

Anatomy of *Sarcotheca celebica*'s Vegetative Organs Growing in Morowali on Ultramafic and Limestone Soils

Faza Rahma¹, Wahyu Harso^{1*}, Mustafid Rasyiid¹, Ramadanil¹, Umrah¹, Moh. Iqbal¹

¹Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia;

Article History

Received : February 06th, 2025

Revised : March 20th, 2025

Accepted : April 13th, 2025

*Corresponding Author:

Wahyu Harso, Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia;

Email:

wahyu.harso@gmail.com

Abstract: *Sarcotheca celebica* is an endemic Sulawesi plant capable of growing in ultramafic and calcareous soils. The anatomical structure of its vegetative organs plays a role in adaptation to extreme environments. This study aimed to compare the anatomy of leaves, stems and roots of *S. celebica* in both soil types. Microscopic preparations of leaves, stems and roots were made with the Free Hand Section method, documented using Optilab Viewer 2.2, and measured with Image Raster 3. Statistical analysis was conducted with the T-test. The results showed anatomical variations in response to soil conditions. *S. celebica* plants in calcareous soil had longer and wider stomata, but with lower density than those in ultramafic soils. In addition, leaf and cuticle thickness were higher in *S. celebica* plants on calcareous soils. However, the peridemis/floem ratio in stems and peridermis/endodermis in roots did not show significant differences. Overall, *S. celebica* leaves were more responsive to soil differences than stems and roots. This study is important for understanding the mechanisms of plant adaptation to extreme soil conditions and the implications for the sustainability of the species in its natural habitat.

Keywords: Anatomy, calcareous, *Sarcotheca celebica*, ultramafic.

Pendahuluan

Struktur anatomi organ vegetatif tumbuhan merupakan aspek fundamental dalam ilmu botani yang memberikan wawasan mendalam mengenai adaptasi tanaman terhadap lingkungannya (Dumitrascu *et al.*, 2023). Anatomi tumbuhan tidak hanya mencerminkan karakteristik morfologi, tetapi juga menunjukkan mekanisme fisiologis yang memungkinkan tanaman bertahan dalam kondisi lingkungan yang berbeda (Jan *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2024). Pemahaman terhadap struktur anatomi ini menjadi penting dalam berbagai bidang ilmu, seperti ekologi, agronomi, dan konservasi tumbuhan (Ullrich, 2024). Salah satu kelompok tumbuhan yang menarik untuk dikaji adalah *Sarcotheca celebica*, spesies endemik Sulawesi yang memiliki potensi adaptasi unik terhadap kondisi tanah tertentu. Studi mengenai struktur anatomi tanaman ini dapat memberikan informasi ilmiah yang berharga dalam memahami keterkaitan antara faktor lingkungan dan karakteristik fisiologis tumbuhan.

Sarcotheca celebica dapat ditemukan di

Morowali (Brearley, 2024) yang tumbuh di berbagai jenis tanah, termasuk tanah ultramafik dan tanah berkapur yang memiliki karakteristik ekstrem. Tanah ultramafik mengandung kadar logam berat seperti nikel (Ni), kromium (Cr) dan kobalt (Co) yang tinggi yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Jaffre, 2022), sedangkan tanah berkapur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) serta magnesium karbonat (MgCO₃) yang dominan (Bontpart *et al.*, 2024). Kedua jenis tanah tersebut miskin unsur hara sehingga kurang subur untuk pertanian (Borkar *et al.*, 2023; Nascimento *et al.*, 2022). Tanah berkapur memiliki drainase lebih baik dibandingkan tanah ultramafik (Mozaffari *et al.*, 2024, Gou *et al.*, 2023), sehingga memiliki laju evaporasi yang lebih tinggi dan dapat mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman (Aldress & Hafsi, 2020). Perbedaan kondisi tanah ini kemungkinan besar berpengaruh terhadap struktur anatomi organ vegetatif *Sarcotheca celebica*, seperti akar, batang, dan daun, yang berperan penting dalam penyerapan air dan nutrisi. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya untuk mengkaji bagaimana variasi

lingkungan tanah mempengaruhi struktur anatomi organ vegetatif tanaman ini. Dengan memahami adaptasi anatomi tumbuhan ini, dapat diperoleh wawasan mengenai mekanisme pertahanan dan toleransi terhadap kondisi tanah yang berbeda.

Meskipun *Sarcotheca celebica* memiliki potensi adaptasi yang tinggi, hingga saat ini penelitian mengenai struktur anatomi organ vegetatifnya dalam kaitannya dengan jenis tanah masih terbatas. Kebanyakan kajian tentang adaptasi tumbuhan lebih banyak difokuskan pada aspek fisiologi atau ekologi tanpa menelaah secara mendalam struktur internal tanaman. Kurangnya informasi ini menjadi kendala dalam memahami sejauh mana tumbuhan ini dapat bertahan dan berkembang di lingkungan yang berbeda. Selain itu, belum banyak penelitian yang membandingkan secara spesifik pengaruh tanah ultramafik dan tanah berkapur terhadap anatomi tumbuhan endemik. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang komprehensif untuk mengisi kesenjangan pengetahuan ini, terutama dalam mendukung upaya konservasi spesies endemik di habitat alaminya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan struktur anatomi organ vegetatif *Sarcotheca celebica* yang tumbuh di tanah ultramafik dan tanah berkapur. Dengan memahami adaptasi anatomi tanaman ini terhadap lingkungan ekstrem, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam bidang botani, ekologi, serta konservasi tumbuhan. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan ekosistem terutama dalam pelestarian spesies endemik di habitat aslinya. Selain itu, informasi yang diperoleh dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan mengenai strategi adaptasi tumbuhan dalam menghadapi kondisi lingkungan yang kurang mendukung. Dengan demikian, penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi dalam upaya memahami mekanisme adaptasi tumbuhan terhadap kondisi tanah yang berbeda serta implikasinya terhadap keberlanjutan spesies di alam.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat penelitian

Pengambilan sampel hingga pengamatan dilakukan dari bulan Desember 2023 hingga Februari 2024. Sampel organ tumbuhan *Sarcotheca celebica* diperoleh pada dua lokasi yang berbeda di Kabupaten Morowali yaitu di kawasan tambang Nikel PT. Ang dan Fang Desa

Lampung sebagai tempat pengambilan sampel dari tanah ultramafik serta perbukitan Desa Larobenu sebagai tempat pengambilan sampel dari lokasi tanah berkapur. Pembuatan dan pengamatan preparat mikroskopis dilakukan di Program Studi Biologi FMIPA Universitas Tadulako.

Jenis penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam bentuk deskriptif komparatif dengan membandingkan struktur anatomi vegetatif *S. celebica* pada dua jenis tanah yang berbeda (tanah ultramafik dan tanah berkapur) untuk melihat bagaimana pengaruh lingkungan terhadap struktur anatomi organ vegetatif tumbuhan.

Populasi dan sampel penelitian

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode jelajah (*tracking*) pada daerah yang ditumbuhi oleh *S. celebica* pada dua lokasi yang ditentukan yaitu tanah ultramafik dan tanah berkapur. Pada satu tumbuhan *S. celebica* dilakukan pengoleksian 3 atau lebih sampel daun dari daun urutan ke-4 dengan warna hijau agak tua. Demikian pula pada batang, pada batang dipilih adalah potongan batang muda yang warnanya mulai kecoklatan. Sedangkan pada akar dipilih potongan akar muda yang masih lunak. Masing masing sampel organ vegetatif dikoleksi dengan 3 kali pengulangan dari tumbuhan yang berbeda di area yang sama dari masing masing tipe tanah. Sampel kemudian disimpan dalam botol sampel yang berisi alkohol 70%.

Prosedur penelitian

Analisis tipe tanah

Analisis tipe tanah digunakan untuk menentukan jenis batuan ultramafik dan batuan kapur. Analisis mencakup pengukuran pH dan penentuan mineral karbonat pada batuan kapur. Pengukuran pH dilakukan dengan menggali tanah pada kedalaman 50 cm atau hingga lapisan tanah ketiga terlihat. Seberat 20 gr tanah kemudian dihomogenkan dengan akuades. Setelah homogen dan filtrat terpisah, pH diukur dengan pH meter. Untuk menentukan jenis batuan kapur digunakan larutan HCl (Kartawisatra dkk., 2017).

Pembuatan preparat anatomi

Pembuatan preparat mikroskopis untuk anatomi daun, batang dan akar dilakukan dengan menggunakan metode pengirisan dengan tangan

(*free hand section*) menurut Yeung (1998) yang telah dimodifikasi. Pembuatan sayatan melintang untuk daun, batang dan akar serta sayatan membujur untuk epidermis bawah daun menggunakan silet tajam dan dibuat sebanyak banyaknya. Hasil sayatan yang terbaik diseleksi menggunakan mikroskop kemudian direndam dengan menggunakan larutan byclin selama 15 menit dan dibilas menggunakan aquades hingga bersih. Selanjutnya sayatan tersebut direndam dalam safranin 2% selama kurang lebih 5 menit lalu dibilas dengan menggunakan aquades. Sayatan yang telah diwarnai diletakkan pada gelas benda lalu ditetesi dengan gliserin, kemudian ditutup dengan gelas penutup. Seluruh bagian tepi dari gelas penutup kemudian direkatkan dengan gelas benda dengan menggunakan cat kuku berwarna transparan. Masing masing preparat memiliki 3 kali pengulangan. Preparat kemudian diamati dibawah mikroskop cahaya binokuler dengan perbesaran pada lensa okuler 10x dan lensa objektif 4x atau 10x dan didokumentasikan menggunakan kamera yang terkoneksi dengan sofware *optilab viewer 2.2* dan diukur satuan panjang pengamatannya dengan menggunakan program *image raster 3*.

Pengamatan pada organ vegetatif daun berupa tipe stomata, panjang stomata, lebar stomata, kerapatan stomata, tebal daun, tebal kutikula, tebal epidermis atas, tebal mesofil, tebal epidermis bawah. Kerapatan stomata dihitung berdasarkan jumlah stomata/luas bidang pandang (mm^2) (Dama dkk., 2020). Pengamatan pada organ vegetative batang berupa rasio peridermis/floem sedangkan parameter pengamatan pada organ vegetatif akar berupa rasio peridermis/endodermis. Pengukuran rasio dapat digunakan untuk menghilangkan bias akibat perbedaan ukuran atau umur tanaman.

Analisis data

Data yang diperoleh selain tipe stomata kemudian dianalisis dengan menggunakan uji T (T-test) dengan tingkat kepercayaan 95% menggunakan Ms. Excel dari Microsoft Office.

Hasil dan Pembahasan

Habitus *Sarcotheca celebica*

Sarcotheca celebica merupakan tumbuhan yang termasuk dalam suku Oxidaceae dengan ciri morfologi pohon kecil, batang berwarna coklat, tinggi sekitar 4-5 meter, keliling batang 25-40 cm. Daun tunggal dengan bentuk elips-

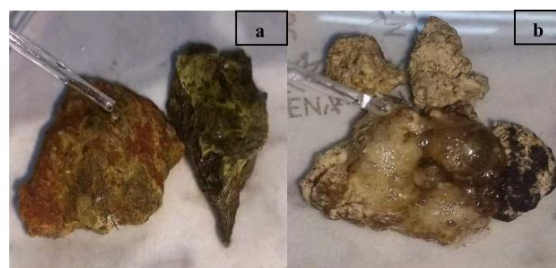
melonjong, tepi daun rata, ujung daun runcing, permukaan daun bagian bawah berwarna hijau kekuningan dan permukaan bagian atas daun berwarna hijau mengkilap tertutup lapisan lilin. Bunga kecil berwarna merah serta buah berbentuk lonjong dengan permukaan yang teratur (Astuti dkk., 2018). Gambaran kondisi tumbuhan *S. celebica* di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk buah dan pohon *Sarcotheca celebica* (Sumber gambar: Faza Rahma)

Pengujian pH dan tipe batuan

Pengukuran pH pada kedua lokasi penelitian menunjukkan bahwa kedua jenis tanah tersebut bersifat alkali. Pada tanah ultramafik memiliki pH 7,50 sedangkan pada tanah berkapur memiliki pH 7,69. Hasil uji karbonat dengan meneteskan HCl pada batuan ultramafik tidak menghasilkan buih, sementara pada batuan kapur setelah ditetesi dengan HCl menghasilkan buih (Gambar 2) yang menunjukkan bahwa batuan tersebut positif batuan kapur karena buih yang terbentuk terjadi akibat pelepasan gas CO_2 dari mineral karbonat yang larut (Goodman *et al.*, 2000).



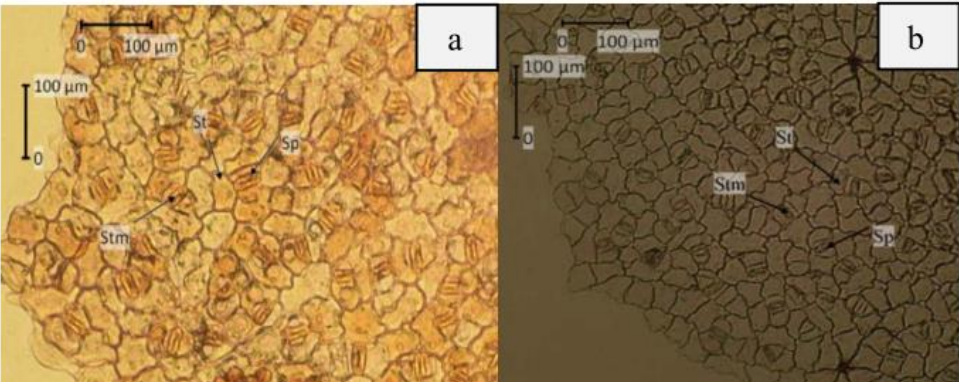
Gambar 2. Batu ultramafik (a) dan batu kapur (b) setelah ditetesi dengan HCl. Pada batu kapur terbentuk buih setelah ditetesi dengan HCl.

Pengamatan anatomi daun

Tipe stomata dari daun *Sarcotheca celebica* baik pada tanah ultramafik maupun pada tanah berkapur memiliki tipe stomata yang sama

yaitu tipe anomositik (Gambar 3). Tipe anomositik adalah sel stomata dikelilingi oleh 3-4 sel tetangga yang bentuk dan ukurannya hampir sama dengan sel epidermis. Tipe stomata ini

digunakan untuk menegaskan bahwa tumbuhan yang diambil sebagai sampel adalah tumbuhan dari jenis yang sama.



Gambar 3. Sayatan epidermis daun *Sarcotheca celebica* yang tumbuh pada tanah ultramafik (a) dan tanah berkapur (b). Stm: stomata, Sp: Sel penjaga, St: Sel tetangga. (Perbesaran 10x)

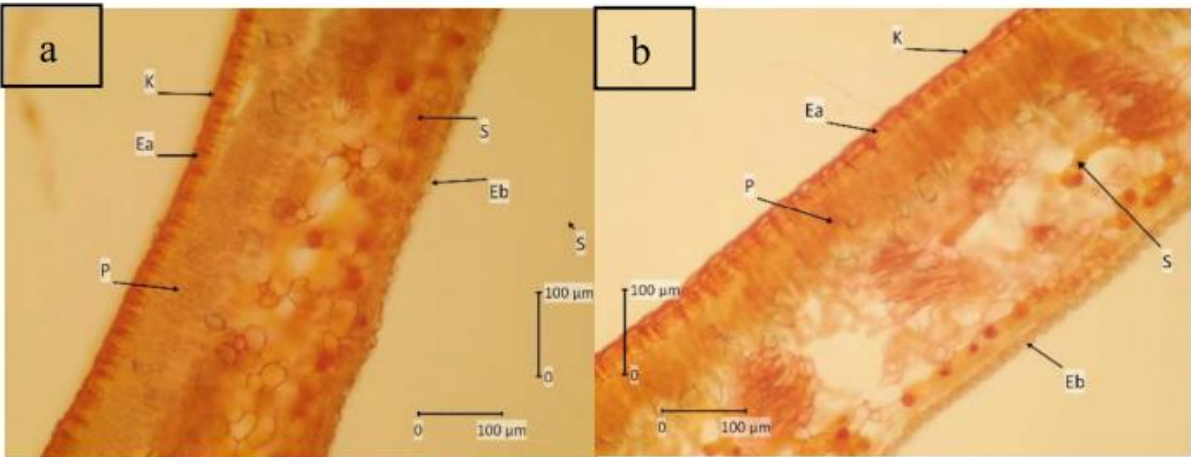
Kerapatan stomata *S. celebica* yang tumbuh di tanah berkapur cenderung lebih rendah dibandingkan dengan yang tumbuh pada tanah ultramafik. Namun demikian, panjang stomata, lebar stomata, tebal daun, tebal kutikula, tebal epidermis atas, tebal mesofil dan tebal epidermis

bawah pada *S. celebica* yang tumbuh pada tanah berkapur memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan *S. celebica* yang tumbuh di tanah ultramafik meskipun secara statistik tidak berbeda nyata (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil pengamatan anatomi daun *Sarcotheca celebica* pada tanah ultramafik dan tanah berkapur

Parameter	Tanah		T-test
	Ultramafik	Berkapur	
Panjang stomata (μm)	20,36 ± 0,22	22,67 ± 1,28	*
Lebar stomata (μm)	5,86 ± 0,40	6,60 ± 0,26	ns
Kerapatan stomata	426,18 ± 30,76	371,57 ± 28,47	ns
Tebal daun (μm)	298,48 ± 13,86	340,58 ± 47,39	ns
Tebal kutikula (μm)	8,57 ± 1,49	12,52 ± 1,33	ns
Tebal epidermis atas (μm)	22,56 ± 1,23	25,14 ± 2,76	ns
Tebal mesofil (μm)	264,59 ± 12,52	266,23 ± 36,37	ns
Tebal epidermis bawah (μm)	14,91 ± 1,36	16,42 ± 2,34	ns

* Significant, ns: non significant

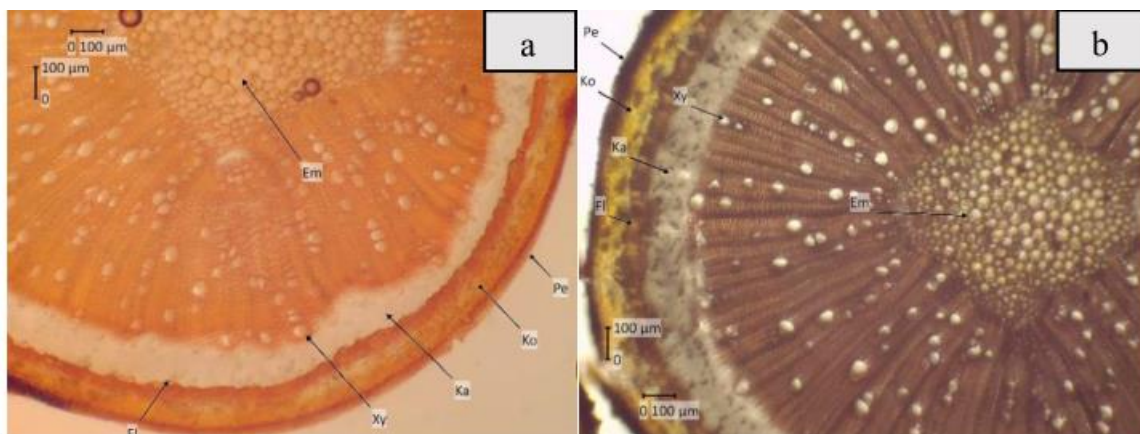


Gambar 4. Penampang melintang daun *Sarcotheca celebica* yang tumbuh di tanah ultramafic (a) dan tanah berkapur (b). K: kutikula, Ea: epidermis atas, P: palisade, S: spons, Eb: epidermis bawah. (Perbesaran 10x)

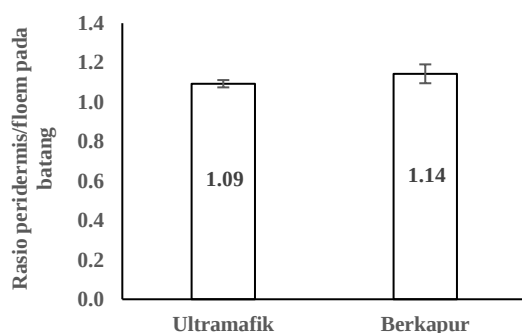
Rasio peridermis/floem batang

Hasil irisan menunjukkan dengan jelas bagian dari jaringan peridermis, korteks, kambium, sistem jaringan pengangkut serta

empulur pada batang (Gambar 5). Perbedaan waktu pewarnaan dan pengaturan cahaya mikroskop menyebabkan warna kedua sampel berbeda.



Gambar 5. Penampang melintang batang *Sarchotecha celebica* yang tumbuh di tanah ultramafik (a) dan tanah berkapur (b). Pe: peridermis, Ko: korteks, Ka: Kambium, Fl: Floem, Xy: xylem, Em: empulur. (Perbesaran 4x)

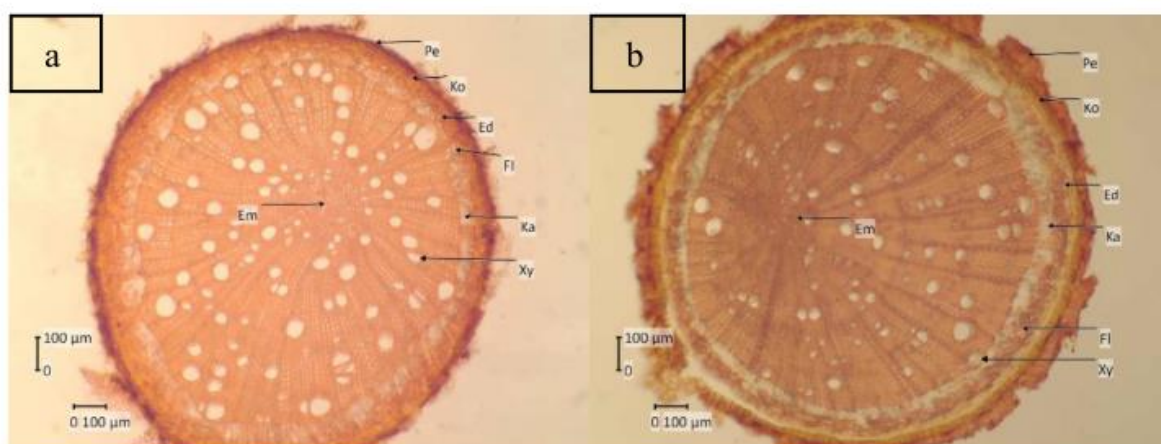


Gambar 6. Rasio peridermis/floem pada batang *S. celebica*. Nilai yang ditunjukkan adalah nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi. Batang grafik tanpa notasi berbeda menunjukkan tidak berbeda nyata.

Rasio peridermis/floem pada batang *S. celebica* di kedua jenis tanah ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Tumbuhan yang tumbuh di tanah ultramafik memiliki rasio peridermis/floem yang hampir sama dengan yang tumbuh dengan yang ada di tanah berkapur. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 6.

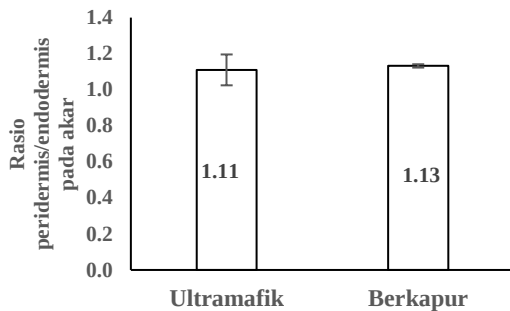
Rasio peridermis/endodermis akar

Hasil sayatan akar *S. celebica* baik yang tumbuh pada tanah ultramafik dan tanah berkapur terlihat dengan jelas jaringan peridermis, korteks, endodermis, sistem jaringan pengangkut, dan kambium (Gambar 7).



Gambar 7. Penampang melintang akar *Sarchotecha celebica* yang tumbuh di tanah ultramafik (a) dan tanah berkapur (b). Pe: peridermis, Ko: Korteks, Ed: Endodermis, Ka: Kambium, Fl: floem, Xy: xylem, Em; empulur. (Perbesaran 4x)

Rasio peridermis/endodermis akar *S. celebica* di kedua jenis tanah ini tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Tumbuhan yang tumbuh di tanah ultramafik memiliki rasio peridermis/endodermis yang hampir sama dengan yang tumbuh dengan yang ada di tanah berkapur. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rasio peridermis/endodermis pada akar *S. celebica*. Nilai yang ditunjukkan adalah nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi. Batang grafik tanpa notasi berbeda menunjukkan tidak berbeda nyata.

Pembahasan

Anatomi daun

Variasi struktur anatomi organ vegetatif *Sarcotheca celebica* yang tumbuh pada tanah ultramafik dan tanah kapur menunjukkan adanya respon adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berbeda. Perbedaan dalam panjang stomata, lebar stomata, kerapatan stomata, ketebalan daun, dan ketebalan kutikula mengindikasikan mekanisme fisiologis tumbuhan dalam menghadapi tantangan lingkungan (Soheili *et al.*, 2023). Tanah ultramafik dan tanah kapur memiliki kandungan unsur logam yang tinggi serta kekurangan unsur hara esensial yang akan menghambat pertumbuhan tanaman (Bontpart *et al.*, 2024; Borkar *et al.*, 2023; Jaffre, 2022; Nascimento *et al.*, 2022). Tanah berkapur kurang dalam mempertahankan air di dalam tanah dibandingkan dengan tanah ultramafik (Gou *et al.*, 2023; Mozaffari *et al.*, 2024) sehingga kandungan air pada tanah berkapur lebih rendah dibandingkan pada tanah ultramafik akan tetapi pada penelitian ini kandungan air dalam tanah pada kedua tempat tumbuh tersebut tidak diukur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *S. celebica* yang tumbuh di tanah berkapur memiliki stomata yang lebih panjang dan lebih lebar dibandingkan dengan yang tumbuh di tanah ultramafik. Namun demikian *S. celebica* yang tumbuh pada tanah berkapur memiliki kerapatan stomata yang lebih rendah dibandingkan dengan yang tumbuh di tanah ultramafik. Hal ini

terkait dengan strategi tanaman dalam mengoptimalkan pertukaran gas dan transpirasi di lingkungan yang memiliki karakteristik tanah berkapur. Pada tanah berkapur tumbuhan mempertahankan laju fotosintesis yang tinggi sambil meminimalkan kehilangan air (Wang *et al.*, 2018).

Kerapatan stomata yang lebih rendah pada *S. celebica* di tanah berkapur dibandingkan dengan yang tumbuh di tanah ultramafik menunjukkan bahwa tanaman tersebut cenderung mengurangi jumlah stomata untuk menekan laju kehilangan air (Hasanuzzaman *et al.*, 2023). Tumbuhan dengan kerapatan stomata yang lebih rendah dapat menjaga kelembaban tanah dan menunjukkan toleransi kekeringan yang lebih baik tanpa kehilangan serapan hara yang signifikan (Hepworth *et al.*, 2015).

Ketebalan daun dan ketebalan kutikula yang lebih tinggi pada *S. celebica* yang tumbuh di tanah berkapur dapat berfungsi sebagai perlindungan terhadap kehilangan air yang berlebihan akibat kondisi lingkungan yang cenderung lebih kering. Kutikula yang tebal berperan dalam mengurangi evaporasi air dari permukaan daun (Ristic & Jenks, 2002), sedangkan daun yang lebih tebal dapat mengandung jaringan penyimpan air yang lebih banyak untuk mendukung ketahanan terhadap kekeringan (Wang *et al.*, 2024). Sebaliknya, tanaman yang tumbuh di tanah ultramafik memiliki daun dan kutikula yang lebih tipis yang memungkinkan adaptasi untuk meningkatkan penyerapan cahaya (Durand *et al.*, 2024) dan pertukaran gas dalam kondisi yang lebih ekstrem (Monda *et al.*, 2020).

Anatomi batang

Dalam penelitian ini, rasio peridermis/floem pada batang tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antara tumbuhan yang tumbuh di kedua jenis tanah. Meskipun peridermis batang memiliki respon yang berbeda-beda terhadap kondisi tanah terutama suhu dan kelembaban (Avila-Lovera & Winter, 2024) dan pembentukan floem diketahui sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air tanah (Gricar *et al.*, 2018). Namun, secara umum batang cenderung mempertahankan struktur yang lebih stabil karena berfungsi sebagai penyangga utama, dibandingkan dengan daun yang lebih plastis dan mampu beradaptasi lebih cepat terhadap perubahan lingkungan (Valarmathi *et al.*, 2022). Ini menunjukkan bahwa struktur jaringan sekunder pada batang *S. celebica* relatif stabil

terhadap perbedaan kondisi tanah.

Anatomi akar

Rasio peridermis/endodermis pada akar juga tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antara tumbuhan yang tumbuh di kedua jenis tanah tersebut. Sementara itu Yamauchi et al. (2020) melaporkan rasio korteks terhadap stele, xilem terhadap stele dan aerenkim terhadap korteks pada spesies Poaceae berkolerasi kuat dengan adaptasi terhadap kandungan air di dalam tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur jaringan sekunder pada akar *S. celebica* relatif stabil terhadap perbedaan kondisi tanah. Ketahanan struktur ini dapat menjadi indikator bahwa sistem vaskular tanaman telah berkembang dengan efisien untuk mempertahankan fungsinya dalam berbagai kondisi tanah, baik pada tanah ultramafik maupun tanah kapur.

Kesimpulan

Sarcotheca celebica menunjukkan variasi struktur anatomi organ vegetatif sebagai bentuk adaptasi terhadap kondisi tanah yang berbeda. Tanaman yang tumbuh di tanah berkapur memiliki stomata yang lebih panjang dan lebih lebar, tetapi dengan kerapatan stomata yang lebih rendah dibandingkan dengan yang tumbuh di tanah ultramafik. Selain itu ketebalan daun dan ketebalan kutikula lebih tinggi pada tanaman di tanah berkapur dibandingkan dengan di tanah ultramafik. Sebaliknya, rasio peridermis/floem pada batang dan rasio peridermis/endodermis pada akar tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara tanaman yang tumbuh di ultramafik dan tanah berkapur. Hal ini menunjukkan bahwa struktur jaringan sekunder pada batang dan akar *S. celebica* relatif stabil terhadap variasi tanah.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Tadulako atas dukungan yang telah diberikan selama kegiatan penelitian ini sehingga berjalan lancar.

Referensi

Address, A. & Hafsi, A. (2020). Impact of Evaporation on Field Capacity during Water Drainage Redistribution in a Soil.

Hydrological Process, 35(2):1-7. <https://doi.org/10.1002/hyp.14028>

Astuti, I. P., Sari, R., Susandarini, R. & Zuhro, F. (2018). Tulisan Pendek: *Sarcotheca celebica* Veldkamp; Persebaran di Sulawesi, Status Konservasi dan Kelangkaan. *Journal Biologi Indonesia*, 14(1):143-146.

Avila-Lovera, E. & Winter, K. (2024). Variation in Stem Bark Conductance to Water Vapor in Neotropical Plant Species. *Frontiers in Forest and Global Change*, 6: 1278803. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1278803>

Bontpart, T., Weiss, A., Vile, D., Gerad, F., Lacombe, B., Reichheld, J. P. & Mari, S. (2024). *Trends in Plant Science*, 29(12): 1319-1330. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2024.03.013>

Borkar, S. G., Reddy, P. & Chavan, V. A. (2023). Fungal Species Inhabiting Calcareous Soil in Western Maharashtra, India, and Their Role in the Release of Soil-Bonded Fe and Zn Micronutrient for Crop Plant Availability in Such Soils. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(03): 1622-1632. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2626>

Brearley, F. Q. (2024). Metal Hyperaccumulation in the Indonesia Flora. *Ecological Research*, 39: 957-965. DOI: 10.1111/1440-1703.12497

Dama, H., Aisyah, S.I., Sudarsono & Dewi, A.K. (2020). Respon Kerapatan Stomata dan Kandungan Klorofil Padi (*Oryza sativa* L.) Mutan terhadap Toleransi Kekeringan. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 16(1): 1-6.

Dumitrascu, M., Sarbu, A. & Cislariu, A. (2023). The Anatomical Structure of *Symphotrichum squamatum*, an Alien Plant In Romanian Flora. *Acta Horti Botanici Bucurestiensis*, 49: 5-16. <https://doi.org/10.62229/ahbb491Z1Grd>

Durand, M., Zhuang, X., Salmon, Y. & Robson, T. M. (2024). Caught between Two States: The Compromise in Acclimation of Photosynthesis, Transpiration and Mesophyll Conductance to Different Amplitudes of Fluctuating Irradiance. *Plant, Cell & Environment*. 1-17. DOI: 10.1111/pce.15107

Goodman, A. L., Underwood, G. M. & Grassian, V. H. (2000). A Laboratory Study of the

- Heterogeneous Reaction of Nitric Acid on Calcium Carbonate Particles. *Journal of Geophysical Research*, 105(23): 53-64.
- Gou, L., Zhang, C., Lu, N. & Hu, S. (2023). A Soil Hydraulic Conductivity Equation Incorporating Adsorption and Capillarity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 149(8): 04023056. DOI: 10.1061/JGGEFK.GTENG-11388
- Gricar, J., Zavadlav, S., Jyske, T., Lavric, M., Laakso, T., Hafner, P., Eler, K. & Vodnik, D. (2018). Effect of Soil Water Availability on Intra-Annual Xylem and Phloem Formation and Non-Structural Carbohydrate pools in Stem of *Quercus pubescens*. *Tree Physiology*, 39(2): 222-233.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpy101>
- Hasanuzzaman, Md., Zhou, M. & Shabala, S. (2023). How Does Stomatal Density and Residual Transpiration Contribute to Osmotic Stress Tolerance? *Plants*, 12, 294:1-19.
<https://doi.org/10.3390/plants12030494>
- Hepworth, C., Dohen-Adams, T., Hunt, L., Cameron, D. D. & Gray, J. E. (2015). Manipulating Stomatal Density Enhances Drought Tolerance Without Deleterious Effect on Nutrient Uptake. *New Phytologist*, 208: 336-341. doi: 10.1111/nph.13598
- Jaffre, T. (2022). Plant Mineral Nutrition on Ultramafic Rock of New Caledonia. *Botany Letters*, 170(1): 1-37. DOI:10.1080/23818107.2022.2080112
- Jan, M., Mir, T. A., Khare, R. K. & Saini, N. (2022). Adaptation Strategies of Medicinal Plants in Response to Environmental Stresses. In: *Environmental Challenges and Medicinal Plants. Environmental Challenges and Solution*, Aftab, T. (Ed.) pp: 133-151. Springer Nature Switzerland. ISBN-10.3030920496
- Kartawisastra, S., Anda, M. & Ritung, S. (2017). *Pedoman Pengamatan Tanah di Lapangan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. IAARD Press. Jakarta. ISBN 978-602-344-163-1
- Liu, X., Wang, X., Zhu, J., Wang, X., Chen, K., Yuan, Y., Yang, X., Mo, W., Wang, R. & Zhang, S. (2024). Strong Conservatism in Leaf Anatomical Traits and Their Multidimensional Relationship with Leaf Economic Traits in Grasslands under Different Stressful Environments. *Ecological Processes*, 13: 13-71.
<https://doi.org/10.1186/s13717-024-00548-y>
- Monda, K., Mabuchi, A., Takahashi, S., Negi, J., Tohmori, R., Terashima, I., Yamori, W. & Iba, K. (2020). Increased Cuticle Permeability Caused by a New Allele of Acetyl-CoA Carboxylase1 Enhances CO₂ Uptake. *Plant Physiology*, 184: 1917-1926.
- Mozaffari, H., Moosavi, A. A. & Nematollahi, M. A. (2024). Predicting Saturated and Near-Saturated Hydraulic Conductivity Using Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression in Calcareous Soils. *PLS One* 19(1): 1-22.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296933>
- Nascimento, C. W. A., Lima, L. H. V., da Silva, J. A. B. & Biondi, C. M. (2022). Ultramafic soils and nickel phytomining opportunities: A review. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 46:e0210099.
<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210099>
- Ristic, Z. & Jenks, M. (2002). Leaf Cuticle and Water Loss in Maize Lines Differing in Dehydration Avoidance. *Journal of Plant Physiology*, 156(6): 645-651. DOI:10.1078/0176-1617-0743
- Soheili, F., Heydari, M., Woodward, S. & naji, H. R. (2023). Adaptive Mechanisms in *Quercus brantii* Lindl Leaves under Climatic Differentiation: Morphological and Anatomical Traits. *Scientific Reports*, 13: 3580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30762-1>
- Ullrich, W. (2024). Plant Anatomy for Sustainable Agriculture and Environmental Conservation. *Journal of Botanical Sciences*, 13(2): 13-14.
- Valarmathi, R., Swamy, H. K. M., Appunu, C., Kambale, R. & Sudhagar, R. (2022). Anatomy of Tolerance Mechanisms in Sugarcane Crops to Abiotic Stress. In: *Agro-Industrial Perspectives on Sugarcane Production under Environmental Stress*, Verma, K. K., Song, X. P., Rajput, V. D., Solomon, S., Li, Y. R. & Rao, G. P. (Eds.), Springer Verlag, Singapore. pp 107-121. ISBN: 978-9811939549
- Wang, C., Yuan, S. & Wang, H. (2024). The

-
- Impact of Water Storage Capacity on Plant Dynamic in Arid Environments: A Stoichiometric Modelling Approach. *Mathematical Bioscience*, 369. 109147: 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.mbs.2024.109147>
- Wang, J., Wen, X., Zang, X. & Li, S. (2018). The strategies of Water-Carbon Regulation of Plants in a Subtropical Primary Forest on Karst Soils in China. *Biogeosciences*, 15:4193-4203. <https://doi.org/10.5194/bg-15-4193-2018>
- Yamauchi, T., Pedersen, O., Nakazono, M., & Tsutsumi, N. (2020). Key Roots Traits of Poaceae for Adaptation to Soil Water Gradients. *New Phytologist*, 229(6): 3133-3140. <https://doi.org/10.1111/nph.17093>
- Yeung, E. C. (1998). A Beginner's Guide to the Study of Plant Structure. In: *Tested studies for Laboratory Teaching*, Vol 19, S. J. Karcher, S. J. (Ed). Proceeding of the 19th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE). pp; 125-142. <http://www.zoo.utoronto.ca/able/volumes/copyright.htm>