



Research Review

Dinamika Perakaran Kakao (*Theobroma cacao* L.): Tinjauan Fisiologis, Agronomis, dan Pengelolaan Kebun

Cacao (*Theobroma cacao* L.) Root Dynamics: A Physiological, Agronomic, and Orchard Management Review

Bambang Budi Santoso*, Jayaputra, I Komang Damar Jaya

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mataram,
Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*corresponding author, email : bambang.bs@unram.ac.id

Manuscript received: 11-02-2026. Accepted: 29-03-2026

ABSTRAK

Pertumbuhan akar tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan proses dinamis yang berperan penting dalam menentukan kemampuan tanaman menyerap air dan hara, menopang pertumbuhan tajuk, serta mempertahankan produktivitas pada berbagai kondisi lingkungan. Berbeda dengan organ tajuk yang lebih mudah diamati, pertumbuhan akar sering kurang mendapat perhatian karena berlangsung di bawah permukaan tanah. Artikel ini bertujuan mengulas dinamika ritme pertumbuhan akar kakao, terutama akar halus, serta hubungannya dengan pertumbuhan tajuk, ketersediaan air, hara, sistem naungan, dan pengelolaan kebun. Metode yang digunakan adalah kajian pustaka naratif-integratif terhadap artikel ilmiah, publikasi teknis, dan hasil penelitian yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pertumbuhan akar kakao bersifat ritmis dan berkaitan erat dengan siklus pertumbuhan tajuk. Pada saat flush daun berlangsung, akar dapat mengalami penurunan aktivitas karena asimilat lebih banyak dialokasikan ke daun muda yang sedang berkembang. Akar halus berperan sebagai organ utama dalam penyerapan air dan hara, tetapi sangat dipengaruhi oleh kelembapan tanah, aerasi, kandungan bahan organik, pemadatan tanah, kompetisi akar dengan tanaman penanang, serta distribusi hara di zona perakaran. Sistem agroforestri dapat memperbaiki iklim mikro dan kondisi tanah, tetapi juga berpotensi menimbulkan kompetisi bawah tanah apabila jenis dan jarak tanaman penanang tidak dikelola dengan tepat. Kajian ini menegaskan bahwa pengelolaan akar kakao perlu dilakukan melalui konservasi kelembapan tanah, pemupukan berbasis zona akar aktif, pemeliharaan bahan organik, pengaturan naungan, serta pencegahan pemadatan dan genangan. Pemahaman tentang ritme pertumbuhan akar penting untuk mendukung pengelolaan kebun kakao yang produktif, adaptif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: akar kakao, akar halus, ritme pertumbuhan, tajuk-akar, air tanah, hara, agroforestri.

ABSTRACT

Root growth dynamics in cacao (*Theobroma cacao* L.) play a critical role in determining water and nutrient uptake, supporting canopy development, and sustaining productivity under diverse environmental conditions. Unlike the canopy, which is relatively easy to observe, root growth is often overlooked because it occurs belowground. This review aims to synthesize current knowledge on the rhythmic growth of cacao roots, particularly fine roots, and their relationships with canopy growth, water availability, nutrient acquisition, shade systems, and orchard management. A narrative-integrative literature review was conducted using scientific articles, technical publications, and relevant research reports. The review indicates that cacao root growth is

rhythmic and closely associated with shoot growth cycles. During leaf flushing, root activity may decline because assimilates are preferentially allocated to developing young leaves. Fine roots serve as the primary organs for water and nutrient uptake, but their growth and function are strongly influenced by soil moisture, aeration, organic matter, soil compaction, root competition with shade trees, and nutrient distribution in the rooting zone. Agroforestry systems may improve microclimate and soil conditions, yet they may also intensify belowground competition when shade tree species and spacing are not properly managed. This review emphasizes that cacao root management should include soil moisture conservation, fertilization based on active rooting zones, organic matter maintenance, shade regulation, and prevention of soil compaction and waterlogging. Understanding root growth rhythms is essential for developing productive, adaptive, and sustainable cacao orchard management.

Keywords: cacao root, fine root, growth rhythm, shoot–root relationship, soil water, nutrient, agroforestry.

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan tanaman tahunan tropika yang produktivitasnya sangat ditentukan oleh keseimbangan antara pertumbuhan tajuk dan pertumbuhan akar. Selama ini, kajian dan praktik pengelolaan kakao lebih banyak menekankan aspek tajuk, seperti flush daun, pembungaan, pembuahan, pemangkasan, dan naungan. Padahal, akar memiliki peran mendasar sebagai organ penopang, penyerap air dan hara, tempat interaksi dengan mikroorganisme tanah, serta pengatur sebagian respons tanaman terhadap cekaman lingkungan. Zakariyya dan Santoso (2021) menegaskan bahwa informasi tentang akar penting untuk menjawab berbagai permasalahan budidaya kakao di lapangan, termasuk pemilihan bahan tanam, persiapan lahan, pola tanam, pemupukan, dan irigasi.

Sistem perakaran kakao secara umum terdiri atas akar tunggang dan akar lateral. Akar tunggang berfungsi sebagai penopang dan dapat tumbuh ke arah lapisan tanah yang lebih dalam, sedangkan akar lateral dan akar halus lebih banyak berperan dalam eksplorasi tanah bagian atas untuk memperoleh air dan unsur hara. Pada kakao, akar lateral dikenal sebagai *surface feeder roots* karena sebagian besar berkembang dekat permukaan tanah. Kondisi ini menyebabkan pertumbuhan dan fungsi akar kakao sangat dipengaruhi oleh kelembapan tanah lapisan atas, ketersediaan bahan organik, struktur tanah, aerasi, pemupukan, serta kompetisi dengan akar tanaman penanang. Zakariyya dan Santoso (2021) menjelaskan bahwa zona perakaran kakao dapat berkembang secara vertikal melalui akar tunggang dan secara horizontal melalui akar lateral, bahkan jangkauan horizontalnya dapat mendekati lebar tajuk tanaman.

Akar halus merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem perakaran kakao karena berperan langsung dalam penyerapan air dan hara. Meskipun biomassa akar halus relatif kecil dibandingkan akar struktural, akar halus memiliki aktivitas fisiologis tinggi, umur relatif pendek, dan pergantian jaringan yang cepat. Oleh karena itu, akar halus menjadi indikator penting untuk memahami kemampuan tanaman dalam merespons perubahan lingkungan tanah. Kummerow, Kummerow, dan Souza da Silva (1982) menunjukkan bahwa kepadatan akar halus kakao relatif stabil selama periode pengamatan, tetapi jumlah ujung akar yang sedang tumbuh berubah secara nyata dan berkorelasi negatif dengan flush tajuk. Temuan ini menunjukkan bahwa akar kakao tidak hanya tumbuh sebagai struktur pasif, tetapi memiliki dinamika ritmis yang berkaitan dengan pertumbuhan organ tajuk.

Hubungan tajuk dan akar pada kakao menjadi semakin penting karena pertumbuhan keduanya menggunakan sumber asimilat yang sama. Pada saat daun muda berkembang dalam fase flush, daun tersebut berperan sebagai *sink* yang kuat sehingga dapat menarik sebagian besar asimilat dari daun matang, batang, dan akar. Sleight, Collin, dan Hardwick (1984) menunjukkan bahwa pertumbuhan tajuk dan akar bibit kakao berlangsung secara bergantian; ketika daun muda berkembang cepat, pertumbuhan akar dapat terhambat, sedangkan penghilangan sebagian akar dapat menunda pembentukan daun baru.

Kajian mengenai dinamika akar kakao penting dilakukan karena perubahan iklim, musim kering yang lebih panjang, curah hujan ekstrem, degradasi bahan organik tanah, serta intensifikasi kebun dapat

mengubah kondisi zona perakaran. Tanaman dengan sistem akar yang sehat dan aktif lebih mampu mempertahankan pertumbuhan tajuk, mendukung pembentukan buah, serta beradaptasi terhadap keterbatasan air dan hara. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan mengulas dinamika ritme pertumbuhan akar kakao, terutama akar halus, dengan menekankan hubungan tajuk–akar, peran air dan hara, pengaruh sistem naungan/agroforestri, serta implikasinya terhadap pengelolaan kebun kakao.

BAHAN DAN METODE

Artikel ini disusun menggunakan metode kajian pustaka naratif-integratif. Pendekatan ini dipilih karena topik dinamika ritme pertumbuhan akar kakao mencakup beberapa aspek yang saling berkaitan, yaitu morfologi akar, pertumbuhan akar halus, hubungan tajuk–akar, alokasi asimilat, ketersediaan air, penyerapan hara, kompetisi akar dalam sistem agroforestri, serta praktik pengelolaan kebun.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari artikel jurnal internasional, artikel jurnal nasional, publikasi teknis lembaga penelitian, buku akademik, dan dokumen ilmiah yang relevan. Literatur ditelusuri melalui Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, PubMed, DOAJ, ResearchGate, Garuda, Neliti, SINTA, serta laman lembaga penelitian perkebunan.

Kata kunci dalam bahasa Indonesia yang digunakan meliputi “akar kakao”, “perakaran kakao”, “akar halus kakao”, “pertumbuhan akar kakao”, “hubungan tajuk akar kakao”, “kakao agroforestri akar”, “air tanah kakao”, “hara kakao”, dan “pengelolaan zona akar kakao”. Kata kunci dalam bahasa Inggris meliputi *cacao root growth*, *Theobroma cacao fine roots*, *cocoa root dynamics*, *cacao shoot root relationship*, *cacao root length density*, *cacao agroforestry roots*, *cacao nutrient acquisition*, *cacao water stress*, dan *cacao root morphology*.

Kriteria inklusi meliputi literatur yang membahas akar kakao secara langsung, pertumbuhan akar halus, distribusi akar, hubungan tajuk dan akar, alokasi asimilat, pengaruh air dan hara terhadap akar, serta interaksi akar kakao dengan tanaman penayang. Literatur yang hanya membahas pascapanen, fermentasi, pemasaran, atau aspek sosial ekonomi tanpa keterkaitan dengan pertumbuhan akar tidak digunakan sebagai sumber utama.

Seleksi literatur dilakukan melalui pembacaan judul, abstrak, dan bagian hasil-pembahasan. Literatur yang terpilih kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa tema, yaitu: sistem perakaran kakao, dinamika akar halus, hubungan tajuk–akar, pengaruh air dan aerasi tanah, pengaruh hara dan rizosfer, pengaruh agroforestri dan tanaman penayang, serta implikasi pengelolaan kebun. Analisis dilakukan secara deskriptif-kualitatif melalui sintesis naratif dengan membandingkan kesamaan, perbedaan, dan kontribusi masing-masing temuan terhadap pemahaman ritme pertumbuhan akar kakao.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan akar kakao perlu dipahami sebagai proses yang dinamis, bukan sekadar penambahan panjang atau biomassa akar. Akar kakao memiliki pola pertumbuhan yang dipengaruhi oleh umur tanaman, fase pertumbuhan tajuk, ketersediaan asimilat, kondisi air tanah, aerasi, ketersediaan hara, bahan organik, serta kompetisi dengan tanaman lain. Dalam konteks tanaman tahunan, dinamika akar menjadi sangat penting karena akar tidak hanya menopang pertumbuhan vegetatif, tetapi juga menentukan kemampuan tanaman mempertahankan produktivitas dalam jangka panjang.

Pembahasan berikut disusun mulai dari karakter sistem perakaran kakao, dinamika akar halus, hubungan tajuk–akar, pengaruh air dan hara, hingga implikasi pengelolaan kebun. Alur tersebut dimaksudkan agar pertumbuhan akar kakao dapat dipahami secara utuh, baik sebagai fenomena fisiologis maupun sebagai dasar pengambilan keputusan budidaya di lapangan.

1. Sistem perakaran kakao dan posisi strategis akar halus

Sistem perakaran kakao terdiri atas akar tunggang, akar lateral, dan akar halus. Akar tunggang berkembang dari radikula dan berfungsi sebagai penopang utama tanaman, sedangkan akar lateral menyebar secara horizontal di lapisan tanah atas. Dari akar lateral inilah akar-akar halus berkembang dan membentuk jaringan penyerapan air serta hara. Pada tanaman dewasa, akar tunggang dapat mencapai kedalaman sekitar 1–2 m, sedangkan akar lateral dapat menyebar hingga beberapa meter dari batang, tergantung kondisi tanah, umur tanaman, asal bahan tanam, dan sistem budidaya.

Akar halus memiliki fungsi fisiologis yang berbeda dari akar struktural. Akar struktural terutama berperan menopang dan menghubungkan sistem perakaran, sedangkan akar halus berperan dalam penyerapan air, unsur hara, dan interaksi dengan mikroorganisme tanah. Oleh sebab itu, akar halus menjadi bagian yang paling responsif terhadap perubahan lingkungan tanah. Jika tanah cukup lembap, gembur, kaya bahan organik, dan memiliki aerasi baik, pembentukan akar halus cenderung lebih aktif. Sebaliknya, kekeringan, genangan, pemadatan tanah, rendahnya bahan organik, dan kompetisi akar dapat menekan perkembangan akar halus.

Tabel 1. Kerangka sintesis pembahasan dinamika ritme pertumbuhan akar kakao berdasarkan literatur

Pokok pembahasan	Fokus bahasan	Parameter/indikator yang dikaji	Referensi utama
Sistem perakaran kakao	Struktur akar tunggang, akar lateral, dan akar halus	Kedalaman akar, sebaran horizontal, proporsi biomassa akar	Zakariyya & Santoso (2021); Kummerow et al. (1981)
Dinamika akar halus	Pertumbuhan, aktivitas ujung akar, dan pergantian akar halus	Kepadatan akar halus, ujung akar aktif, umur akar	Kummerow et al. (1982); Silva & Kummerow (1998)
Hubungan tajuk–akar	Interaksi flush daun dan pertumbuhan akar	Alokasi asimilat, fase flush, aktivitas akar	Sleigh et al. (1984); Kummerow et al. (1982)
Air dan aerasi tanah	Peran air tanah, kekeringan, dan genangan	Kelembapan tanah, turgor akar, ketersediaan oksigen	Carr & Lockwood (2011); Bertolde et al. (2012)
Hara dan rizosfer	Respons akar terhadap distribusi hara	Panjang akar, biomassa akar, sifat akar halus	Borden et al. (2020); van Vliet & Giller (2017)
Agroforestri dan kompetisi akar	Interaksi akar kakao dengan tanaman penanang	Kepadatan akar, tumpang tindih akar, partisi air/hara	Nygren et al. (2013); Abou Rajab et al. (2018); Saleh et al. (2022)
Implikasi pengelolaan	Praktik budidaya berbasis zona akar aktif	Mulsa, rorak, pemupukan, naungan, drainase	Zakariyya & Santoso (2021); Saputra et al. (2024)

Tabel 1 memperlihatkan bahwa pembahasan pertumbuhan akar kakao tidak dapat dilepaskan dari hubungan antara morfologi akar, fungsi akar halus, lingkungan tanah, dan praktik pengelolaan kebun. Dengan kerangka ini, akar dipahami bukan hanya sebagai organ penyerap, tetapi juga sebagai komponen penghubung antara kondisi tanah, pertumbuhan tajuk, dan produktivitas tanaman.

2. Dinamika ritme pertumbuhan akar dan hubungan tajuk–akar

Salah satu aspek penting dalam fisiologi kakao adalah adanya hubungan ritmis antara pertumbuhan tajuk dan akar. Pada fase flush daun, daun muda berkembang cepat dan membutuhkan pasokan asimilat dalam jumlah besar. Karena daun muda belum sepenuhnya berfungsi sebagai sumber fotosintat, kebutuhan energinya dipenuhi oleh daun matang, batang, dan sebagian cadangan karbohidrat tanaman. Kondisi ini dapat mengurangi alokasi asimilat ke akar sehingga aktivitas pertumbuhan akar menurun sementara.

Sleigh et al. (1984) menunjukkan bahwa pertumbuhan tajuk dan akar bibit kakao berlangsung secara bergantian. Ketika daun muda yang baru membuka dihilangkan, akar menunjukkan laju

pertumbuhan tinggi secara lebih konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa daun muda yang sedang berkembang dapat memberikan pengaruh penghambatan terhadap pertumbuhan akar karena menjadi pusat permintaan asimilat. Sebaliknya, penghilangan sebagian akar dapat menunda pembentukan daun baru, menunjukkan bahwa akar juga memengaruhi aktivitas tajuk.

Kummerow et al. (1982) juga menemukan korelasi negatif antara flush tajuk dan aktivitas akar halus pada kebun kakao dewasa di Bahia, Brasil. Meskipun biomassa akar halus relatif stabil, jumlah ujung akar yang sedang tumbuh berubah secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa ritme pertumbuhan akar lebih tampak pada aktivitas ujung akar daripada pada total biomassa akar. Dengan demikian, pengamatan akar kakao sebaiknya tidak hanya menggunakan indikator berat kering akar, tetapi juga memperhatikan panjang akar, jumlah ujung akar aktif, akar baru, dan distribusi akar halus.

Tabel 2. Tahapan umum ritme pertumbuhan akar kakao dan hubungannya dengan tajuk

Tahap ritme akar	Kondisi tajuk yang berkaitan	Ciri fisiologis akar	Implikasi terhadap tanaman
Pra-flush tajuk	Tunas mulai aktif, kebutuhan asimilat meningkat	Akar masih relatif aktif menyerap air dan hara	Akar mendukung persiapan pertumbuhan daun baru
Flush daun muda	Daun muda berkembang cepat dan menjadi <i>sink</i> kuat	Aktivitas akar dapat menurun karena asimilat dialihkan ke daun muda	Kompetisi asimilat antara akar dan tajuk meningkat
Pematangan daun	Daun mulai menjadi sumber fotosintat	Alokasi asimilat ke akar berangsur meningkat	Akar dapat membentuk cabang dan akar halus baru
Fase istirahat tajuk	Pertumbuhan pucuk melambat	Pertumbuhan akar berpeluang lebih aktif	Pemulihan cadangan karbohidrat dan perluasan zona serapan
Reaktivasi tajuk	Tunas kembali aktif	Alokasi asimilat kembali terbagi	Siklus tajuk–akar berulang

Tabel 2 menegaskan bahwa ritme pertumbuhan akar kakao berkaitan erat dengan dinamika tajuk. Ketika tajuk aktif membentuk daun muda, akar dapat mengalami penurunan aktivitas; ketika daun telah matang dan fotosintesis meningkat, akar memperoleh kembali suplai asimilat untuk membentuk jaringan baru. Hubungan ini penting dalam menentukan waktu pemupukan, irigasi, pemangkasan, dan pemeliharaan tanah.

3. Akar halus sebagai pusat penyerapan air dan hara

Akar halus merupakan bagian paling aktif dari sistem perakaran kakao. Akar ini memiliki diameter kecil, umur relatif pendek, dan sangat responsif terhadap perubahan air, hara, bahan organik, dan struktur tanah. Karena sebagian besar akar halus kakao berada di lapisan tanah atas, maka keberadaan serasah, mulsa, bahan organik, dan kelembapan tanah permukaan sangat menentukan aktivitas akar.

Kummerow et al. (1982) melaporkan bahwa akar halus kakao berdiameter kurang dari 1 mm dapat ditemukan dengan kepadatan sekitar 40 g m⁻² selama periode pengamatan. Namun, yang lebih dinamis bukan hanya jumlah biomassa akar halus, melainkan jumlah ujung akar yang sedang tumbuh. Artinya, akar halus kakao memiliki dinamika fungsional yang tinggi meskipun perubahan biomassa totalnya tidak selalu besar.

Kajian Silva dan Kummerow (1998) tentang pertumbuhan dan umur akar halus kakao menunjukkan bahwa akar halus pada ekosistem tropika lembap banyak berkembang di antarmuka tanah dan serasah. Hal ini penting karena lapisan tersebut biasanya kaya bahan organik, mikroba, dan unsur

hara hasil dekomposisi. Dengan demikian, pengelolaan serasah dan bahan organik permukaan tanah sangat menentukan keberlanjutan aktivitas akar halus.

Pada tingkat sifat fungsional akar, Borden, Thomas, dan Isaac (2020) menunjukkan bahwa akar halus kakao mampu menyesuaikan sifat morfologi dan arsitekturnya terhadap variasi hara lokal. Konsentrasi NH_4^+ dan Ca^{2+} yang lebih tinggi berkaitan dengan peningkatan panjang dan biomassa akar, sedangkan NO_3^- menunjukkan pola respons yang berbeda. Temuan ini memperlihatkan bahwa akar halus kakao memiliki plastisitas dalam strategi perolehan hara.

4. Pengaruh ketersediaan air dan aerasi tanah

Air tanah merupakan faktor utama yang mengendalikan aktivitas akar kakao. Akar membutuhkan air untuk menjaga turgor sel, mendukung pemanjangan akar, membantu transportasi hara, dan mempertahankan aktivitas fisiologis tanaman. Kekurangan air dapat menekan pembentukan akar baru, mengurangi penyerapan hara, dan pada akhirnya menghambat pertumbuhan tajuk. Sebaliknya, kelebihan air atau genangan dapat menurunkan ketersediaan oksigen di zona perakaran sehingga mengganggu respirasi akar.

Carr dan Lockwood (2011) menjelaskan bahwa hubungan air tanaman merupakan faktor penting dalam pertumbuhan kakao. Kekeringan dapat menurunkan konduktansi stomata, pertukaran gas, dan pertumbuhan organ tanaman. Dalam konteks akar, kekeringan permukaan tanah sangat berpengaruh karena banyak akar halus kakao berkembang pada lapisan tanah atas. Oleh karena itu, konservasi kelembapan tanah menjadi kunci penting dalam mempertahankan aktivitas akar.

Pada kondisi sebaliknya, genangan atau drainase buruk juga berbahaya bagi akar kakao. Bertolde et al. (2012) menyatakan bahwa genangan menyebabkan defisiensi oksigen di zona akar dan memengaruhi berbagai proses biokimia serta morfofisiologi tanaman. Kondisi ini dapat menurunkan fungsi akar, menghambat serapan hara, dan memicu kerusakan jaringan akar, terutama pada genotipe yang peka terhadap kekurangan oksigen.

Dalam praktik kebun, pengelolaan air perlu diarahkan pada dua tujuan sekaligus, yaitu menjaga kelembapan tanah pada musim kering dan mencegah genangan pada musim hujan. Teknologi rorak, mulsa organik, penutupan tanah dengan serasah, serta drainase kebun merupakan beberapa pendekatan yang dapat mendukung stabilitas zona perakaran. Pusat Perpustakaan dan Literasi Pertanian (2023) menjelaskan bahwa rorak dapat membantu konservasi tanah dan air, menjadi tempat penampungan bahan organik, serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.

5. Peran hara, bahan organik, dan rizosfer

Pertumbuhan akar kakao sangat dipengaruhi oleh ketersediaan hara. Hara tidak hanya diperlukan untuk mendukung pembentukan jaringan tajuk, tetapi juga untuk membangun sistem akar yang aktif. Pada tanah dengan ketersediaan hara yang rendah, akar dapat memperluas eksplorasi tanah melalui peningkatan panjang akar atau pembentukan akar halus. Namun, respons ini membutuhkan energi, sehingga tanaman yang kekurangan asimilat atau mengalami cekaman air dapat mengalami keterbatasan dalam membentuk akar baru.

Bahan organik memiliki peran penting dalam menjaga zona perakaran kakao. Serasah, kompos, dan sisa pangkasan dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, menyediakan hara secara bertahap, serta mendukung aktivitas mikroorganisme tanah. Karena akar halus banyak berkembang pada lapisan tanah atas, keberadaan bahan organik di permukaan tanah sangat mendukung lingkungan mikro yang baik bagi akar.

Rizosfer kakao juga menjadi wilayah penting karena di sinilah akar berinteraksi dengan mikroba tanah, termasuk mikoriza, bakteri pelarut fosfat, serta mikroorganisme lain yang berperan dalam siklus hara. Interaksi ini dapat mendukung penyerapan hara dan kesehatan tanaman, tetapi juga dapat menjadi

jalur masuk patogen tular tanah apabila kondisi kebun terlalu lembap, drainase buruk, atau sanitasi tidak terjaga.

Tabel 3. Faktor pengendali pertumbuhan akar kakao dan implikasi pengelolaannya

Faktor pengendali	Pengaruh terhadap akar	Dampak terhadap tanaman	Implikasi pengelolaan
Kelembapan tanah	Menentukan turgor dan pemanjangan akar	Kekeringan menekan akar halus dan serapan hara	Mulsa, rorak, konservasi tanah-air, irigasi terbatas
Aerasi tanah	Menentukan respirasi akar	Genangan menghambat fungsi akar	Drainase, bedengan, rorak, perbaikan struktur tanah
Bahan organik	Menyediakan hara dan memperbaiki struktur tanah	Mendukung akar halus dan mikroba tanah	Pengembalian serasah, kompos, sisa pangkasan
Distribusi hara	Mempengaruhi arah eksplorasi akar	Hara tidak merata menyebabkan respons akar lokal	Pemupukan di zona akar aktif
Pemadatan tanah	Menghambat penetrasi akar	Akar menjadi terbatas dan kurang eksploratif	Hindari injakan/alat berat, gunakan penutup tanah
Tanaman penayang	Dapat memfasilitasi atau berkompetisi dengan akar kakao	Kompetisi air dan hara bila akar tumpang tindih	Pilih jenis penayang dan jarak tanam yang tepat
Kesehatan rizosfer	Memengaruhi interaksi akar-mikroba	Mendukung serapan hara atau memicu penyakit akar	Perbaiki bahan organik, drainase, dan sanitasi kebun

Tabel 3 menunjukkan bahwa pertumbuhan akar kakao sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Oleh karena itu, pengelolaan akar tidak dapat dipisahkan dari pengelolaan tanah secara keseluruhan. Pemupukan yang baik akan kurang efektif apabila tanah padat, kering, tergenang, atau miskin bahan organik.

6. Pengaruh agroforestri, naungan, dan kompetisi akar

Kakao secara ekologis sesuai dikembangkan dalam sistem agroforestri, tetapi keberhasilan sistem tersebut sangat bergantung pada keseimbangan antara manfaat dan kompetisi. Tanaman penayang dapat memperbaiki iklim mikro, menambah serasah, mengurangi suhu tanah, dan meningkatkan stabilitas kelembapan. Namun, tanaman penayang juga memiliki akar yang dapat berkompetisi dengan akar kakao dalam memperoleh air dan hara.

Nygren et al. (2013) menunjukkan bahwa akar halus kakao dan *Inga edulis* dalam sistem kakao bernaung dapat saling tumpang tindih secara kuat. Akar kedua spesies banyak berkembang pada lapisan tanah 0–50 cm, dengan proporsi tertentu bahkan terkonsentrasi pada lapisan 0–2 cm. Temuan ini menunjukkan bahwa lapisan permukaan tanah menjadi zona kompetisi sekaligus zona akuisisi hara yang sangat penting.

Abou Rajab et al. (2018) dalam penelitian di Sulawesi menunjukkan bahwa peningkatan tutupan tanaman penayang dapat menggandakan biomassa akar halus pada tingkat tegakan, tetapi biomassa akar halus kakao cenderung menurun. Pada sistem dengan *Gliricidia sepium*, akar kakao cenderung lebih dangkal, sedangkan pada sistem dengan penayang beragam, akar kakao mengalami pergeseran relatif ke lapisan yang lebih dalam. Temuan ini menunjukkan bahwa kakao mampu menyesuaikan distribusi akarnya sebagai respons terhadap kompetisi bawah tanah.

Dalam konteks agroforestri kakao di Indonesia, Saleh et al. (2022) menunjukkan bahwa kepadatan pohon dan keberadaan langsung sebagai penayang dapat memengaruhi kepadatan panjang akar kakao dan menimbulkan tumpang tindih eksplorasi akar. Hasil kakao dalam sistem agroforestri dapat menurun, tetapi produk tanaman penayang dapat memberi kontribusi pendapatan tambahan bagi petani.

Dengan demikian, sistem agroforestri perlu dinilai bukan hanya dari produksi biji kakao, tetapi juga dari produktivitas total sistem dan keberlanjutan lahan.

Model berbasis WaNuLCAS yang digunakan Saputra, Khasanah, Sari, dan van Noordwijk (2024) juga menunjukkan bahwa manfaat agroforestri kakao sangat bergantung pada kesesuaian antara jenis pohon, kondisi tapak, iklim, tekstur tanah, dan kerapatan akar kakao. Sistem dengan kerapatan akar kakao yang lebih tinggi mendukung nilai *Land Equivalent Ratio* yang lebih baik, terutama pada kondisi terbatas air.

7. Pemadatan tanah dan morfologi akar halus

Pemadatan tanah menjadi salah satu faktor yang dapat menghambat pertumbuhan akar kakao. Tanah yang padat membatasi penetrasi akar, mengurangi porositas, menurunkan infiltrasi air, dan dapat mengurangi aerasi. Pada kebun kakao, pemadatan dapat terjadi akibat injakan manusia, ternak, penggunaan alat berat, hilangnya bahan organik, atau rendahnya penutup tanah.

Saputra dan Sari (2025) menunjukkan bahwa morfologi akar halus pada sistem berbasis kakao di Sulawesi Tenggara lebih kuat berkaitan dengan resistensi penetrasi tanah dibandingkan makroporositas. Nilai resistensi penetrasi tanah tertinggi ditemukan pada sistem monokultur kakao, sedangkan sistem agroforestri memiliki nilai lebih rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem agroforestri dapat membantu mengurangi kendala pemadatan tanah, tetapi pengaruhnya tetap bergantung pada kondisi tapak dan pengelolaan kebun.

Temuan tersebut penting karena akar halus merupakan bagian yang paling peka terhadap hambatan fisik tanah. Jika akar tidak mampu menembus tanah secara optimal, maka volume tanah yang dapat dieksplorasi tanaman menjadi terbatas. Akibatnya, tanaman lebih rentan terhadap kekeringan, kekurangan hara, dan ketidakseimbangan pertumbuhan tajuk–akar.

8. Implikasi pengelolaan kebun berbasis ritme pertumbuhan akar

Pemahaman terhadap ritme pertumbuhan akar kakao memiliki implikasi langsung terhadap pengelolaan kebun. Pertama, pemupukan sebaiknya tidak hanya didasarkan pada umur tanaman atau kalender tetap, tetapi juga mempertimbangkan zona akar aktif, kondisi kelembapan tanah, dan fase pertumbuhan tanaman. Pemupukan pada kondisi tanah terlalu kering kurang efektif karena akar tidak aktif menyerap hara secara optimal. Sebaliknya, pemupukan pada tanah tergenang berisiko meningkatkan kehilangan hara dan merusak akar.

Kedua, pemangkasan tajuk perlu mempertimbangkan kondisi akar. Pemangkasan berat dapat memicu flush baru yang membutuhkan banyak asimilat. Jika akar sedang tertekan akibat kekeringan, genangan, atau kekurangan hara, maka flush baru dapat memperbesar kompetisi internal tanaman. Oleh karena itu, pemangkasan sebaiknya dilakukan saat kondisi tanah cukup lembap, tanaman sehat, dan tersedia dukungan hara yang memadai.

Ketiga, pengaturan naungan harus memperhatikan keseimbangan atas dan bawah tanah. Naungan sedang dapat memperbaiki iklim mikro dan menjaga kelembapan tanah, tetapi naungan terlalu rapat atau tanaman penaung dengan akar yang sangat kompetitif dapat menurunkan ketersediaan air dan hara bagi kakao. Jenis penaung, jarak tanam, serta pemangkasan tanaman penaung harus diatur agar tidak menimbulkan kompetisi berlebihan.

Keempat, konservasi bahan organik perlu menjadi dasar pengelolaan zona perakaran. Serasah, mulsa, kompos, dan sisa pangkasan dapat meningkatkan aktivitas akar halus, memperbaiki kelembapan tanah, dan mendukung kehidupan mikroba rizosfer. Praktik seperti rorak, penutup tanah, dan pengembalian sisa pangkasan sangat relevan untuk menjaga dinamika akar pada musim kering maupun musim hujan.

Tabel 4. Rekomendasi pengelolaan kebun berdasarkan dinamika pertumbuhan akar kakao

Kondisi di kebun	Indikasi masalah akar	Tindakan pengelolaan	Tujuan
Daun mudah layu saat kemarau	Akar halus kekurangan air	Mulsa, rorak, konservasi kelembapan, pengaturan penaung	Menjaga aktivitas akar dan serapan air
Tanah padat di sekitar tanaman	Penetrasi akar terbatas	Kurangi injakan, tambah bahan organik, gunakan penutup tanah	Memperbaiki porositas dan ruang tumbuh akar
Tanaman lambat pulih setelah pemangkasan	Akar tidak cukup aktif mendukung flush	Hindari pemangkasan berat saat tanah kering; lakukan pemupukan dan irigasi pendukung	Menyeimbangkan tajuk-akar
Pertumbuhan lemah meski dipupuk	Hara tidak terserap optimal	Evaluasi kelembapan, pH, bahan organik, dan zona pemupukan	Meningkatkan efisiensi pemupukan
Kebun terlalu lembap/tergenang	Akar kekurangan oksigen	Perbaiki drainase, buat rorak, hindari genangan lama	Mencegah kerusakan akar
Naungan terlalu rapat	Kompetisi akar dan cahaya meningkat	Pangkas penaung dan atur jarak tanam	Mengurangi kompetisi air, hara, dan cahaya
Banyak gejala penyakit akar	Rizosfer tidak sehat atau drainase buruk	Sanitasi, drainase, bahan organik matang, pengamatan patogen	Menjaga kesehatan zona akar

Tabel 4 memperlihatkan bahwa pengelolaan akar kakao bersifat terpadu. Akar tidak dapat dikelola hanya melalui pemupukan, tetapi juga melalui perbaikan air, aerasi, bahan organik, naungan, dan kesehatan tanah. Dengan demikian, keberhasilan budidaya kakao sangat bergantung pada kemampuan pekebun menjaga keseimbangan antara tajuk produktif dan akar aktif.

KESIMPULAN

Pertumbuhan akar kakao merupakan proses dinamis dan ritmis yang berkaitan erat dengan pertumbuhan tajuk. Pada saat flush daun berlangsung, akar dapat mengalami penurunan aktivitas karena asimilat lebih banyak dialokasikan ke daun muda yang sedang berkembang. Setelah daun matang dan berfungsi sebagai sumber fotosintat, alokasi asimilat ke akar dapat meningkat kembali sehingga akar berpeluang membentuk jaringan baru, terutama akar halus.

Akar halus merupakan komponen utama dalam penyerapan air dan hara, tetapi sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan tanah. Kelembapan tanah, aerasi, bahan organik, ketersediaan hara, pemadatan tanah, serta kompetisi dengan akar tanaman penaung sangat menentukan aktivitas akar halus. Sistem agroforestri dapat memberi manfaat melalui perbaikan mikroklimat dan bahan organik, tetapi juga dapat menimbulkan kompetisi bawah tanah apabila jenis, jarak, dan kepadatan tanaman penaung tidak dikelola dengan tepat.

Pengelolaan kebun kakao perlu memperhatikan zona akar aktif melalui konservasi kelembapan tanah, pemupukan yang tepat lokasi dan waktu, pemeliharaan bahan organik, pengaturan naungan, pencegahan pemadatan tanah, serta perbaikan drainase. Pemahaman terhadap ritme pertumbuhan akar akan membantu menyusun strategi budidaya yang lebih presisi, terutama dalam menentukan waktu pemangkasan, pemupukan, irigasi, dan pengelolaan tanaman penaung.

Kajian ini menegaskan bahwa peningkatan produktivitas kakao tidak hanya bergantung pada pengelolaan tajuk, tetapi juga pada kesehatan dan aktivitas akar. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengamati ritme akar kakao secara periodik di berbagai klon, sistem naungan, jenis tanah, dan kondisi iklim, sehingga pengelolaan kebun kakao dapat dikembangkan secara lebih adaptif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abou Rajab, Y., Hölscher, D., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2018). Effects of shade tree cover and diversity on root system structure and dynamics in cacao agroforests: The role of root competition and space partitioning. *Plant and Soil*, 422, 349–369. doi: 10.1007/s11104-017-3456-x
- Almeida, A.-A. F., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425–448. doi: 10.1590/S1677-04202007000400011
- Bertolde, F. Z., Almeida, A.-A. F., Pirovani, C. P., Gomes, F. P., Ahnert, D., Baligar, V. C., & Valle, R. R. (2012). Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Photosynthetica*, 50(3), 447–457. doi: 10.1007/s11099-012-0052-4
- Borden, K. A., Thomas, S. C., & Isaac, M. E. (2020). Variation in fine root traits reveals nutrient-specific acquisition strategies in agroforestry systems. *Plant and Soil*, 453, 139–151. doi: 10.1007/s11104-019-04003-2
- Carr, M. K. V., & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653–676. doi: 10.1017/S0014479711000421
- Ishida, A., Ogiwara, I., & Suzuki, S. (2023). Elevated CO₂ influences the growth, root morphology, and leaf photosynthesis of cacao (*Theobroma cacao* L.) seedlings. *Agronomy*, 13(9), 2264. doi: 10.3390/agronomy13092264
- Kummerow, J., Kummerow, A., & Alvim, P. de T. (1981). Root biomass in a mature cacao (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Revista Theobroma*, 11(1), 77–85.
- Kummerow, J., Kummerow, M., & Souza da Silva, W. (1982). Fine-root growth dynamics in cacao (*Theobroma cacao*). *Plant and Soil*, 65, 193–201. doi: 10.1007/BF02374650
- Lahive, F., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 5. doi: 10.1007/s13593-018-0552-0
- Nygren, P., Leblanc, H. A., Lu, M., & Gómez Luciano, C. A. (2013). Distribution of coarse and fine roots of *Theobroma cacao* and shade tree *Inga edulis* in a cocoa plantation. *Annals of Forest Science*, 70(3), 229–239. doi: 10.1007/s13595-012-0250-z
- Saleh, A. R., Gusli, S., Ala, A., Neswati, R., & Sudewi, S. (2022). Tree density impact on growth, roots length density, and yield in agroforestry based cocoa. *Biodiversitas*, 23(1), 496–506. doi: 10.13057/biodiv/d230153
- Saputra, D. D., Khasanah, N. M., Sari, R. R., & van Noordwijk, M. (2024). Avoidance of tree-site mismatching of modelled cacao production systems across climatic zones: Roots for multifunctionality. *Agricultural Systems*, 214, 103895. doi: 10.1016/j.agsy.2024.103895
- Saputra, D. D., & Sari, R. R. (2025). Fine-root morphology in cacao-based systems responds to soil penetration resistance rather than macroporosity. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 75(1), Article 2597109. doi: 10.1080/09064710.2025.2597109
- Silva, W. S. da, & Kummerow, J. (1998). Fine-root growth and longevity in a cacao (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agrotrópica*, 10(1), 31–34.
- Sleigh, P. A., Collin, H. A., & Hardwick, K. (1984). Distribution of assimilate during the flush cycle of growth in *Theobroma cacao* L. *Plant Growth Regulation*, 2, 381–391. doi: 10.1007/BF00027297
- van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: A review. *Advances in Agronomy*, 141, 185–270. doi: 10.1016/bs.agron.2016.10.017
- Zakariyya, F., & Santoso, T. I. (2021). Melihat lebih dekat karakter perakaran kakao. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 33(3), 14–20.