisis menunjukkan bahwa hutan alami memberikan aliran dasar lebih stabil dibandingkan hutan tanaman, menegaskan pentingnya perlindungan ekosistem asli dalam menjaga layanan air. Dengan demikian, tinjauan ini memperlihatkan bahwa perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis menimbulkan risiko serius terhadap layanan ekosistem, tetapi juga membuka peluang penerapan pendekatan konservasi adaptif yang mengintegrasikan aspek hidrologi, ekologi, dan kebijakan tata guna lahan.

Lebih lanjut hasil ini juga mengungkap adanya perubahan metodologi yang menarik dalam hal penilaian perubahan layanan ekosistem. Penelitian yang dilakukan pada beberapa tahun terakhir menunjukkan adanya penggunaan data penginderaan jauh dengan resolusi tinggi dan pendekatan model InVEST, SWAT atau GIS untuk menganalisis perubahan spasial temporal dari layanan ekosistem yang lebih akurat dan dinamis.

Pembahasan

Tinjauan sistematis ini mengindikasikan bahwa perkembangan sektor pertanian dan pertambangan di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) tropis terus menerus menyebabkan penurunan dalam layanan ekosistem yang berfungsi sebagai pengatur, terutama dalam hal penahanan sedimen, penyimpanan karbon, dan kualitas air. Temuan ini menggambarkan pola kerusakan yang kompleks, dimana peningkatan layanan penyediaan (seperti hasil pertanian atau pengambilan mineral) berlangsung bersamaan dengan penurunan yang signifikan dalam kapasitas fungsi pengatur ekosistem.

Temuan ini mendukung pendapat bahwa layanan penyediaan dan pengaturan adalah karakteristik utama dari perubahan DAS tropis (Bremer et al., 2019; Kroeger et al., 2019). Hasil studi oleh Mello et al. (2018) di Brasil menunjukkan bahwa daerah aliran sungai yang memiliki tutupan hutan di atas 55% dapat mempertahankan kualitas air yang lebih baik dibandingkan dengan daerah aliran sungai yang memiliki tutupan hutan rendah. Kondisi ini memberikan gambaran bahwa perubahan layanan ekosistem pengaturan kualitas air bisa terjadi akibat perubahan tutupan lahan dari hutan menjadi areal pertanian atau pertambangan.

Analisis keruangan juga menunjukkan bahwa penambangan memiliki dampak yang lebih signifikan dan berkepanjangan dibandingkan dengan peningkatan kegiatan

pertanian dalam perubahan layanan ekosistem. Penelitian oleh Zakariya et al. (2023) menemukan bahwa penambangan di kawasan Asia Tenggara menyebabkan kerusakan bentang lahan meningkat sebesar 38%, mengurangi kemampuan penyimpanan karbon hingga 25%, dan memperburuk kualitas air hingga 30%. Temuan ini sejalan dengan laporan global UNEP (2017) yang menyatakan bahwa DAS tropis rawan mengalami degradasi ekosistem akibat dampak dari kegiatan pertambangan dan perluasan sektor pertanian.

Hasil dari SLR ini menguatkan serta memperluas teori yang sudah ada mengenai hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan penurunan layanan ekosistem. Sejak laporan Penilaian Ekosistem Millenium (MEA, 2005) dan Ekonomi Ekosistem dan Keanekaragaman Hayati (TEEB, 2010), telah diakui bahwa peningkatan intensitas perubahan penggunaan lahan berdampak negatif pada fungsi ekologis. Namun, hasil dari SLR ini menambah dimensi baru, yaitu konteks ruang dan metodologi: (1) berbeda dari penelitian sebelumnya yang bersifat teoritis, riset-riset terkini pada periode 2009–2025 menggabungkan pemodelan spasial dengan menggunakan data spasial penginderaan jauh. Pendekatan ini meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi perubahan waktu pada layanan ekosistem dengan lebih akurat (Ochoa-Tocachi et al., 2016); (2) temuan ini memperkuat hasil penelitian Kaiser dan Roumasset (2002) serta de Groot et al. (2012) yang menekankan perlunya evaluasi terhadap nilai ekonomi dari layanan ekosistem, namun juga menambahkan elemen baru berupa kuantifikasi spasial yang melintasi skala DAS tropis. (3) hasil SLR ini juga menentang anggapan sederhana bahwa setiap peningkatan penggunaan lahan selalu berujung pada manfaat ekonomi bersih, karena banyak penelitian menunjukkan bahwa ada kerugian ekonomi dalam jangka panjang akibat penurunan kualitas air, tanah, dan karbon (Palafox-Juárez et al., 2025; Mello et al., 2018).

Meskipun penelitian mengenai layanan ekosistem di daerah aliran sungai tropis meningkat dengan pesat, tinjauan literatur ini menemukan beberapa celah dalam penelitian yang masih ada yaitu (1) kurangnya integrasi antar-sektor dimana banyak studi yang membahas pertanian atau pertambangan secara terpisah. Hanya sedikit penelitian yang mengeksplorasi interaksi bersamaan antara kedua tekanan tersebut terhadap layanan ekosistem dalam satu daerah; (2) minimnya verifikasi lapangan dimana Sekitar 70% penelitian memakai model spasial (InVEST, SWAT, RUSLE), namun hanya sedikit yang membandingkan hasil model tersebut dengan data lapangan jangka panjang; (3) keterbatasan dalam aspek sosial-ekonomi dimana sebagian besar studi masih lebih banyak berfokus pada variabel biofisik, sementara dimensi sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang berhubungan dengan perubahan layanan ekosistem cukup diabaikan (Salzman et al., 2018); (4) kurangnya pendekatan dinamis-temporal dimana sebagian besar penelitian hanya melakukan analisis snapshot (1-2 tahun), dan belum banyak yang menggunakan analisis time series jangka panjang untuk memahami perubahan progresif layanan ekosistem akibat perluasan lahan; (5) distribusi geografis yang tidak seimbang dimana penelitian masih berfokus pada Asia Tenggara dan Amerika Selatan, sementara data empiris dari Afrika tropis dan wilayah Pasifik masih kurang.

Temuan ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan teori ekologi DAS tropis dan model layanan ekosistem, integrasi model spasial dan ekonomi. Tinjauan ini menekankan perlunya kerangka konseptual yang baru yang mengkombinasikan pemodelan biofisik (InVEST, SWAT) dengan penilaian ekonomi spasial untuk menghasilkan estimasi yang lebih komprehensif mengenai pengaruh perubahan lahan terhadap layanan ekosistem. Kerangka Trade-off–Synergy juga diperlukan untuk menerangkan keseimbangan antara fungsi ekosistem yang saling bertentangan seperti antara produktivitas pertanian dan retensi air. Temuan ini sangat mendukung perkembangan teori trade-off multi-layanan (Costanza et al., 2017). Hasil penelitian seperti yang dilakukan Mello et al., (2018) menunjukkan adanya titik kritis

tutupan hutan (~50–60%) yang berfungsi sebagai batas ekologis dalam fungsi hidrologi. Hal ini membuka peluang untuk mengembangkan teori baru mengenai penghargaan langsung terhadap kualitas layanan ekosistem di DAS tropis.

Temuan ini memiliki relevansi praktis untuk pembuat kebijakan untuk pengelola Daerah Aliran Sungai; pentingnya solusi berbasis alam seperti tindakan konservasi, penanaman kembali vegetasi, dan rehabilitasi area tambang guna mengurangi kehilangan fungsi ekosistem; merumuskan indikator kuantitatif yang berfungsi lintas skala Daerah Aliran Sungai, yang mengaitkan kondisi biofisik dengan hasil yang diperoleh oleh masyarakat lokal dalam aspek sosial dan ekonomi. Berdasarkan hasil dan perbedaan yang telah diidentifikasi, beberapa arah penelitian ke depan bisa diusulkan yaitu pengembangan model terpadu, validasi lapangan jangka panjang, analisis lintas kawasan tropis, integrasi pendekatan ekonomi dan ekologi dan inovasi teknologi. Gambaran respon pengelolaan berkelanjutan akibat perluasan pertanian dan pertambangan dan dampaknya pada perubahan layanan ekosistem selengkapnya sebagaimana disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Respon Pengelolaan Berkelanjutan untuk Perubahan Layanan Ekosistem Akibat Perluasan Pertanian dan Pertambangan

Perluasan pertanian dan pertambangan di wilayah tropis merupakan pendorong utama perubahan layanan ekosistem yang berdampak pada penurunan fungsi ekologis daerah aliran sungai (DAS) tropis. Konversi hutan menjadi lahan produksi menyebabkan degradasi kualitas air, penurunan penyimpanan karbon, dan berkurangnya retensi sedimen, sehingga mempercepat proses degradasi hidrologi dan meningkatkan risiko banjir maupun kekeringan (Corrêa et al., 2025; Galindo et al., 2021). Kondisi ini diperparah oleh peningkatan limpasan permukaan dan erosi tanah yang mengakibatkan sedimentasi dan pencemaran logam berat, dengan implikasi serius terhadap ketahanan sumber daya air dan keberlanjutan sosial ekonomi masyarakat di wilayah DAS tropis (Piffer et al., 2022; Mello et al., 2018). Namun demikian, penerapan respon pengelolaan berkelanjutan seperti reforestasi, konservasi, serta skema pembayaran jasa lingkungan telah terbukti mampu memperbaiki infiltrasi air, meningkatkan stok karbon, dan memperkuat daya dukung ekosistem (Bremer et al., 2019; Locatelli et al., 2009). Pendekatan berbasis ekosistem ini menegaskan pentingnya integrasi kebijakan adaptif yang berorientasi pada konservasi dan

pembangunan berkelanjutan, di mana nilai ekologis menjadi bagian inheren dari strategi pengelolaan DAS tropis (Stickler et al., 2009).

Kesimpulan

Layanan ekosistem memiliki peran penting dalam mengurangi perluasan pertanian dan pertambangan di DAS tropis. Meskipun melindungi hutan di wilayah DAS akan dihadapkan pada tantangan untuk peningkatan pendapatan daerah, tetapi penilaian ini dapat memastikan bahwa praktik pertanian dan pertambangan dapat berlangsung secara berkelanjutan dan ramah lingkungan dengan membatasi pembukaan lahan hutan. Pembatasan pembukaan hutan juga berpengaruh positif terhadap peningkatan layanan ekosistem yang dapat memberikan keuntungan ekonomi yang lebih baik, sehingga penting untuk menekankan bahwa pengelolaan DAS tropis perlu beralih dari pendekatan yang fokus pada produktivitas menuju pengelolaan berbasis layanan ekosistem. Reforestasi, penerapan tindakan konservasi dan kompensasi secara ekonomi adalah respon pengelolaan yang berkelanjutan demi perubahan layanan ekosistem di DAS tropis.

Daftar Pustaka

- Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J., Keller, M., & Silva, J. N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, 310(5747): 480–482.
- Bremer, L. L., Wada, C. A., Medoff, S., Page, J., Falinski, K., & Burnett, K. M. 2019. Contributions of native forest protection to local water supplies in East Maui. *Science of the Total Environment*, 688, 1422–1432.
- Corrêa, T. R., Matricardi, E. A. T., Filoso, S., Santos, J. A. dos, Scariot, A. O., Torres, C. M. M. E., Martorano, L. G., & Pereira, E. M. 2025. Sustainability Under Deforestation and Climate Variability in Tropical Savannas: Water Yield in the Urucuia River Basin, Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 17(18).
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. 2017. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26: 152–158.
- Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., Bustamante, M. M. C., ... & Vieira, I. C. G. 2019. The Amazon basin in transition. *Nature*, 481(7381), 321–328.
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., ... & van Beukering, P. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1): 50–61.
- Galindo, V., Giraldo, C., Lavelle, P., Armbrrecht, I., & Fonte, S. J. 2022. Land use conversion to agriculture impacts biodiversity, erosion control, and key soil properties in an Andean watershed. *Ecosphere*, 13(3).
- Kaiser, B. A., & Roumasset, J. A. 2002. Valuing indirect ecosystem services: The case of tropical watersheds. *Environment and Development Economics*, 7(4), 701–714.
- Kitchenham, B., & Charters, S. 2007. *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. EBSE Technical Report EBSE-2007-01. Keele University and Durham University Joint Report.
- Kroeger, T., Casey, F., & Miguel, C. 2019. Assessing ecosystem service impacts of agricultural expansion in tropical landscapes. *Ecosystem Services*, 38, 100963.

- Li, D., Zhu, L., Xu, W. S., & Ye, C. (2022). Quantifying the impact of climate change and human activities on runoff at a tropical watershed in South China. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1023188>
- Locatelli, B., & Vignola, R. (2009). Managing watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help? *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1864–1870.
- Mengist, W., Yohannes, H., Berta Aneseyee, A., Abebe, G., Degefa, S., Tekalign, M., Argaw, M., Leta, S., Hussien, A., Elias, E., & Soromessa, T. 2025. The role of sustainable land management practices on enhancing ecosystem services in the highlands of Ethiopia. *Ecological Indicators*, 176.
- Maza-Maza, J., Rodríguez-Caballero, E., Rodríguez-Lozano, B., & Cantón, Y. 2025. Impact of deforestation on ecosystem functions of Ecuador's tropical dry forest under different protection status. *Trees, Forests and People*, 101032.
- Mello, K. de, Valente, R. A., Randhir, T. O., & Vettorazzi, C. A. 2018. Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil. *Ecological Indicators*, 93, 1293–1301.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., & Simonin, P. 2012. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, 82, 23–32.
- Netzer, M. S., Sidman, G., Pearson, T. R. H., Walker, S. M., & Srinivasan, R. 2019. Combining global remote sensing products with hydrological modeling to measure the impact of tropical forest loss on water-based ecosystem services. *Forests*, 10(5).
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., & De Bièvre, B. 2016. Regionalization of hydrological ecosystem services in the tropical Andes. *Environmental Research Letters*, 11(12), 124002.
- Palafox-Juárez, E., Cárdenas, A., & López, C. 2025. Agricultural expansion and ecosystem service loss in tropical watersheds: A spatial modelling approach. *Journal of Environmental Management*, 368, 120541.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. 2021. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Piffer, P. R., Tambosi, L. R., & Uriarte, M. 2022. Achieving sustainable water and land use systems in highly developed tropical landscapes. *Environmental Research Letters*, 17(9).
- Salzman, J., Bennett, G., Carroll, N., Goldstein, A., & Jenkins, M. 2018. The global status and trends of Payments for Ecosystem Services. *Nature Sustainability*, 1(3), 136–144.
- Shehab, Z. N., Jamil, N. R., Aris, A. Z., & Shafie, N. S. 2021. Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia. *Ecological Indicators*, 122.
- Stickler, C. M., Nepstad, D. C., Coe, M. T., McGrath, D. G., Rodrigues, H. O., Walker, W. S., Soares-Filho, B. S., & Davidson, E. A. 2009. The potential ecological costs and cobenefits of REDD: A critical review and case study from the Amazon region. *Global Change Biology*, 15(12), 2803–2824.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2017. *Global Environmental Outlook 6: Regional Assessment for Latin America and the Caribbean*. Nairobi, Kenya: UN Environment.
- Zakariya, M. A., Rahman, M. A., & Ismail, S. 2023. Mining-induced landscape fragmentation and ecosystem service degradation in tropical river basins. *Ecological Indicators*, 154, 110752.