

Variasi Struktur Stomata Daun Kopi Arabika Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda

¹*Nabilah Rahmadhana, ¹Ahmad Bashri

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

*Corresponding Author e-mail: n.rahmadhana@gmail.com

Received: May 2026; Revised: July 2026; Published: August 2026

Abstrak

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas kopi adalah intensitas sinar matahari yang berhubungan dengan jenis naungan yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik struktur stomata daun kopi kultivar Komasti pada jenis penaung yang berbeda (pinus dan kaliandra) serta menentukan jenis penaung yang mendukung pertumbuhan stomata. Sampel daun diambil dari perkebunan rakyat di Desa Carangwulung, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Penelitian menggunakan rancangan deskriptif eksploratif dengan parameter yang diamati meliputi tipe, ukuran (panjang, lebar, luas), jumlah, dan kerapatan stomata. Hasil menunjukkan bahwa stomata hanya ditemukan pada sisi abaksial daun (hipostomatus) dengan tipe parasitik, yang merupakan ciri khas famili Rubiaceae. Perbedaan jenis penaung berpengaruh terhadap ukuran dan kerapatan stomata; penaung kaliandra menghasilkan stomata lebih besar (rata-rata luas 3.324,36 μm^2) dan kerapatan lebih tinggi (76,43 mm^{-2}) dibandingkan penaung pinus (2.570,19 μm^2 dan 61,14 mm^{-2}). Temuan ini memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan budidaya kopi arabika berkelanjutan, khususnya dalam pemilihan jenis penaung yang sesuai untuk optimalisasi karakter stomata sebagai indikator adaptasi tanaman terhadap kondisi mikroiklim.

Kata Kunci: Anatomi Daun, Karakteristik Epidermis, Kerapatan Stomata, Pertanian Berkelanjutan, Sistem Agroforestri.

How to Cite: Nabilah, S., & Dewi, K. S. (2026). Variasi Struktur Stomata Daun Kopi Arabika Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 5942–5950. <https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6245>



<https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6245>

Copyright© 2026, Nabilah et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Tanaman kopi arabika merupakan tanaman yang sudah lama dibudidayakan masyarakat Indonesia yang bermata pencaharian sebagai petani dan menjadi sumber penghasilan untuk memenuhi kebutuhan ekonomi mereka (Oktaviandi & Persaulian, 2025). Kopi adalah produk perkebunan dengan nilai ekonomi yang sangat tinggi dan telah lama dikenal masyarakat sebelum Belanda datang ke Indonesia; selain itu, kopi juga menjadi produk ekspor penting sebagai penghasil devisa negara (Mulyani, 2019). Berdasarkan data Organisasi Kopi Internasional, pada tahun 2016/2017 Indonesia termasuk dalam lima negara pengekspor kopi tertinggi. Selain pasar ekspor yang terbuka lebar, pasar kopi dalam negeri juga masih diminati. Namun hal tersebut tidak berbanding lurus dengan produksi kopi yang mengalami penurunan. Pada tahun 2017 produksi kopi nasional turun sebesar 4,95%, dan pada tahun berikutnya penurunan semakin tinggi mencapai 7,1% (Badan Pusat Statistik, 2018).

Keberadaan pohon penaung sebagai spesies tambahan mengakibatkan perubahan sistem fungsi yang melibatkan kemampuan adaptasi tanaman kopi itu sendiri, baik secara morfologi maupun fisiologi (Da Matta, 2004). Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil produksi antara lain kualitas bibit, kesuburan tanah, dan iklim. Kopi arabika tumbuh maksimal pada ketinggian 1000–2000 m dpl, curah hujan 1500–3800 mm per tahun, dan suhu rata-rata 17–21 °C (Syakir & Surmaini, 2017). Suhu udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gugurnya bunga (Syakir & Surmaini, 2017). Kopi arabika merupakan tanaman C₃ yang tidak memerlukan cahaya penuh, sehingga dalam budidayanya memerlukan penaung. Produksi kopi di bawah naungan telah menjadi strategi mitigasi untuk mengatasi efek berbahaya dari perubahan iklim (Jaramillo et al., 2013; Syakir & Surmaini, 2017; IPCC, 2019), karena naungan dapat mengubah iklim mikro dengan menurunkan suhu dan mengurangi kehilangan air melalui penguapan tanah dan transpirasi tanaman. Pohon penaung juga dapat meningkatkan ketersediaan hara tanah melalui partisi sumber daya yang saling melengkapi (Buchanan et al., 2019; Torrez et al., 2023). Besar kecilnya suplai cahaya yang diterima tanaman ditentukan oleh jenis pohon peneduh. Kondisi lingkungan yang berubah-ubah menyebabkan stomata menyesuaikan diri. Stomata berperan penting dalam adaptasi, fisiologi, dan produktivitas tanaman. Mekanisme buka-tutup stomata pada tanaman toleran kekeringan sangat efektif sehingga jaringan dapat menghindari kehilangan air berlebih (Hidayati et al., 2017). Stomata merupakan lubang kecil di antara sel epidermis pada permukaan batang atau daun yang berfungsi mengatur transpirasi dan penyerapan CO₂ selama fotosintesis (Sukmawati et al., 2015). Aktivitas fotosintesis sangat dipengaruhi oleh buka-tutup stomata, ketersediaan air, penyinaran, suhu, dan kelembaban (Izza et al., 2015). Transpirasi juga dapat melalui kutikula, namun melalui stomata lebih dominan (Izza et al., 2015).

Kultivar atau varietas lokal didefinisikan dalam Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2000 pasal 7 sebagai varietas yang telah ada dan dibudidayakan secara turun-temurun oleh petani serta menjadi milik masyarakat. Menurut Putri et al. (2025), kultivar merupakan hasil eksplorasi dari daerah tertentu, hasil seleksi alam maupun petani yang dapat menjadi sumber gen untuk adaptasi terhadap kondisi lingkungan dan sistem budidaya spesifik. Setiap varietas kopi memiliki karakter fisiologi dan agronomis berbeda yang mempengaruhi aktivitas fotosintesis dan produksi akhir (Campostrini & Maestri, 1998). Dwiyono (2011) menunjukkan bahwa hasil fotosintesis kopi robusta pada penaung berbeda dipengaruhi oleh intensitas cahaya, suhu, klorofil, konduktivitas stomata, dan kandungan daun; hasil fotosintesis di bawah naungan sengon lebih tinggi daripada di bawah lamtoro.

Berdasarkan latar belakang tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) mengenai bagaimana perbedaan jenis penaung (pinus dan kaliandra) mempengaruhi struktur stomata pada kultivar lokal Komasti yang belum banyak dikaji. Padahal, informasi ini penting untuk menentukan jenis penaung yang paling mendukung pertumbuhan dan produktivitas kopi arabika di perkebunan rakyat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang variasi struktur stomata daun kopi arabika kultivar Komasti pada jenis penaung yang berbeda di Desa Carangwulung, Wonosalam, Jombang, sebagai salah satu indikator adaptasi dan produksi tanaman. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengkajian spesifik kultivar lokal Komasti yang belum pernah dilaporkan sebelumnya, serta penggunaan

pendekatan anatomi kuantitatif untuk membandingkan dua jenis penaung yang umum digunakan petani.

METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian deskriptif eksploratif dengan mengidentifikasi karakteristik stomata daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda. Jenis pohon penaung yang ada pada kebun rakyat adalah pohon pinus dan pohon kaliandra. Sampel tanaman diperoleh dari di Desa Carangwulung, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Kemudian, diamati di Laboratorium Struktur dan Perkembangan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jawa Timur. Pengamatan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pada setiap sampel untuk diperoleh hasil yang terbaik.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, penggaris, cutter, plastik, mikroskop cahaya, kaca benda (object glass), kaca penutup (cover glass), pinset, pipet, jarum pentul, cawan petri, mikrotom putar, plat pemanas, kamera/ponsel, tisu dan kertas label. Bahan yang digunakan untuk pengamatan stomata daun adalah daun kopi arabika kultivar komasti dari nodus ke 3-4 yang diperoleh dari Desa Carangwulung, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Jawa Timur, HNO₃ 10%, FAA (Formalin Asam asetat-Alkohol), larutan ethyl alkohol 95% 50 ml, asam asetat glasial 5 ml, formaldehyde (37%) 10 ml, alkohol 50%, 70%, 95%, dan 100%, larutan alkohol: xylol (3:1), larutan alkohol: xylol (1:1), larutan alkohol: xylol (1:3), alkohol absolut I, alkohol absolut II, xylol I, xylol II, air suling, safranin 1%, fast green 0,5%, gliserin, kloroks (bayclin) dan aquades.

Teknik pengumpulan data: pengamatan stomata menggunakan preparat segar dan parafin, dengan sayatan transversal dan paradermal. Ukuran stomata (panjang dan lebar) diukur menggunakan aplikasi IMEJ (*ImageJ*) dengan kalibrasi terhadap skala mikrometer. Pengukuran dilakukan pada 10 stomata per bidang pandang dari setiap ulangan, kemudian dirata-rata. Parameter yang dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif meliputi tipe stomata, ukuran (panjang, lebar, luas), jumlah stomata per bidang pandang (luas 0,19625 mm² pada perbesaran 40×10), kerapatan stomata (mm⁻²) menggunakan rumus Lestari (2006), dan indeks stomata. Data dianalisis secara statistik menggunakan uji-t independen untuk membandingkan kedua perlakuan penaung, dengan taraf signifikansi 5%, setelah sebelumnya dilakukan uji normalitas dan homogenitas. Data disajikan dalam tabel dan gambar deskriptif.

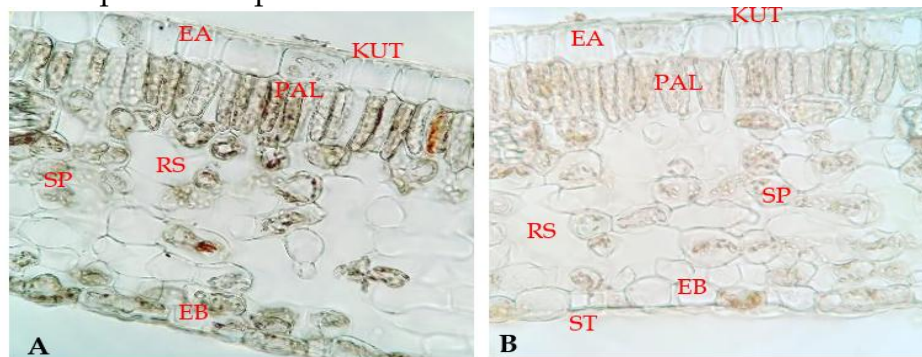
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian terkait struktur stomata daun kopi arabika kultivar komasti pada penaung yang berbeda dari Desa Carangwulung, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang terdapat macam variasi struktur yang dilakukan dengan pembuatan preparat sayatan transversal dan paradermal.

Karakteristik Stomata Daun Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda

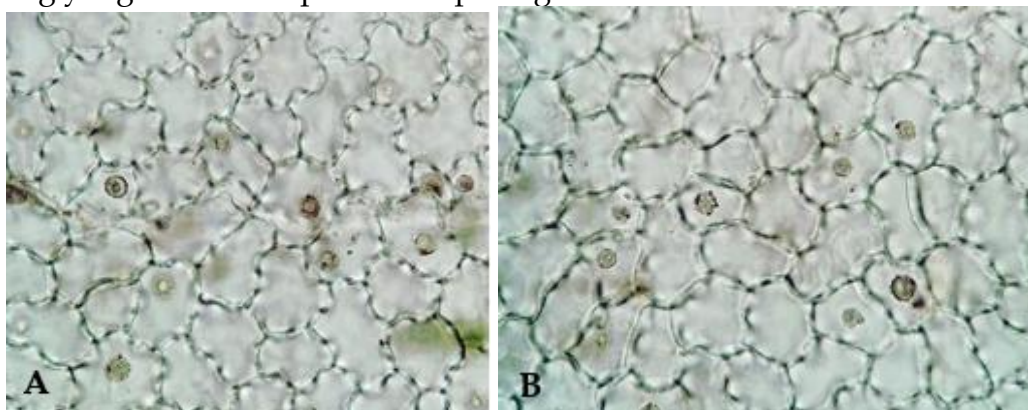
Berdasarkan hasil pengamatan anatomi transversal yang telah dilakukan pada daun kopi arabika kultivar komasti menunjukkan adanya jaringan-jaringan penyusun daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis naungan yang berbeda. Berdasarkan

(Gambar 4.1) dapat diketahui bahwa terdapat beberapa kesamaan maupun perbedaan karakteristik dari kultivar yang diteliti. Karakteristik anatomi daun yang dimiliki oleh daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda adalah adanya sel epidermis, kutikula, stomata, ruang antar sel, jaringan parenkim palisade dan jaringan parenkim spons. Setiap spesies memiliki satu lapis sel epidermis daun yang berada pada sisi adaksial maupun abaksial daun. Lapisan kutikula terdapat pada sisi adaksial daun dengan ketebalan yang tergolong tipis. Struktur anatomi transversal daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 1.

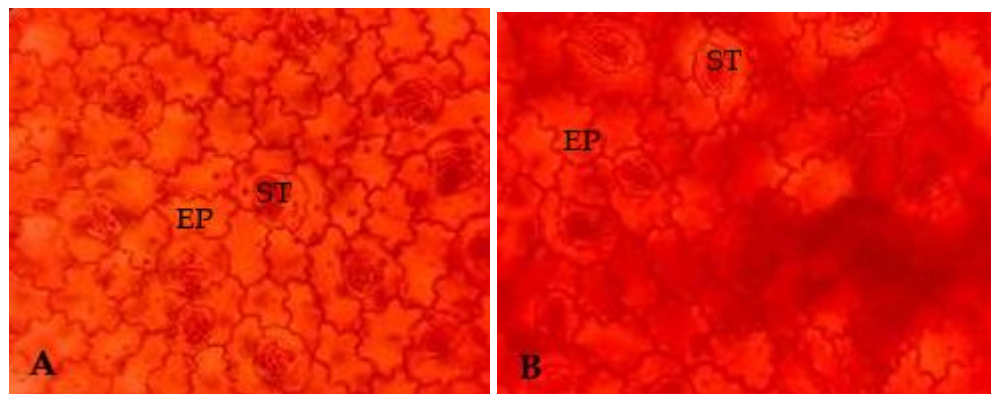


Gambar 1. Struktur Anatomi Transversal Daun Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda perbesaran 40x10; Penaung Pohon Pinus (A) dan Penaung Pohon Kaliandra (B); Epidermis atas/adaksial (EA), Epidermis bawah/abaksial (EB), Kutikula (KUT), Parenkim Palisade (PAL), Parenkim Spons (SP), Ruang antar Sel (RS), Stomata (ST) (Dokumentasi Pribadi, 2023).

Berdasarkan hasil pengamatan anatomi paradermal yang telah dilakukan pada daun kopi arabika kultivar komasti menunjukkan adanya stomata pada sisi abaksial daun dan tidak ditemukan pada sisi adaksial daun. Daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda yang diteliti memiliki tipe stomata yang sama yaitu parasitik. Arah membuka stomata pada genus *Coffea* tegak lurus dengan sel penjaga. Letak atau kedudukan stomata sejajar terhadap sel tetangga. Struktur anatomi paradermal daun pada bagian adaksial daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2 dan struktur anatomi paradermal daun pada bagian abaksial daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Struktur Anatomi Paradermal Adaksial Daun Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda; Penaung Pohon Pinus (A) dan Penaung Pohon Kaliandra (B)



Gambar 3. Struktur Anatomi Paradermal Abaksial Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda; Penaung Pohon Pinus (A) dan Penaung Pohon Kaliandra (B); Stomata (ST), Epidermis (EP)

Jenis Penaung yang Mendukung Pertumbuhan Stomata Daun Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda

Pada pengamatan stomata yang telah dilakukan, maka dihitung ukuran stomata daun kopi arabika kultivar komasti yang menunjukkan adanya variasi ukuran stomata pada dua penaung yaitu pada pohon pinus dan pohon kaliandra. Nilai ukuran panjang, lebar dan luas stomata pada daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda dapat dilihat pada (Tabel 4.1). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa rata-rata luas stomata dari terbesar dimiliki oleh jenis pohon penaung kaliandra dan rata-rata ukuran stomata terkecil dimiliki oleh jenis pohon penaung pinus. Daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis pohon penaung kaliandra memiliki stomata dengan rata-rata ukuran panjang sebesar 35.84 μm dan lebar sebesar 29.54 μm , sedangkan pada jenis pohon penaung pinus memiliki ukuran stomata dengan panjang sebesar 33.74 μm dan lebar stomata sebesar 24.26 μm .

Tabel 1. Hasil Pengamatan Ukuran Stomata Stomata Daun Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda.

Jenis Penaung	Ukuran rata-rata (μm)		Rata-rata luas stomata (μm^2)
	Panjang Stomata	Lebar Stomata	
Pohon Pinus	33.74	24.26	2,570.19
Pohon Kaliandra	35.84	29.54	3,324.36

Berdasarkan hasil tersebut daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda memiliki jumlah stomata yang berbeda-beda, rata-rata jumlah stomata tergolong rendah atau sedikit. Jenis pohon penaung kaliandra memiliki rata-rata jumlah stomata sebesar 15 dan jenis pohon penaung pinus memiliki rata-rata jumlah stomata sebesar 12. Nilai rata-rata jumlah stomata pada tiap spesies dapat dilihat pada Tabel 2. Selain itu, kerapatan stomata pada daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda juga memiliki hasil yang berbeda-beda. Kerapatan stomata dihitung menggunakan rumus berdasarkan penelitian Lestari (2006). Nilai rata-rata kerapatan stomata pada tiap jenis penaung dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan penghitungan nilai kerapatan stomata, jenis pohon penaung kaliandra memiliki nilai rata-rata kerapatan stomata yang lebih tinggi dibandingkan jenis pohon penaung pinus yang memiliki nilai kerapatan stomata rendah. Jenis

pohon penaung kaliandra memiliki kerapatan stomata sebesar 76.43 mm^{-2} , sedangkan jenis pohon penaung pinus memiliki kerapatan stomata sebesar 61.14 mm^{-2} .

Tabel 2. Jumlah, Kerapatan dan Indeks Stomata Daun Kopi Arabika Kultivar Komasti pada Jenis Penaung yang Berbeda

Jenis Penaung	Jumlah Stomata dalam 1 bidang pandang (perbesaran 40x10)	Rerata Kerapatan Stomata (mm^{-2})	Rerata Indeks Stomata
Pohon Pinus	12	61.14	0.125
Pohon Kaliandra	15	76.43	0.132

Indeks stomata pada daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung berbeda memiliki hasil yang bervariasi. Indeks stomata dihitung menggunakan rumus berdasarkan penelitian Lestari (2006). Hasil penghitungan menunjukkan bahwa indeks stomata terbesar dimiliki oleh jenis pohon penaung kaliandra, sedangkan indeks stomata terkecil dimiliki oleh jenis pohon penaung pinus. Nilai rata-rata indeks stomata daun kopi arabika kultivar komasti pada penaung yang berbeda dapat dilihat pada (Tabel 4.2). Jenis pohon penaung kaliandra memiliki indeks stomata sebesar 0.132 dan jenis pohon penaung pinus memiliki indeks stomata sebesar 0.125. Secara keseluruhan baik pada sayatan transversal maupun paradermal menunjukkan adanya variasi atau keragaman anatomi daun kopi arabika kultivar komasti pada jenis penaung yang berbeda yang diteliti. Nama ilmiah; nama ilmiah ditulis sesuai kaidah penulisan ilmiah menurut ICZN untuk tata nama hewan, ICBN untuk tata nama tumbuhan, demikian juga untuk virus dan bakteri harus sesuai dengan tata nama virus dan bakteri. Satuan, pengukuran secara kuantitatif menggunakan Satuan Internasional.

Kopi arabika di Desa Carangwulung ditanam pada ketinggian $>1000 \text{ m dpl}$ dengan dua jenis penaung: pinus dan kaliandra. Kedua pohon memiliki tinggi dan kerapatan tajuk berbeda, sehingga intensitas cahaya yang diterima tanaman kopi berbeda.

Hasil sayatan transversal menunjukkan bahwa pada daun di bawah naungan (kaliandra) ruang antar sel lebih banyak dibandingkan di bawah sinar lebih terbuka (pinus). Hal ini sesuai dengan Ikhsan & Prasetyo (2025) yang menyatakan bahwa ruang antar sel yang banyak memudahkan penyerapan cahaya dan meningkatkan jalannya cahaya ke kloroplas. Daun ternaungi umumnya lebih tipis karena komponen mesofil lebih tipis (Morais et al., 2004). Pada penelitian tersebut, daun kopi di bawah sinar penuh memiliki dinding sel dan kutikula lebih tebal sebagai isolasi dari panas berlebih. Esau (1974) juga menyatakan kutikula tebal sering dijumpai pada tumbuhan xerofit. Epidermis hanya satu lapis sel, dan naungan meningkatkan ketebalan sel epidermis.

Sayatan paradermal menunjukkan dinding epidermis berbentuk poligonal antiklinal berlekuk dan melengkung, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Febriyani et al., 2022). Stomata hanya ditemukan di abaksial, sesuai dengan Mishra et al. (2011) dan umum pada kopi. Tipe stomata parasitik dengan sel penjaga didampingi sel tetangga sejajar, sesuai dengan Morais et al. (2004) dan Haryanti (2010), yang merupakan ciri famili Rubiaceae.

Perbedaan ukuran stomata antara kedua penaung signifikan secara statistik. Stomata pada penaung kaliandra lebih besar (panjang $35,84 \mu\text{m}$, lebar $29,54 \mu\text{m}$) dibanding pinus ($33,74 \mu\text{m}$ dan $24,26 \mu\text{m}$). Hal ini menunjukkan bahwa naungan yang lebih rapat (kaliandra) menghasilkan stomata lebih besar, mungkin sebagai adaptasi

untuk meningkatkan kapasitas pertukaran gas dalam kondisi cahaya rendah. Sebaliknya, jumlah stomata lebih banyak pada kaliandra (15) daripada pinus (12), tetapi secara umum jumlah stomata kopi tergolong rendah. Kerapatan stomata pada kaliandra ($76,43 \text{ mm}^{-2}$) lebih tinggi daripada pinus ($61,14 \text{ mm}^{-2}$). Analisis statistik membuktikan perbedaan tersebut signifikan ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa jenis penaung berpengaruh nyata terhadap karakter stomata. Menurut Paembonan (2020), kerapatan stomata pada semua perlakuan tergolong rendah ($< 300/\text{mm}^2$). Kerapatan stomata berbanding terbalik dengan ukuran stomata (Danu et al., 2020), namun pada penelitian ini kaliandra memiliki ukuran dan kerapatan yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa faktor genetik dan lingkungan berinteraksi kompleks. Meriko & Abizar (2017) menyatakan jumlah dan ukuran stomata dipengaruhi genetik dan lingkungan. Faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, air, suhu, dan CO_2 mempengaruhi kerapatan (Hariyanto et al., 2025). Da Matta (2004) menambahkan bahwa kopi tanpa naungan memberi produksi tinggi jika nutrisi dan air optimal, tetapi pada kondisi kurang baik, naungan memberikan hasil terbaik. Keberadaan pohon penaung mengubah sistem fungsi dan adaptasi kopi secara morfofisiologi.

Dengan demikian, penaung kaliandra cenderung lebih mendukung pengembangan stomata (ukuran dan kerapatan lebih besar) dibanding pinus, yang dapat berkontribusi pada peningkatan potensi fotosintesis dan transpirasi terkendali. Namun, perlu dipertimbangkan aspek agronomis lain seperti kompetisi hara dan cahaya. Hasil ini memberikan informasi penting bagi petani dalam memilih jenis penaung untuk budidaya kopi arabika berkelanjutan.

KESIMPULAN

Terdapat variasi karakteristik stomata daun kopi arabika kultivar Komasti pada jenis penaung yang berbeda. Stomata tidak ditemukan pada epidermis adaksial (hipostomatus) dan bertipe parasitik, sesuai dengan famili Rubiaceae. Ukuran stomata (panjang, lebar, luas), jumlah, kerapatan, dan indeks stomata lebih tinggi pada tanaman yang dinaungi kaliandra dibandingkan pinus, dan perbedaan tersebut signifikan secara statistik ($p < 0,05$). Dengan demikian, jenis pohon penaung kaliandra lebih mendukung pertumbuhan stomata daun kopi arabika kultivar Komasti dibandingkan pohon pinus. Temuan ini berimplikasi pada pengelolaan perkebunan kopi, yaitu pemilihan penaung kaliandra dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan adaptasi stomata dan potensi produktivitas, terutama pada lahan dengan kondisi mikroiklim yang memerlukan naungan lebih rapat. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaitkan karakter stomata dengan produksi buah dan kualitas biji kopi.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan kepada petani kopi di Desa Carangwulung dan wilayah sekitarnya untuk mempertimbangkan penggunaan pohon kaliandra (*Calliandra* sp.) sebagai penaung utama tanaman kopi arabika kultivar Komasti, karena jenis penaung ini terbukti secara signifikan meningkatkan ukuran dan kerapatan stomata yang berpotensi mendukung efisiensi fotosintesis dan adaptasi fisiologis tanaman. Namun, pemilihan penaung juga harus mempertimbangkan aspek agronomis lain seperti kesuburan tanah, ketersediaan air,

serta manajemen pemangkasan untuk menghindari kompetisi hara dan cahaya yang berlebihan. Untuk penelitian lanjutan, sangat direkomendasikan untuk mengkaji korelasi antara karakteristik stomata (ukuran dan kerapatan) dengan produktivitas buah (bobot biji dan hasil panen) serta kualitas cita rasa kopi, sehingga manfaat ekofisiologis yang ditemukan dapat dihubungkan secara langsung dengan nilai ekonomi bagi petani. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai respons stomata pada berbagai tingkat intensitas naungan yang berbeda serta analisis kandungan klorofil dan laju fotosintesis untuk mendapatkan rekomendasi teknis yang lebih komprehensif dalam sistem agroforestri kopi berkelanjutan.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2018). *Statistik Kopi Indonesia 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Buchanan, S., Isaac, M. E., van den Meersche, K., & Martin, A. R. (2019). Ciri-ciri fungsional kopi di sepanjang naungan dan gradien kesuburan di sistem agroforestri kopi. *Agroforestry Systems*, 93, 1261–1273. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0239-1>
- Campostrini, E., & Maestri, M. (1998). Fisiologia e agronomia do cafeeiro. In *Cafeicultura e Agronegócio*. Viçosa: Editora UFV.
- Da Matta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. *Field Crops Research*, 86, 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>
- Danu, D., Aminah, A., Yuniarti, N., Syamsuwida, D., Cahyono, D. D. N., Siregar, N., ... & Hendarto, K. A. (2020). Genetic diversity of calliandra (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) seedling from West Java. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 8(2), 121–132. <https://doi.org/10.20886/bptpth.2020.8.2.121-132>
- Dewi, N., & Chairani, K. I. (2024). Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Karakteristik Agronomi Kopi Robusta pada Dua Tipe Penaung dalam Sistem Agroforestri. *Agrotechnology Research Journal*, 8(2), 101–110. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v8i2.91189>
- Esau, K. (1974). *Plant Anatomy* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Febriyani, H., Puspitawati, R. P., & Bashri, A. (2022). Variasi Struktur Anatomi dan Sekretori Pada Spesies *Annona* Yang Berpotensi Sebagai Tanaman Obat. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(3), 575–585. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n3.p575-585>
- Hariyanto, B., Suliansyah, I., Yusniwati, Y., & Sutanto, A. (2025). Studi Karakter Morfologi dan Fisiologi Bibit Pisang Kepok Tanjung Daun Sempit dan Daun Normal dari Kultur Jaringan. *Jurnal Triton*, 16(1), 82–94. <https://doi.org/10.47687/jt.v16i1.1252>
- Haryanti, S. (2010). Jumlah dan distribusi stomata pada daun beberapa spesies tanaman dikotil dan monokotil. *Anatomi fisiologi*, 18(2), 21–28.
- Hidayati, D., et al. (2017). Stomata adaptation in drought-tolerant plants. *Jurnal Agronomi*, 45(3), 112–119.
- Hutami, C. A., & Kurniawati, W. (2025). Identifikasi miskonsepsi siswa pada materi tumbuhan dengan two tier diagnostic test. *Edukasi: Jurnal Penelitian dan Artikel Pendidikan*, 17(1), 477–490. <https://doi.org/10.31603/edukasi.v17i1.13315>

- Ikhsan, M. H., & Prasetyo, S. (2025). Sinergi cabang-cabang ilmu pengetahuan alam dalam kompleksitas fenomena fotosintesis pada tumbuhan. *Tarbiyatuna Kajian Pendidikan Islam*, 9(1), 001-026. <https://doi.org/10.69552/tarbiyatuna.v9i1.2548>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2019). *Climate Change and Land*. Geneva: IPCC.
- Izza, F., et al. (2015). Transpirasi melalui stomata dan kutikula. *Jurnal Biologi*, 12(2), 45-52.
- Jaramillo, J., et al. (2013). Climate change and coffee production. *PLoS ONE*, 8(7), e69415.
- Lestari, E. G. (2006). Hubungan antara Kerapatan Stomata dengan Ketahanan Kekeringan pada Somavarietas Padi Gajahmungkur, Towuti dan IR 64. *Biodiversitas*, 7(1), 44-48.
- Meriko, J., & Abizar, M. (2017). Pengaruh intensitas cahaya terhadap kerapatan stomata. *Jurnal Biologi Tropis*, 17(2), 78-84.
- Mishra, M. K., Dandamudi, P., Nayani, S. P., Munikoti, S. S., & Chelukunda, S. S. (2011). Variability in stomatal features and leaf venation pattern in Indian coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars and their functional significance. *Botanica Serbica*, 35(2), 111.
- Morais, H., Medri, M. E., Marur, C. J., Caramori, P. H., Ribeiro, A. M. D. A., & Gomes, J. C. (2004). Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Brazilian archives of biology and technology*, 47, 863-871.
- Oktaviandi, R., & Persaulian, B. (2025). Analisis dampak penggunaan teknologi dan peningkatan pengetahuan pada pendapatan petani kopi di kecamatan sangir kabupaten solok selatan. *Transformasi: Journal of Economics and Business Management*, 4(1), 14-30.
- Paembonan, S. A. (2020). *Silvika Ekofisiologi dan Pertumbuhan Pohon*. Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
- Putri, E. E., Pamungkas, D. H., & Arnanto, D. (2025). THE EFFECT OF VARIETIES AND SOIL TYPES ON CHILI YIELD (*Capsicum* sp.). *Jurnal Ilmiah Agroust*, 9(2), 103-112.
- Syakir, M., & Surmaini, E. (2017). Perubahan iklim dalam konteks sistem produksi dan pengembangan kopi di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 77-90. <https://doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p77-90>
- Syakir, M., & Surmaini, E. (2017). Perubahan iklim dalam konteks sistem produksi dan pengembangan kopi di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 77-90. <https://doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p77-90>
- Torrez, V., Benavides-Frias, C., Jacobi, J., & Speranza, C. I. (2023). Ecological quality as a coffee quality enhancer. A review: Ecological quality as a coffee quality enhancer. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00874-z>