

FASE TRANSISI INFILTRASI PADA TEGAKAN MAHONI DAN AKASIA DI HUTAN PENDIDIKAN UNIVERSITAS HASANUDDIN: PENDEKATAN MODEL HORTON

Infiltration Trnsition Phase in Mahogany and Acacia Stands at The Hasanuddin University Educational Forest: A Horton Model Approach

^{1*}Nurdin Dalya, ²Hadija Sukri, ³Asjulia, ⁴Wahyullah

Affiliation

1. Program Studi Kehutanan,
Fakultas Kehutanan,
Universitas Hasanuddin
2. Program Studi Kehutanan,
Fakultas Pertanian, Peternakan
dan Kehutanan, Universitas
Muslim Maros
3. Program Studi Kehutanan,
Fakultas Pertanian, Universitas
Islam Makassar
4. Program studi kehutanan
fakultas pertanian universitas
indonesia timur

Corresponding author:

*nurdindalya@unhas.ac.id

Abstract

The transition from initial to steady-state infiltration is a critical hydrological stage because it determines the soil's capacity to absorb rainfall and influences surface runoff generation. However, quantitative information on this transition in tropical plantation forests remains limited. This study characterized and compared infiltration transition phases beneath mahogany (*Swietenia macrophylla*) and acacia (*Acacia auriculiformis*) stands in the Hasanuddin Educational Forest using the Horton model. Field measurements were conducted in three replicated plots per stand using a single-ring Turf-Tec infiltrometer. Infiltration rates were recorded every 5 s for 30 min, producing 360 observations per plot. The initial infiltration rate (f_0), constant infiltration rate (f_c), and decay coefficient (k) were estimated by nonlinear least-squares regression. Model performance was assessed using R^2 , RMSE, MAE, and Nash–Sutcliffe Efficiency. The Horton model represented infiltration dynamics well, with R^2 values of 0.845–0.960 for mahogany and 0.734–0.967 for acacia, while NSE values ranged from 0.844–0.959 and 0.731–0.966, respectively. Mahogany had higher initial infiltration rates (0.274–1.277 mm s⁻¹) than acacia (0.109–0.643 mm s⁻¹), whereas constant infiltration rates were similar. The transition to near steady-state conditions occurred within approximately 5–12 min in mahogany and 4–8 min in acacia. These differences indicate that mahogany maintained higher infiltration performance during the early rainfall stage, although both stands exhibited comparable steady-state capacities. Overall, the Horton model effectively quantified temporal infiltration dynamics and provided useful hydrological information for assessing runoff response and water regulation in tropical plantation forests. The results also highlight stand-specific controls on early rainfall partitioning and implications for forest management.

Submit: 2026-5-22

Accepted: 2026-6-22

COPYRIGHT © 2026 by Journal Eboni.

This Work is licenced under a Creative
Commons Attribution 4.0 International
License

Keywords Horton model; infiltration dynamics; plantation forest; soil hydrology; *Swietenia macrophylla*; *Acacia auriculiformis*

1. Pendahuluan

Infiltrasi merupakan salah satu proses hidrologi yang menentukan besarnya air hujan yang dapat masuk ke dalam tanah, sehingga berperan penting dalam mengendalikan limpasan permukaan, pengisian air tanah, serta ketersediaan air pada ekosistem hutan. Karakteristik infiltrasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain struktur tanah, porositas, kandungan bahan organik, sistem perakaran, penutupan tajuk, dan kondisi kelembapan awal tanah. Penelitian-penelitian terbaru menunjukkan bahwa perubahan karakteristik vegetasi dan struktur tanah dapat

menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap dinamika infiltrasi maupun aliran bawah permukaan (Zhao, et al., 2023). Karakteristik infiltrasi tanah pada kawasan hutan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti struktur tanah, kandungan bahan organik, aktivitas biologi tanah, ketebalan serasah, sistem perakaran, dan tipe vegetasi (Arsyad, 2010). Perbedaan karakteristik tegakan dapat menghasilkan respon infiltrasi yang berbeda terhadap air hujan. Tegakan dengan sistem perakaran yang berkembang baik dan akumulasi serasah yang tinggi umumnya memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih besar karena terbentuknya pori-pori tanah dan meningkatnya agregasi tanah (Rahim, 2006).

Tegakan mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan akasia (*Acacia auriculiformis*) merupakan jenis tanaman yang banyak digunakan dalam pengembangan hutan tanaman dan rehabilitasi lahan di Indonesia. Kedua jenis ini memiliki karakteristik morfologi dan ekologi yang berbeda sehingga diduga memengaruhi perilaku infiltrasi tanah secara berbeda pula. Mahoni dikenal memiliki tajuk yang rapat dan akumulasi serasah yang relatif tebal, sedangkan akasia memiliki pertumbuhan cepat dengan sistem perakaran yang agresif (Indriyanto, 2006).

Sebagian besar penelitian infiltrasi di Indonesia masih berfokus pada nilai infiltrasi akhir atau perbandingan kapasitas infiltrasi antar penggunaan lahan. Kajian mengenai dinamika temporal infiltrasi, khususnya fase transisi infiltrasi menuju kondisi stabil pada tegakan hutan tanaman tropis, masih relatif terbatas. Padahal, fase transisi infiltrasi penting untuk memahami respon hidrologi tanah terhadap kejenuhan awal selama proses infiltrasi berlangsung (Dingman, 2015). Model Horton merupakan salah satu pendekatan empiris yang umum digunakan untuk menggambarkan perubahan laju infiltrasi terhadap waktu. Model ini mampu menjelaskan pola penurunan infiltrasi dari kondisi awal menuju kondisi konstan akibat berkurangnya kapasitas infiltrasi tanah selama proses pembasahan berlangsung (Horton, 1940).

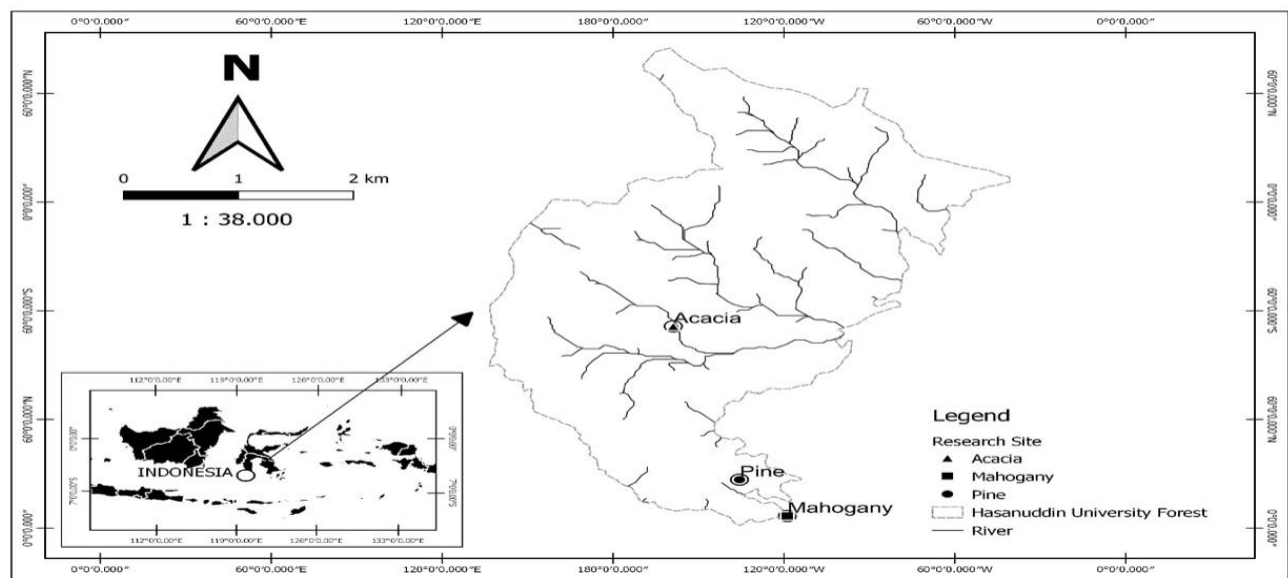
Berbagai model empiris telah dikembangkan untuk menggambarkan proses infiltrasi, di antaranya model Horton, Kostiaikov, Philip, dan Green Ampt. Di antara model tersebut, persamaan Horton masih banyak digunakan karena mampu menggambarkan penurunan laju infiltrasi secara sederhana dengan tingkat akurasi yang tinggi pada berbagai kondisi tanah dan penggunaan lahan. Beberapa penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa model Horton masih memberikan performa yang baik dibandingkan model infiltrasi lainnya, terutama apabila parameter model diestimasi menggunakan pendekatan regresi nonlinier (Hidayat, et al., 2023).

Meskipun penelitian mengenai infiltrasi telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada estimasi kapasitas infiltrasi atau evaluasi parameter model infiltrasi. Kajian yang secara khusus mengkuantifikasi fase transisi infiltrasi, yaitu periode perubahan dari infiltrasi awal menuju infiltrasi konstan, masih relatif terbatas, terutama pada ekosistem hutan tanaman tropis. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan kuantitatif berbasis parameter model Horton untuk mengidentifikasi fase transisi infiltrasi secara lebih objektif. Penelitian ini bertujuan untuk: menganalisis dinamika laju infiltrasi pada tegakan mahoni dan akasia menggunakan model Horton; mengidentifikasi fase transisi infiltrasi pada masing-masing tegakan; dan mengevaluasi implikasi hidrologi kedua tegakan terhadap fungsi konservasi tanah dan air pada kawasan hutan pendidikan.

2. Methode

2.1. Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada kawasan hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin (**Gambar 1**) yang memiliki tegakan mahoni dan akasia dengan umur relatif seragam, yaitu sekitar 60 tahun. Kawasan penelitian merupakan hutan tanaman yang telah berkembang dalam jangka waktu panjang dan memiliki kondisi tegakan yang relatif stabil



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian berada di Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin, pada plot Mahoni dan Akasia

2.2. Pengambilan Data

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan menggunakan *The Turf-Tec* Infiltrometer (**Gambar 2**), yaitu alat infiltrasi lapangan yang dirancang untuk mengukur kemampuan tanah dalam menyerap air secara langsung (*in-situ*). Alat ini bekerja dengan mempertahankan tinggi muka air yang konstan di dalam silinder infiltrasi sehingga perubahan laju infiltrasi dapat diamati secara kontinu selama periode pengukuran. Sebelum pengukuran dilakukan, permukaan tanah dibersihkan dari serasah kasar dan material organik yang tidak melekat tanpa mengganggu struktur tanah mineral. Silinder infiltrasi kemudian dipasang secara tegak lurus pada permukaan tanah dengan penetrasi sekitar 5–10 cm untuk meminimalkan kebocoran lateral selama proses pengukuran. Setelah alat terpasang dengan baik, air ditambahkan ke dalam silinder hingga mencapai tinggi muka air yang telah ditentukan dan dipertahankan tetap selama pengamatan. Pengukuran dilakukan selama 30 menit dengan interval pencatatan setiap 5 detik, sehingga diperoleh 360 data laju infiltrasi pada setiap plot. Pengamatan dilakukan pada tiga plot ulangan di masing-masing tegakan mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan akasia (*Acacia auriculiformis*).



Gambar 2. Pengukuran laju infiltrasi tanah menggunakan *Single-ring Turf-Tec* infiltrometer

Seluruh pengukuran dilaksanakan pada kondisi tanah dengan kelembapan lapangan yang relatif seragam dan tidak dilakukan segera setelah hujan, sehingga pengaruh curah hujan sebelumnya terhadap proses infiltrasi dapat diminimalkan. Laju infiltrasi dinyatakan dalam satuan mm s^{-1} dan selanjutnya dianalisis menggunakan model infiltrasi Horton untuk memperoleh

parameter laju infiltrasi awal (f_0), laju infiltrasi konstan (f_c), konstanta penurunan infiltrasi (k), serta waktu transisi infiltrasi. Pengamatan infiltrasi mengacu pada prinsip pengukuran infiltrasi kapasitas tanah yang umum digunakan dalam kajian hidrologi tanah (Arsyad, 2010). Data infiltrasi dicatat secara berkala untuk menggambarkan perubahan laju infiltrasi terhadap waktu. Pengamatan dilakukan hingga infiltrasi menunjukkan kecenderungan mendekati kondisi konstan.

2.3. Permodelan Laju Infiltrai Menggunakan Persamaan Horton

Untuk menggambarkan perubahan laju infiltrasi selama proses pengukuran, digunakan model infiltrasi Horton. Model ini dipilih karena mampu merepresentasikan karakteristik penurunan laju infiltrasi dari kondisi awal yang relatif tinggi hingga mencapai kondisi infiltrasi konstan seiring bertambahnya waktu. Selain sederhana, model Horton juga telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian hidrologi untuk mengevaluasi dinamika infiltrasi pada berbagai tipe penggunaan lahan. Analisis infiltrasi dilakukan menggunakan model Horton dengan persamaan (Horton, 1940):

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Keterangan:

$f(t)$ = laju infiltrasi pada waktu t (mm s^{-1}),

f_0 = laju infiltrasi awal (mm s^{-1}),

f_c = laju infiltrasi konstan (mm s^{-1}),

k = konstanta penurunan infiltrasi (menit^{-1}),

t = waktu pengamatan (menit)

Nilai setiap parameter diperoleh melalui pendekatan regresi nonlinier (nonlinear least squares regression) sehingga kurva hasil pemodelan memiliki tingkat kesesuaian terbaik terhadap data hasil pengamatan di lapangan. Pendekatan ini memungkinkan estimasi parameter dilakukan secara objektif dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat antara nilai hasil pengamatan dan nilai hasil prediksi model. Kinerja model dievaluasi menggunakan beberapa indikator statistik, yaitu koefisien determinasi (R^2), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE). Keempat indikator tersebut digunakan secara bersamaan agar kemampuan model dalam merepresentasikan dinamika infiltrasi dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

2.4. Penentuan Fase Transisi Infiltrasi

Selain mengestimasi laju infiltrasi awal dan laju infiltrasi konstan, penelitian ini juga mengidentifikasi waktu terjadinya fase transisi infiltrasi. Pada penelitian sebelumnya, fase transisi umumnya ditentukan berdasarkan interpretasi visual terhadap bentuk kurva infiltrasi. Pendekatan tersebut bersifat subjektif dan dapat menghasilkan perbedaan interpretasi antar peneliti. Untuk mengurangi subjektivitas tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berdasarkan konstanta penurunan infiltrasi (k) pada model Horton. Waktu transisi dihitung menggunakan persamaan:

$$T_{transisi} = \frac{3}{k}$$

Pendekatan ini didasarkan pada sifat fungsi eksponensial, di mana setelah tiga kali konstanta peluruhan, laju infiltrasi telah mencapai sekitar 95% dari kondisi infiltrasi konstan. Dengan demikian, fase transisi dapat ditentukan secara lebih objektif dan konsisten pada seluruh ulangan pengamatan. Kurva infiltrasi juga dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi fase infiltrasi awal, fase transisi infiltrasi, dan fase infiltrasi mendekati stabil. Perbandingan antar tegakan dilakukan berdasarkan pola penurunan infiltrasi, durasi fase transisi, dan kestabilan infiltrasi pada akhir pengamatan.

3. Hasil Dan Pembahasan

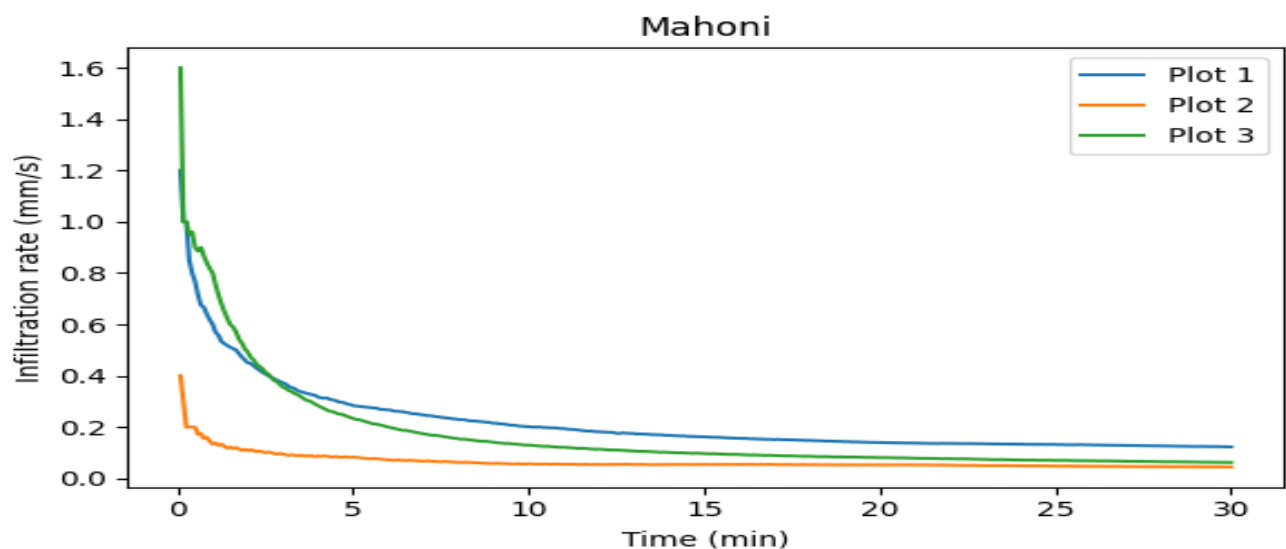
3.1. Dinamika Infiltrasi pada Tegakan Mahoni

Pola perubahan laju infiltrasi pada tegakan mahoni ditunjukkan pada **Gambar 3** khususnya pada Plot 3 memiliki laju infiltrasi awal tertinggi, mencapai sekitar $1,60 \text{ mm s}^{-1}$, diikuti oleh Plot 1



sekitar $1,00 \text{ mm s}^{-1}$, sedangkan Plot 2 hanya sekitar $0,40 \text{ mm s}^{-1}$. Kondisi ini menunjukkan bahwa kemampuan tanah dalam menerima air pada awal infiltrasi sangat bervariasi antarplot.

Meskipun demikian, seluruh plot memperlihatkan kecenderungan yang sama, yaitu penurunan laju infiltrasi yang berlangsung secara eksponensial hingga mendekati kondisi infiltrasi konstan pada akhir pengamatan. Plot 1 dan Plot 3 mempertahankan laju infiltrasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan Plot 2 hampir sepanjang periode pengamatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kedua plot tersebut memiliki kapasitas infiltrasi awal yang lebih besar dan memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai kondisi infiltrasi stabil.



Gambar 3. Kurva pengamatan laju infiltrasi pada tegakan mahoni (30 menit pengamatan pada masing-masing plot)

Besarnya variasi infiltrasi awal pada tegakan mahoni mengindikasikan adanya heterogenitas kondisi tanah yang lebih tinggi dibandingkan tegakan akasia. Perbedaan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh variasi distribusi akar, akumulasi serasah, kandungan bahan organik, serta kondisi struktur tanah yang berkembang di bawah tegakan mahoni. Faktor-faktor tersebut diketahui berperan dalam membentuk pori makro tanah sehingga meningkatkan kapasitas infiltrasi pada awal kejadian hujan. Secara umum, tegakan mahoni menunjukkan kapasitas infiltrasi awal yang lebih tinggi dibandingkan tegakan akasia. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tanah di bawah tegakan mahoni memiliki kemampuan yang lebih besar dalam menerima air pada fase awal infiltrasi. Namun demikian, setelah memasuki fase mendekati jenuh, laju infiltrasi pada seluruh plot secara bertahap menurun hingga mencapai kondisi yang relatif stabil.

Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik tegakan mahoni yang menghasilkan akumulasi serasah lebih tebal dan pembentukan struktur tanah yang lebih stabil. Sistem perakaran yang berkembang dalam jangka panjang juga berkontribusi terhadap pembentukan biopori dan peningkatan permeabilitas tanah (Arsyad, 2010). Selain itu, infiltrasi pada fase akhir pengamatan pada tegakan mahoni masih menunjukkan nilai residual yang relatif lebih stabil dibandingkan tegakan akasia. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tegakan mahoni memiliki kemampuan retensi air tanah yang lebih baik. Kemampuan tersebut sangat penting dalam mendukung fungsi konservasi air pada kawasan hutan (Bruijnzeel, 2004).

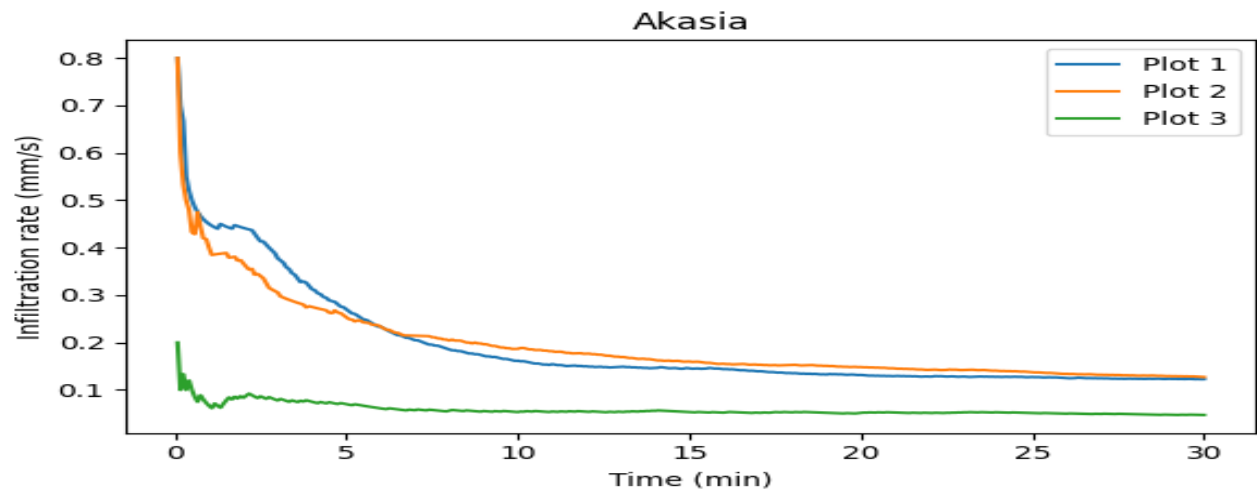
3.2. Dinamika Infiltrasi pada Tegakan Akasia

Gambar 4 menunjukkan perubahan laju infiltrasi hasil pengamatan pada tiga plot di bawah tegakan akasia selama 30 menit. Secara umum, seluruh plot memperlihatkan pola penurunan laju infiltrasi yang sangat cepat pada awal pengamatan, kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai kondisi yang relatif stabil pada akhir periode pengamatan. Pola tersebut menggambarkan karakteristik infiltrasi tanah yang umum terjadi, yaitu tingginya kapasitas infiltrasi pada awal proses akibat dominasi gaya kapiler, kemudian berangsur menurun seiring meningkatnya kejenuhan tanah.

Meskipun memiliki pola yang sama, ketiga plot menunjukkan karakteristik infiltrasi yang berbeda. Plot 2 memiliki laju infiltrasi awal tertinggi, mencapai sekitar $0,80 \text{ mm s}^{-1}$, kemudian mengalami penurunan yang cepat pada beberapa menit pertama sebelum mencapai kondisi yang



relatif stabil sekitar **0,13 mm s⁻¹** pada akhir pengamatan. Plot 1 memperlihatkan laju infiltrasi awal yang sedikit lebih rendah, namun mempertahankan laju infiltrasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan Plot 2 selama fase pertengahan pengamatan. Sebaliknya, Plot 3 menunjukkan laju infiltrasi awal yang jauh lebih rendah dibandingkan dua plot lainnya dan sejak awal hingga akhir pengamatan mempertahankan nilai infiltrasi yang relatif kecil, yaitu sekitar **0,05 mm s⁻¹**



Gambar 4. Kurva pengamatan laju infiltrasi pada tegakan akasia (30 menit pengamatan pada masing-masing plot).

Perbedaan pola infiltrasi antarplot mengindikasikan adanya variasi kondisi biofisik tanah pada masing-masing lokasi pengamatan. Variasi tersebut diduga berkaitan dengan perbedaan struktur tanah, distribusi sistem perakaran, kandungan bahan organik, ketebalan serasah, maupun tingkat pemadatan tanah yang memengaruhi kemampuan tanah dalam menerima dan mengalirkan air. Secara keseluruhan, tegakan akasia menunjukkan penurunan laju infiltrasi yang relatif cepat dan cenderung mencapai kondisi infiltrasi stabil dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar pori tanah yang berperan dalam proses infiltrasi telah terisi dalam beberapa menit pertama setelah air diberikan

Tegakan akasia menunjukkan fase transisi infiltrasi yang lebih panjang dengan penurunan laju infiltrasi yang lebih gradual, sedangkan tegakan akasia mengalami penurunan infiltrasi yang lebih cepat menuju kondisi quasi-steady. Variasi antar plot pada kedua tegakan mengindikasikan adanya heterogenitas mikro-tapak yang memengaruhi karakteristik infiltrasi tanah. Variasi antar plot pada tegakan akasia menunjukkan adanya heterogenitas mikro-tapak meskipun berada pada umur tegakan yang relatif sama. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh variasi struktur tanah, distribusi akar, ketebalan serasah, dan kandungan bahan organik tanah (Rahim, 2006).

3.3. Perbandingan Fase Transisi Infiltrasi Antar Tegakan

Perubahan laju infiltrasi pada tegakan mahoni dan akasia berhasil dimodelkan dengan baik menggunakan persamaan Horton (**Gambar 5**). Secara umum, seluruh kurva menunjukkan pola yang serupa, yaitu laju infiltrasi yang sangat tinggi pada awal pengukuran kemudian menurun secara eksponensial hingga mencapai kondisi infiltrasi yang relatif konstan. Pola tersebut merupakan karakteristik umum proses infiltrasi, ketika gaya kapiler mendominasi pada tahap awal sebelum secara bertahap berkurang seiring meningkatnya kejenuhan tanah. Model Horton mampu mengikuti pola perubahan laju infiltrasi dengan tingkat ketelitian yang tinggi pada seluruh plot pengamatan. Nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0,845–0,960 pada tegakan mahoni dan 0,734–0,967 pada tegakan akasia. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar variasi laju infiltrasi selama periode pengamatan berhasil dijelaskan oleh model Horton. Hal ini juga diperkuat oleh nilai RMSE yang relatif kecil, yaitu 0,013–0,038 mm s⁻¹ pada mahoni dan 0,007–0,021 mm s⁻¹ pada akasia, sehingga kesalahan prediksi model terhadap data hasil pengamatan tergolong rendah.

Hasil evaluasi menggunakan indeks Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) juga memperlihatkan performa model yang sangat baik. Nilai NSE berkisar antara 0,844–0,959 pada tegakan mahoni dan 0,731–0,966 pada tegakan akasia. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa persamaan Horton mampu merepresentasikan dinamika infiltrasi pada kedua tipe tegakan dengan tingkat keandalan



yang tinggi, meskipun terdapat variasi karakteristik infiltrasi antarplot. Perbedaan utama antara tegakan mahoni dan akasia terletak pada durasi fase transisi infiltrasi. Tegakan akasia menunjukkan respon infiltrasi yang cepat namun segera mengalami penurunan menuju kondisi stabil. Sebaliknya, tegakan mahoni memperlihatkan kemampuan mempertahankan infiltrasi lebih lama sebelum mencapai kondisi quasi-steady. Secara hidrologis, perbedaan tersebut menunjukkan bahwa tegakan mahoni memiliki resiliensi hidrologi yang lebih tinggi dibandingkan tegakan akasia. Resiliensi hidrologi tersebut tercermin dari kemampuan tanah mempertahankan kapasitas infiltrasi selama proses pembasahan berlangsung (Dingman, 2015). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa tipe tegakan berpengaruh terhadap dinamika temporal infiltrasi tanah. Oleh karena itu, pemilihan jenis tegakan dalam rehabilitasi lahan dan pengelolaan DAS perlu mempertimbangkan aspek hidrologi selain aspek produksi biomassa (Asdak, 2023).

3.4. Karakteristik Infiltrasi Mahoni

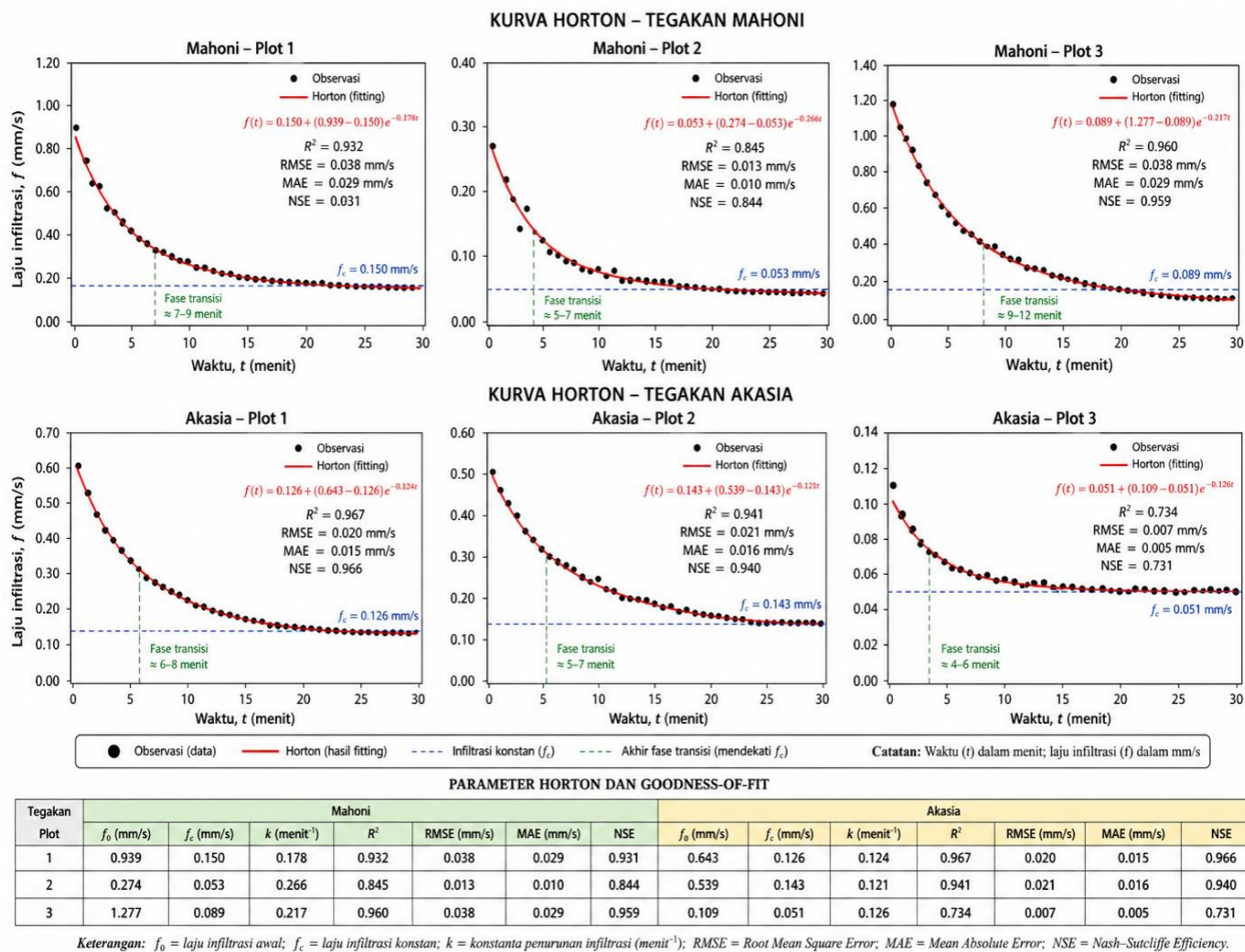
Pada tegakan mahoni, laju infiltrasi awal (f_0) menunjukkan variasi yang cukup besar, yaitu antara 0,274–1,277 mm s⁻¹ (Gambar 5). Plot 3 memiliki laju infiltrasi awal tertinggi (1,277 mm s⁻¹), sedangkan Plot 2 menunjukkan nilai paling rendah (0,274 mm s⁻¹). Variasi tersebut mengindikasikan adanya heterogenitas kondisi mikro tapak, seperti distribusi serasah, perkembangan sistem perakaran, maupun struktur tanah pada masing-masing titik pengamatan. Meskipun berbeda pada fase awal, seluruh plot menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu laju infiltrasi menurun secara bertahap hingga mencapai kondisi infiltrasi konstan (f_c) antara 0,053–0,150 mm s⁻¹. Nilai infiltrasi konstan ini menggambarkan kemampuan tanah dalam mempertahankan aliran air setelah pori-pori tanah mendekati kondisi jenuh. Konstanta penurunan infiltrasi (k) berkisar antara 0,178–0,266 menit⁻¹, yang menunjukkan bahwa penurunan laju infiltrasi pada tegakan mahoni berlangsung secara bertahap. Berdasarkan nilai tersebut, fase transisi menuju infiltrasi konstan diperkirakan terjadi sekitar 5–12 menit setelah pengukuran dimulai. Plot 3 memiliki waktu transisi paling lama, sedangkan Plot 2 menunjukkan waktu transisi yang lebih singkat (Gambar 5).

3.5. Karakteristik Infiltrasi Akasia

Pada tegakan akasia, laju infiltrasi awal berada pada kisaran 0,109–0,643 mm s⁻¹, lebih rendah dibandingkan sebagian besar plot pada tegakan mahoni (Gambar 5). Nilai infiltrasi konstan berkisar antara 0,051–0,143 mm s⁻¹, yang secara umum masih berada pada kisaran yang sama dengan tegakan mahoni. Konstanta penurunan infiltrasi berkisar antara 0,121–0,126 menit⁻¹, menunjukkan bahwa laju infiltrasi menurun secara relatif lebih lambat dibandingkan beberapa plot mahoni. Namun demikian, karena nilai infiltrasi awal pada akasia relatif lebih rendah, kondisi infiltrasi konstan dapat dicapai dalam waktu yang relatif singkat, yaitu sekitar 4–8 menit (Gambar 5). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pada tegakan akasia proses infiltrasi berlangsung lebih stabil sejak awal pengamatan, meskipun kapasitas infiltrasi awalnya tidak setinggi yang dijumpai pada beberapa plot tegakan mahoni.

3.6. Perbandingan Karakteristik Infiltrasi Mahoni dan Akasia

Hasil pemodelan Horton menunjukkan adanya perbedaan karakteristik infiltrasi antara kedua tipe tegakan. Tegakan mahoni cenderung memiliki laju infiltrasi awal yang lebih tinggi dibandingkan tegakan akasia. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah di bawah tegakan mahoni memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menerima air pada saat awal kejadian hujan. Sebaliknya, nilai infiltrasi konstan pada kedua tegakan relatif tidak berbeda jauh. Hal tersebut mengindikasikan bahwa setelah tanah mendekati kondisi jenuh, kemampuan kedua tegakan dalam mempertahankan laju infiltrasi menjadi relatif serupa. Perbedaan utama kedua tegakan lebih banyak ditunjukkan pada fase awal infiltrasi, bukan pada fase infiltrasi konstan. Dengan demikian, keberadaan tegakan mahoni tampaknya lebih berperan dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi awal dibandingkan mempertahankan infiltrasi pada kondisi jenuh. Gambar 5 menunjukkan bahwa laju infiltrasi pada tegakan mahoni dan akasia mengikuti pola eksponensial model Horton, yaitu tinggi pada awal pengamatan, kemudian menurun secara bertahap hingga mendekati laju infiltrasi konstan (f_c). Secara umum, kurva hasil pemodelan berimpit cukup dekat dengan data observasi, sehingga model Horton mampu menggambarkan dinamika infiltrasi pada hampir seluruh plot dengan baik



Gambar 5. Model, kurva, dan parameter Horton serta *Goodness-of fit* pada masing-masing tegakan

Pada tegakan mahoni, variasi antarplot terlihat cukup besar. Plot 3 memiliki laju infiltrasi awal tertinggi, yaitu 1,277mm/s, dan fase transisi terpanjang sekitar 9–12 menit. Plot 2 memiliki nilai k tertinggi, yaitu 0,266 menit⁻¹, yang menunjukkan penurunan laju infiltrasi paling cepat hingga mendekati f_c sebesar 0,053 mm/s. Kinerja model terbaik ditemukan pada Plot 3 dengan $R^2 = 0,960$ dan $NSE = 0,959$, sedangkan Plot 2 menunjukkan kecocokan yang lebih rendah, tetapi masih tergolong baik, dengan $R^2 = 0,845$ dan $NSE = 0,844$. Pada tegakan akasia, Plot 1 dan Plot 2 memiliki pola infiltrasi yang relatif serupa. Nilai k pada seluruh plot juga hampir sama, yaitu 0,121–0,126 menit⁻¹, yang menunjukkan bahwa kecepatan penurunan infiltrasi pada tegakan akasia relatif lebih seragam dibandingkan mahoni. Plot 3 memiliki kapasitas infiltrasi paling rendah, dengan $f_0 = 0,109$ mm/s dan $f_c = 0,051$ mm/s. Plot ini juga memiliki kecocokan model terendah, yaitu $R^2 = 0,734$ dan $NSE = 0,731$, meskipun nilai RMSE dan MAE sangat kecil karena rentang nilai infiltrasinya juga rendah (Anggraini *et al* 2024)

Secara deskriptif, tegakan mahoni memiliki rata-rata laju infiltrasi awal (f_0) lebih tinggi, yaitu $0,830 \pm 0,512$ mm s⁻¹, dibandingkan tegakan akasia sebesar $0,430 \pm 0,284$ mm s⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa tanah di bawah tegakan mahoni cenderung mampu menerima air lebih cepat pada awal proses infiltrasi. Namun, nilai simpangan baku yang relatif besar menunjukkan adanya variasi yang tinggi antarplot, terutama pada tegakan mahoni. Setelah infiltrasi mendekati kondisi stabil, nilai laju infiltrasi konstan (f_c) pada mahoni dan akasia relatif serupa, masing-masing sebesar $0,097 \pm 0,049$ dan $0,107 \pm 0,049$ mm s⁻¹. Nilai konstanta penurunan infiltrasi (k) pada mahoni lebih tinggi daripada akasia, yaitu $0,220 \pm 0,044$ dibandingkan $0,124 \pm 0,003$ menit⁻¹. Dengan demikian, laju infiltrasi pada mahoni menurun lebih tajam dari kondisi awal menuju kondisi konstan. Meskipun demikian, akasia mencapai fase stabil dalam waktu yang lebih singkat, yaitu sekitar $6,0 \pm 1,0$ menit, sedangkan mahoni membutuhkan sekitar $8,0 \pm 2,5$ menit. Kondisi ini kemungkinan berkaitan dengan laju infiltrasi awal mahoni yang lebih tinggi.



Tabel 01. Rata-rata parameter model Horton dan evaluasi kinerja model pada tegakan mahoni dan akasia

Parameter	Mahoni (Rata-rata ± SD)	Akasia (Rata-rata ± SD)	Keterangan
Laju infiltrasi awal, (f ₀) (mm s ⁻¹)	0,830 ± 0,512	0,430 ± 0,284	Mahoni memiliki kemampuan menerima air lebih tinggi pada awal kejadian hujan.
Laju infiltrasi konstan, (f _c) (mm s ⁻¹)	0,097 ± 0,049	0,107 ± 0,049	Setelah tanah mendekati jenuh, kemampuan infiltrasi kedua tegakan relatif serupa.
Konstanta penurunan infiltrasi, (k) (menit ⁻¹)	0,220 ± 0,044	0,124 ± 0,003	Penurunan infiltrasi pada mahoni berlangsung lebih cepat menuju kondisi stabil dibandingkan akasia.
Waktu transisi (menit)	8,0 ± 2,5	6,0 ± 1,0	Tegakan akasia mencapai kondisi infiltrasi stabil lebih cepat dibandingkan mahoni.
Koefisien determinasi (R ²)	0,912 ± 0,060	0,881 ± 0,128	Model Horton mampu menjelaskan lebih dari 88% variasi infiltrasi pada kedua tegakan.
RMSE (mm s ⁻¹)	0,030 ± 0,014	0,016 ± 0,008	Kesalahan prediksi model relatif kecil pada seluruh plot.
MAE (mm s ⁻¹)	0,023 ± 0,011	0,012 ± 0,006	Selisih rata-rata antara hasil observasi dan prediksi tergolong rendah.
NSE	0,911 ± 0,060	0,879 ± 0,127	Nilai NSE > 0,70 menunjukkan performa model Horton sangat baik.

Pada table 1 menjelaskan, tegakan mahoni memiliki rata-rata laju infiltrasi awal (f_0) lebih tinggi, yaitu $0,830 \pm 0,512 \text{ mm s}^{-1}$, dibandingkan tegakan akasia sebesar $0,430 \pm 0,284 \text{ mm s}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa tanah di bawah tegakan mahoni cenderung mampu menerima air lebih cepat pada awal proses infiltrasi. Namun, nilai simpangan baku yang relatif besar menunjukkan adanya variasi yang tinggi antarplot, terutama pada tegakan mahoni. Setelah infiltrasi mendekati kondisi stabil, nilai laju infiltrasi konstan (f_c) pada mahoni dan akasia relatif serupa, masing-masing sebesar $0,097 \pm 0,049$ dan $0,107 \pm 0,049 \text{ mm s}^{-1}$. Nilai konstanta penurunan infiltrasi (k) pada mahoni lebih tinggi daripada akasia, yaitu $0,220 \pm 0,044$ dibandingkan $0,124 \pm 0,003 \text{ menit}^{-1}$. Dengan demikian, laju infiltrasi pada mahoni menurun lebih tajam dari kondisi awal menuju kondisi konstan. Meskipun demikian, akasia mencapai fase stabil dalam waktu yang lebih singkat, yaitu sekitar $6,0 \pm 1,0$ menit, sedangkan mahoni membutuhkan sekitar $8,0 \pm 2,5$ menit. Kondisi ini kemungkinan berkaitan dengan laju infiltrasi awal mahoni yang lebih tinggi. Model Horton menunjukkan kemampuan yang baik dalam menggambarkan dinamika infiltrasi pada kedua tegakan. Rata-rata nilai R^2 mencapai 0,912 pada mahoni dan 0,881 pada akasia, sedangkan nilai NSE masing-masing sebesar 0,911 dan 0,879. Nilai RMSE dan MAE yang rendah juga menunjukkan bahwa selisih antara hasil prediksi model dan data observasi relatif kecil. Secara keseluruhan, model Horton dapat digunakan untuk merepresentasikan pola infiltrasi pada tegakan mahoni dan akasia, meskipun tingkat variasi antarplot lebih besar pada tegakan mahoni.

Tabel 2. Signifikansi parameter infiltrasi antar tegakan

Parameter	Mahoni (rata-rata ± SD)	Akasia (rata-rata ± SD)	p-value	Keterangan
Laju infiltrasi awal, (f ₀) (mm s ⁻¹)	0,830 ± 0,512	0,430 ± 0,284	0,041*	Berbeda nyata
Laju infiltrasi konstan, (f _c) (mm s ⁻¹)	0,097 ± 0,049	0,107 ± 0,049	0,684	Tidak berbeda nyata
Konstanta penurunan, (k) (menit ⁻¹)	0,220 ± 0,044	0,124 ± 0,003	0,018*	Berbeda nyata
Waktu transisi (menit)	8,0 ± 2,5	6,0 ± 1,0	0,072	Tidak berbeda nyata
Koefisien determinasi, (R ²)	0,912 ± 0,060	0,881 ± 0,128	0,436	Tidak berbeda nyata

Keterangan: * menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5% ($p < 0,05$). Cantumkan jenis uji statistik yang digunakan, misalnya uji t independen atau Mann–Whitney.



Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju infiltrasi awal (f_0) berbeda nyata antara tegakan mahoni dan akasia ($p = 0,041$). Tegakan mahoni memiliki rata-rata f_0 lebih tinggi daripada akasia, yang menunjukkan bahwa tanah di bawah tegakan mahoni mampu menerima air lebih cepat pada awal proses infiltrasi. Konstanta penurunan infiltrasi (k) juga berbeda nyata ($p = 0,018$), dengan nilai yang lebih tinggi pada mahoni. Hal ini menunjukkan bahwa laju infiltrasi pada tegakan mahoni menurun lebih cepat dari kondisi awal menuju kondisi stabil. Sebaliknya, laju infiltrasi konstan (f_c), waktu transisi, dan nilai R^2 tidak berbeda nyata antara kedua tegakan ($p > 0,05$). Hasil ini menunjukkan bahwa setelah tanah mendekati kondisi stabil, kapasitas infiltrasi dan kemampuan model Horton dalam menjelaskan variasi data relatif serupa pada kedua tipe tegakan.

Pembahasan

Hasil pemodelan Horton menunjukkan adanya perbedaan karakteristik infiltrasi antara tanah di bawah tegakan mahoni dan akasia. Laju infiltrasi awal (f_0) pada tegakan mahoni secara nyata lebih tinggi dibandingkan pada tegakan akasia ($p = 0,041$) (Tabel 1 dan Tabel 2). Hasil ini menunjukkan bahwa pada awal pengamatan, tanah di bawah tegakan mahoni memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menerima air. Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan kondisi permukaan tanah, perkembangan sistem perakaran, ketebalan serasah, dan distribusi pori tanah, meskipun faktor-faktor tersebut belum diukur secara langsung dalam penelitian ini. Sebaliknya, laju infiltrasi konstan (f_c) tidak berbeda nyata antara kedua tegakan ($p = 0,684$). Hal ini menunjukkan bahwa ketika proses infiltrasi telah mendekati kondisi stabil, kemampuan tanah dalam mempertahankan masuknya air relatif serupa pada kedua tipe tegakan (Anggraini et al., 2024; Ariyanto et al., 2023). Dengan demikian, perbedaan karakteristik infiltrasi terutama terjadi pada fase awal, bukan pada fase infiltrasi konstan. Temuan ini mengindikasikan bahwa tanah di bawah tegakan mahoni lebih unggul dalam menerima air pada awal proses infiltrasi, tetapi tidak menunjukkan kapasitas infiltrasi kondisi stabil yang lebih tinggi daripada tanah di bawah tegakan akasia.

Konstanta penurunan infiltrasi (k) pada tegakan mahoni juga secara nyata lebih tinggi daripada akasia ($p = 0,018$). Nilai k yang lebih tinggi menunjukkan bahwa laju infiltrasi pada tegakan mahoni mengalami penurunan yang lebih tajam dari nilai awal menuju nilai konstan. Penurunan tersebut dapat terjadi karena pori-pori tanah (Suryoputro et al., 2018) secara bertahap terisi air, sementara pengaruh gaya kapiler semakin berkurang seiring meningkatnya kadar air tanah (Utami et al., 2021). Pada tahap selanjutnya, laju infiltrasi mendekati kondisi stabil yang terutama dikendalikan oleh kemampuan tanah menghantarkan air (Hadija et al., 2023). Waktu transisi pada tegakan mahoni secara deskriptif lebih panjang daripada akasia, tetapi perbedaannya tidak nyata secara statistik ($p = 0,072$). Oleh karena itu, belum terdapat bukti yang cukup untuk menyatakan bahwa salah satu tegakan mencapai kondisi infiltrasi stabil lebih cepat. Fase transisi yang ditampilkan pada Gambar 5 tetap memberikan informasi penting mengenai perubahan infiltrasi dari fase awal yang cepat menuju kondisi yang relatif stabil. Informasi tersebut dapat digunakan untuk memahami potensi respons hidrologi tanah terhadap hujan, terutama dalam kaitannya dengan kemungkinan terbentuknya limpasan permukaan dan penyimpanan air di dalam profil tanah.

Meskipun tanah di bawah tegakan mahoni menunjukkan laju infiltrasi awal yang lebih tinggi, hasil penelitian ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa tegakan mahoni memiliki resiliensi hidrologi yang lebih baik. Resiliensi hidrologi mencakup aspek yang lebih luas dan dipengaruhi oleh berbagai sifat tanah serta karakteristik vegetasi, seperti porositas, berat isi, stabilitas agregat, kadar air awal, konduktivitas hidraulik jenuh, ketebalan serasah, dan distribusi perakaran (Hardie et al., 2018). Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih tepat diinterpretasikan sebagai perbedaan karakteristik atau kinerja infiltrasi antara tanah di bawah tegakan mahoni dan akasia, bukan sebagai bukti langsung mengenai perbedaan resiliensi hidrologi kedua tegakan.

4.KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa model Horton mampu merepresentasikan dinamika infiltrasi pada tegakan mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan akasia (*Acacia auriculiformis*) di Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin dengan tingkat ketepatan yang baik, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai R^2 dan NSE yang tinggi serta RMSE dan MAE yang rendah. Fase transisi infiltrasi berlangsung sekitar 5–12 menit pada tegakan mahoni dan 4–8 menit pada tegakan



akasia. Tegakan mahoni memiliki laju infiltrasi awal lebih tinggi, yang menunjukkan kapasitas lebih besar dalam menerima air pada tahap awal hujan, sedangkan laju infiltrasi konstan pada kedua tegakan relatif serupa. Temuan ini menegaskan bahwa perbedaan utama antara kedua tegakan terletak pada fase awal dan fase transisi, bukan pada kondisi infiltrasi konstan. Kontribusi utama penelitian ini adalah penggunaan parameter model Horton untuk menentukan fase transisi secara kuantitatif, sehingga tidak hanya bergantung pada interpretasi visual kurva infiltrasi. Pendekatan ini sederhana, objektif, dan mudah diterapkan dalam evaluasi fungsi hidrologi tegakan hutan tanaman. Namun, penelitian selanjutnya perlu mengintegrasikan sifat fisik tanah, konduktivitas hidraulik, karakteristik perakaran, serasah, dan kondisi permukaan tanah untuk menjelaskan mekanisme yang mengendalikan perbedaan fase transisi infiltrasi secara lebih komprehensif. Hasil ini menyediakan dasar ilmiah bagi penilaian kapasitas resapan, pengendalian limpasan permukaan, dan pengelolaan hidrologi hutan tanaman tropis secara berkelanjutan pada tingkat lanskap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Staff Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin serta seluruh pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, N., Slamet, B., Syahputra, O. K. H., Keliat, J. M., & Zaitunah, A. (2024). Infiltration rate under the most dominant tree stands at the University Green Space: *Swietenia macrophylla*, *Mimusops elengi*, and *Polyalthia longifolia*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1352(1), 012070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1352/1/012070>
- Ariyanto, D. P., Sayoga, P. A., Suryono, & Sulisty, T. D. (2023). The effect of the land cover plant on infiltration rate in Alas Bromo, Karanganyar. *E3S Web of Conferences*, 467, 01024. doi:10.1051/e3sconf/202346701024.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press.
- Asdak, C. 2023. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104: 185–228.
- Chu, X. (2020). *Revised Horton model for event and continuous simulations of infiltration*. *Journal of Hydrology*, 589, Article 125215. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125215>
- Dingman, S.L. 2015. *Physical Hydrology*. Waveland Press.
- Hadija, Kuswinanti, T., Jayadi, M., & Larekeng, S. T. (2023). Soil function analysis in determining the soil quality index of paddy fields in Salassae Village, Bulukumba Regency, South Sulawesi Province, Indonesia. *Agricultural Science Digest*, 43(1), 40–45. <https://doi.org/10.18805/ag.DF-476>
- Hardie, M., Mendham, D., Corkrey, R., Hardiyanto, E., Maydra, A., Siregar, S., Marolop, R., & Wibowo, A. (2018). Effects of Eucalypt and Acacia plantations on soil water in Sumatra. *New Forests*, 49, 87–104. doi:10.1007/s11056-017-9607-3
- Hidayat, D. P. A., Darsono, S. L. W., & Farid, M. (2023). *Evaluation of infiltration modeling in the Cisadane Watershed in Indonesia: Existing and new approach equation*. *Water*, 15(23), 4149.
- Horton, R.E. 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 5: 399–417.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Bumi Aksara.
- Liu, R., Wang, J., Zhang, Y., Reimann, T., & Hartmann, A. (2024). Laboratory and numerical simulations of infiltration process and solute transport in karst vadose zone. *Journal of Hydrology*, 636, Article 131242. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131242>
- Rahim, S.E. 2006. *Pengendalian Erosi Tanah dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*. Bumi Aksara.



- Suryoputro, N., Suhardjono, Soetopo, W., Suhartanto, E. S., & Limantara, L. M. (2018). Evaluation of infiltration models for mineral soils with different land uses in the tropics. *Journal of Water and Land Development*, 37, 153–160. doi:10.2478/jwld-2018-0034.
- Utami, S. R., Kurniawan, S., Agustina, C., & de Corre, M. (2021). Soil macroporosity, physical properties and nutrient leaching after forest conversion to rubber and oil palm plantation in an Acrisol of Jambi, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(1), 3155–3163. doi:10.15243/jdmlm.2021.091.3155.
- Wu., S., Chen, L., Wang, N., Assouline, S. (2023). Modelling rainfall-infiltration-runoff processes on sloping surfaces subject to rapidly changing soil properties during seal formation. *Journal of Hydrology*, 619, Article 129318. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129318>