

PERTUMBUHAN TANAMAN DAN STRUKTUR ANATOMI DAUN KEDELAI, KACANG PANJANG, DAN KACANG TANAH PADA KETINGGIAN TEMPAT YANG BERBEDA

(PLANT GROWTH AND LEAF ANATOMY STRUCTURE OF SOYBEANS, LONG BEANS, AND PEANUTS AT DIFFERENT ELEVATION)

Andre¹, Wahyu Harso^{1*}, Mustafid Rasyiid¹, Asri Pirade Paserang¹, Moh. Iqbal¹, dan Retno Sari¹

¹ Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

Keywords:

Altitude, Growth, Leaf Anatomical Structure.

ABSTRACT

Soybean, long bean, and peanut are among the crops commonly grown at various elevation in tropical regions. The environmental differences between lowland and highlands will impact the growth of plant and the anatomical structure of their leaves. The purpose of this study was to investigate the growth of soybeans, long beans, and peanuts at varying altitudes and to examine the anatomical adaptations of their leaves in relationship to growth performance. The test plants were grown at two different elevations. The plants were grown in greenhouse of the Biology Department of the Faculty of Mathematics and Natural Science at Tadulako University, which has an elevation of ± 60 m above sea level, and in Bahagia Village, Palolo District, Sigi Regency, which has an elevation of ± 630 m above sea level. The results showed that in long beans and peanuts, there was no increase in stomatal density and leaf thickness in response to increased elevation, which caused their growth to be inhibited. Meanwhile, in soybeans, there was an increase in stomatal density and leaf thickness, which could increase photosynthetic efficiency and subsequently enhance plant growth. Changes in leaf anatomy are very significant for maintaining photosynthetic capacity in response to environmental alteration.

Kata Kunci:

Ketinggian, Pertumbuhan, Struktur Anatomi Daun

ABSTRAK

Tanaman kedelai, kacang panjang, dan kacang tanah termasuk di antara tanaman yang sering ditanam di berbagai ketinggian di daerah tropis. Perbedaan lingkungan antara dataran rendah dan dataran tinggi akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan struktur anatomi daunnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pertumbuhan tanaman kedelai, kacang panjang, dan kacang tanah pada ketinggian yang berbeda serta mengidentifikasi bentuk adaptasi anatomi daun dan keterkaitannya dengan performa pertumbuhan. Tanaman uji ditanam di dua ketinggian tempat yang berbeda. Tanaman ditanam di greenhouse Jurusan Biologi FMIPA Universitas Tadulako yang memiliki ketinggian ± 60 mdpl dan di Desa Bahagia Kecamatan Palolo, Kabupaten Sigi yang memiliki ketinggian 630 mdpl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tanaman kacang panjang dan kacang tanah tidak terjadi peningkatan kerapatan stomata dan ketebalan daun sebagai respon terhadap peningkatan ketinggian tempat yang menyebabkan pertumbuhannya terhambat sementara pada tanaman kedelai terjadi peningkatan kerapatan stomata dan ketebalan daun yang dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis yang selanjutnya meningkatkan pertumbuhan tanaman. Perubahan anatomi daun sangat penting untuk mempertahankan kemampuan fotosintesis dalam menanggapi perubahan lingkungan.

*Corresponding Author: wahyu.harso@gmail.com

PENDAHULUAN

Kedelai, kacang panjang dan kacang tanah merupakan sumber pangan yang

penting terutama sebagai sumber protein nabati yang lebih murah dibandingkan dengan sumber protein hewani. Selain itu

juga kedelai, kacang panjang dan kacang tanah mengandung berbagai macam vitamin dan mineral (Hastuti et al., 2019). Oleh karena itu tanaman tersebut banyak dibudidayakan di Indonesia. Budidaya tanaman kedelai, kacang panjang dan kacang tanah biasa dilakukan di dataran tinggi dan dataran rendah (Aminah et al., 2021).

Lingkungan alami dapat bervariasi dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Perbedaan suhu, intensitas cahaya dan kelembaban udara dapat terjadi setiap kenaikan ketinggian sekitar 100 meter (Purwantara, 2015). Di dataran tinggi, suhu, kelembaban dan tekanan udara lebih rendah dibandingkan dengan di dataran rendah. Udara yang lebih tipis akan menurunkan ketersediaan oksigen (Tambunan et al., 2016). Sebaliknya, intensitas cahaya matahari cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan dataran rendah (Germino and Smith, 2000).

Perbedaan faktor lingkungan antara dataran tinggi dan dataran rendah tentunya akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada dataran tinggi suhu merupakan faktor pembatas pertumbuhan (Pittermann and Sage, 2001; Satyanti et al., 2015). Pertumbuhan tajuk vegetatif, ketebalan daun dan luas daun pada beberapa kultivar apel menurun akibat meningkatnya ketinggian tempat (Aslantaş and Karakurt,

2009). Moghaddam et al (2022) juga melaporkan meningkatnya ketinggian dari 1800 ke 2800 mdpl menurunkan berat basah dan berat kering dari tanaman *Ziziphora clinodiopoides* dan *Sophora aloperuroides*. Perbedaan faktor lingkungan juga akan mempengaruhi anatomi daun karena daun lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan dibandingkan organ lain pada tumbuhan (Li and Bao, 2005). Tumbuhan yang di dataran tinggi cenderung untuk memiliki daun yang lebih kecil dan tebal dengan jumlah stomata yang meningkat yang akan membantu tumbuhan untuk mengurangi transpirasi dan meningkatkan kemampuan fotosintesis (Liu et al., 2020). Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh perbedaan ketinggian tempat terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai, kacang panjang, dan kacang tanah. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bentuk adaptasi anatomi daun dan keterkaitannya dengan performa pertumbuhan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan dua faktor. Faktor pertama adalah ketinggian tempat. Tanaman akan di tempatkan di rumah kaca Program Studi Biologi FMIPA Universitas Tadulako yang memiliki ketinggian tempat ± 60 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan di Desa

Bahagia Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah yang memiliki ketinggian ± 630 mdpl. Ketinggian tempat ditentukan dengan menggunakan altimeter. Faktor kedua adalah jenis tanaman. Tanaman yang digunakan adalah tanaman yang biasa ditanam di dataran tinggi dan di dataran rendah yaitu tanaman kedelai, kacang panjang dan kacang tanah. Pengulangan dari kombinasi perlakuan antara ketinggian dan jenis tanaman dilakukan sebanyak lima kali untuk pengamatan pertumbuhan dan sebanyak tiga kali untuk pengamatan anatomi daun sehingga total jumlah tanaman untuk setiap kombinasi perlakuan adalah delapan tanaman.

Tanah yang digunakan sebagai media tanam adalah tanah yang sama baik untuk penempatan tanaman di ketinggian ± 60 mdpl maupun di ketinggian ± 630 mdpl. Tanah diambil dari Desa Bahagia Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi dengan menggali tanah dengan kedalaman ± 20 cm. Kemudian tanah dikering anginkan selama dua hari dan kemudian diayak dengan ayakan ukuran 4 mm. Sebanyak 3 kg tanah dimasukkan ke dalam masing masing polybag dengan ukuran 40 cm x 25 cm. Sebelum dimasukkan ke dalam polybag tanah diberi pupuk NPK sebanyak 1 g/polybag secara homogen yang setara dengan pemberian pupuk NPK 400 kg/ha.

Sebelum dilakukan penanaman, biji tanaman diseleksi lebih dahulu dengan

memperhatikan permukaan kulit biji secara visual dan keutuhan cadangan makan biji dengan cara direndam di dalam air. Biji dengan kulit biji utuh dan tenggelam dipilih sebagai bibit tanaman uji. Sebanyak tiga biji untuk masing masing jenis tanaman ditanam di masing masing polybag. Polybag kemudian disiram dengan air sampai 100% kapasitas lapang. Kandungan air pada tanah sebanyak 100% kapasitas lapang dipertahankan sampai tanaman berumur tujuh hari secara gravimetrik. Setelah tanaman berumur tujuh hari, masing masing polybag disisakan satu tanaman yang memiliki pertumbuhan dengan tingkat keseragaman yang tinggi dengan tanaman yang ada di polybag lainnya dari jenis tanaman yang sama. Pada tanaman yang ditanam di ketinggian ± 630 mdpl, tanaman diberi naungan plastik transparan untuk menghindari penambahan air akibat adanya hujan. Kadar air tanah pada tanaman yang diletakkan di ketinggian ± 60 mdpl maupun ± 630 mdpl dipertahankan pada kisaran 50% kapasitas lapang secara gravimetrik setiap dua atau tiga hari sekali sampai waktu panen. Letak masing masing polybag juga dirubah secara acak tiap dua atau tiga hari sekali.

Setelah tanaman berumur 30 hari, tanaman dipanen dan dilakukan pengukuran berupa; tinggi tanaman dengan mengukur tanaman dari pangkal sampai bagian tertinggi dari tanaman, diameter

batang dengan menggunakan jangka sorong di bagian dua cm dari pangkal batang, jumlah daun dengan menghitung jumlah daun yang sudah terbuka saat pemetikan, berat kering tajuk dengan menimbang tajuk yang sudah dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam. Untuk kerapatan stomata, sampel daun yang dipanen kemudian difiksasi dalam alkohol 70%. Setelah difiksasi daun dicuci dengan akuades. Kemudian dilakukan penyayatan secara membujur pada permukaan bawah daun. Hasil sayatan direndam dalam kloroks, lalu diwarnai dengan safranin 1%. Sampel kemudian diletakkan dalam gelas benda kemudian ditetesi dengan gliserin 30% dan ditutup dengan gelas penutup. Gelas penutup kemudian disegel pada bagian tepinya dengan menggunakan cat kuku transparan. Preparat selanjutnya diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran 100 kali. Kerapatan stomata dihitung berdasarkan jumlah stomata per luas bidang pandang (mm^2). Tebal helaian daun diperoleh dengan cara melakukan pengirisan secara melintang. Potongan dari daun tersebut kemudian dibuat preparat mikroskopis dengan cara seperti pada pembuatan preparat untuk pengamatan kerapatan stomata. Preparat kemudian diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran 40 kali. Kedua gambar preparat diambil dengan menggunakan perangkat lunak

Optilab Viewer. Tebal helaian daun diukur dengan menggunakan perangkat lunak *Image Raster*. Pengukuran faktor lingkungan berupa suhu, kelembaban udara dan intensitas cahaya dilakukan pada awal penanaman dan mendekati waktu panen. Suhu dan kelembaban diukur dengan menggunakan thermohygrometer sementara intensitas cahaya diukur dengan menggunakan luxmeter.

Data yang diperoleh dianalisis dengan ANAVA dua arah menggunakan perangkat lunak *Jeffrey's Amazing Statistic Program* (JASP) versi 0.18.1. Apabila perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji Tukey pada $P < 0.05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran keadaan lingkungan di kedua tempat penanaman menunjukkan bahwa di ketinggian ± 60 mdpl dan di ketinggian ± 630 mdpl memiliki kisaran suhu, kelembaban dan intensitas cahaya matahari yang berbeda. Pada ketinggian ± 60 mdpl memiliki rentangan suhu berkisar 30-35°C, kelembaban berkisar 35-60% dan intensitas cahaya berkisar 1100-1200 lux, sementara di ketinggian ± 630 mdpl memiliki rentangan suhu berkisar 29-30°C, kelembaban berkisar 60-80% dan intensitas cahaya berkisar 900-1000 lux (Tabel 1).

Tabel 1. Suhu, kelembaban cahaya dan intensitas cahaya di dua ketinggian

Ketinggian (mdpl)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Intensitas cahaya (lux)
60	30-35	35-60	1100-1200
630	29-30	60-80	900-1000

Berdasar hasil analisis statistik, parameter pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman, diameter batang, dan kerapatan stomata dipengaruhi oleh ketinggian tempat sementara jumlah daun dan berat kering tajuk tidak dipengaruhi. Jenis tanaman mempengaruhi semua parameter pertumbuhan tanaman yang diamati. Untuk parameter anatomi daun,

kerapatan stomata dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Sementara jenis tanaman mempengaruhi kerapatan stomata dan tebal helaian daun. Interaksi antara ketinggian tempat dan jenis tanaman mempengaruhi secara nyata terhadap tinggi tanaman, diameter, kerapatan stomata dan tebal helaian daun (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil analisis statistik terhadap paramater pengamatan

Perlakuan	Tinggi tanaman	Diameter batang	Jumlah daun	Berat kering tajuk	Kerapatan stomata	Tebal helaian daun
Faktor utama						
Ketinggian	*	*	tb	tb	*	tb
Jenis tanaman	*	*	*	*	*	*
Interaksi						
Ketinggian * jenis	*	*	tb	tb	*	*

Keterangan: * berpengaruh nyata, tb tidak berpengaruh nyata

Tanggapan pertumbuhan tanaman terhadap ketinggian tempat bervariasi tergantung dari jenis tanaman (Shi et al., 2015). Pada penelitian ini tinggi tanaman, jumlah daun dan berat kering tajuk pada tanaman kacang panjang dan kacang tanah cenderung lebih rendah saat ditanam di ketinggian ± 630 mdpl dibandingkan bila ditanam di ketinggian ± 60 mdpl, meskipun secara statistik tidak berbeda nyata (Tabel 3). Beberapa faktor yang menyebabkan berkurangnya pertumbuhan pada tanaman kacang panjang dan kacang tanah di

ketinggian ± 630 mdpl disebabkan oleh faktor lingkungan berupa suhu dan intensitas cahaya yang lebih rendah serta kelembaban udara yang lebih tinggi dibandingkan di ketinggian ± 60 mdpl.

Suhu sangat mempengaruhi aktivitas enzim yang selanjutnya akan mempengaruhi metabolisme tanaman. Menurunnya suhu akan menurunkan aktivitas enzim dan metabolisme tanaman (Usadel et al., 2008). Intensitas cahaya matahari sangat diperlukan untuk terjadinya proses fotosintesis. Penurunan intensitas cahaya matahari juga akan menurunkan

laju fotosintesis (Jia et al., 2021). Selain itu kelembaban yang tinggi di ketinggian ± 630 mdpl juga akan menghambat penyerapan

air dan unsur hara karena kelembaban yang tinggi akan menghambat proses transpirasi (Chia and Lim, 2022).

Tabel 3. Data pengukuran parameter pertumbuhan tanaman

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)		Diameter batang (mm)		Jumlah daun		Berat kering tajuk (g)	
	Ketinggian (mdpl)		Ketinggian (mdpl)		Ketinggian (mdpl)		Ketinggian (mdpl)	
Jenis	60	630	60	630	60	630	60	630
Kedelai	89,40 $\pm$ 17,74b	28,30 $\pm$ 2,71a	2,12 $\pm$ 0,33a	3,10 $\pm$ 0,23b	20,40 $\pm$ 5,41a	17,60 $\pm$ 2,51a	1,02 $\pm$ 0,44a	1,42 $\pm$ 0,48ab
Kacang panjang	103,40 $\pm$ 6,35b	84,70 $\pm$ 18,06b	3,40 $\pm$ 0,19b	3,46 $\pm$ 0,40b	18,00 $\pm$ 3,00a	15,00 $\pm$ 2,65a	2,01 $\pm$ 0,45b	1,49 $\pm$ 0,38ab
Kacang tanah	24,00 $\pm$ 1,97a	18,40 $\pm$ 2,04a	3,30 $\pm$ 0,16b	3,70 $\pm$ 0,16b	60,60 $\pm$ 10,24b	54,20 $\pm$ 7,56b	2,00 $\pm$ 0,42b	1,61 $\pm$ 0,43ab

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji lanjut Tukey ($P < 0,05$).

Pada ketinggian ± 630 mdpl, pada tanaman kacang panjang tanah dan kacang tanah juga terjadi penurunan kerapatan stomata daun (Tabel 4). Kerapatan stomata sangat mempengaruhi difusi gas dan asimilasi CO_2 di dalam daun. Menurunnya kerapatan stomata akan menurunkan konduktansi stomata dan laju fotosintesis (Tanaka et al., 2013). Selain kemampuan metabolisme dipengaruhi oleh kerapatan stomata yang berkurang, tekanan udara mungkin juga berpengaruh terhadap metabolisme pada tanaman kacang panjang dan kacang tanah. Tekanan udara cenderung lebih rendah pada dataran yang lebih tinggi (Tanaka et al., 2013). Tekanan udara akan mempengaruhi pertukaran karbondioksida dan oksigen didalam tanaman yang selanjutnya akan mempengaruhi fotosintesis dan pertumbuhan tanaman (Styles et al., 2002). Tekanan udara yang lebih rendah juga akan

menyebabkan ketersediaan oksigen yang lebih rendah. Oksigen digunakan untuk respirasi sel dan kekurangan oksigen dapat membatasi pertumbuhan tanaman (Ramonell et al., 2001).

Berbeda dengan tanaman kacang panjang dan kacang tanah, pada tanaman kedelai yang ditanam di ketinggian ± 630 mdpl terjadi peningkatan diameter batang dan berat kering tajuk tanaman, meskipun tinggi tanamannya lebih rendah dibandingkan dengan yang ditanam di ketinggian ± 60 mdpl (Tabel 3). Berat kering merupakan indikator pertumbuhan yang utama karena berat kering mencerminkan efek kumulatif dari faktor lingkungan terhadap fungsi tanaman (Laghari et al., 2004). Hal ini mungkin disebabkan oleh kerapatan stomata yang lebih tinggi pada tanaman kedelai yang di tanam di ketinggian ± 630 mdpl dibandingkan dengan yang ditanam di ketinggian ± 60 mdpl

(Tabel 4). Meningkatnya kerapatan stomata akibat adanya meningkatnya ketinggian tempat merupakan adaptasi tanaman terhadap kandungan CO₂ yang rendah akibat tekanan udara yang rendah pada dataran tinggi (Kouwenberg et al., 2018; Woodward et al., 2002). Meningkatnya kerapatan stomata akan meningkatkan difusi CO₂ dan O₂ yang akan meningkatkan fotosintesis dan metabolisme tanaman yang pada akhirnya meningkatkan pertumbuhan tanaman. Pada tanaman kedelai juga terjadi peningkatan ketebalan daun yang nyata saat ditanam di ketinggian ± 630 mdpl, sementara tanaman kacang panjang dan

kacang tanah hanya sedikit terjadi peningkatan ketebalan daunnya bila dibandingkan dengan ketebalan daun pada saat tanaman ditanam di ketinggian ± 60 mdpl (Tabel 4). Meningkatnya ketebalan daun dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis dengan meningkatnya resisten difusi di ruang antar sel dan total luas permukaan kloroplas yang menghadap ruang antar sel (Mediavilla et al., 2001; Terashima et al., 2001). Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan anatomi daun sangat penting untuk mempertahankan kemampuan fotosintesis dalam menanggapi perubahan lingkungan.

Tabel 4. Data pengukuran anatomi daun

Perlakuan	Kerapatan stomata (jumlah stomata/mm ²)		Tebal helaian daun (μm)	
	Ketinggian (mdpl)		Ketinggian (mdpl)	
Jenis	60	630	60	630
Kedelai	75,15± 4,04b	88,46± 2,16c	119,97± 0,90a	174,57± 24,21b
Kacang panjang	94,93± 1,08c	74,79± 4,36b	245,20± 16,70c	262,73± 22,04cd
Kacang tanah	51,42± 2,25a	46,39± 2,85a	211,77± 19,79bc	220,77± 3,16bc

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji lanjut Tukey (P < 0,05).

Pada tanaman kacang panjang dan kacang tanah tidak terjadi perubahan anatomi pada daun sebagai respon terhadap peningkatan ketinggian tempat yang menyebabkan pertumbuhannya terhambat sementara pada tanaman kedelai terjadi perubahan anatomi daun berupa peningkatan kerapatan stomata dan ketebalan daun yang dapat meningkatkan

efisiensi fotosintesis yang selanjutnya meningkatkan pertumbuhan tanaman. Perubahan pada anatomi daun berperan penting dalam menjaga efisiensi fotosintesis ketika tanaman menghadapi kondisi lingkungan yang berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, S. N., Nasruddin, A., Abdullah, T., Fatahuddin, and Syatrawati. (2021). Preliminary study: Introduction pest of long bean flowers in South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 681(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/681/1/012038>
- Aslantaş, R., and Karakurt, H. (2009). The effects of altitude on stomata number and some vegetative growth parameters of some apple cultivars. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(5), 853–857. <http://www.aensonline.com/rjabs/rjabs/2009/853-857.pdf>
- Chia, S. Y., and Lim, M. W. (2022). A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1257(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1257/1/012001>
- Germine, M. J., and Smith, W. K. (2000). Differences in microsite, plant form, and low-temperature photoinhibition in Alpine plants. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 32(4), 388–396. <https://doi.org/10.1080/15230430.2000.12003382>
- Hastuti, E. D., Saptaningsih, E., and Izzati, M. (2019). Pengaruh pematangan dominansi apikal terhadap produktivitas tanaman kacang-kacangan. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 4(2), 97–106.
- Jia, J., Xu, M., Bei, S., Zhang, H., Xiao, L., Gao, Y., Zhang, Y., Sai, L., Xue, L., Lei, J., and Qiao, X. (2021). Impact of reduced light intensity on wheat yield and quality: Implications for agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 95(8), 1689–1701. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00668-w>
- Kouwenberg, L. L. R., Kiirschner, W. M., and McElwain, J. C. (2018). Stomatal frequency change over altitudinal gradients: Prospects for paleoaltimetry. *Paleoaltimetry: Geochemical and Thermodynamic Approaches*, 66, 215–241. <https://doi.org/10.2138/rmg.2007.66.9>
- Laghari, K. B., Munir, M., Farrar, J. F., and Mahar, A. N. (2004). Dry matter partitioning and plant development as function of environmental factors in wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Avalon. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2(3–4), 149–156.
- Li, F.-L., and Bao, W.-K. (2005). Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change. *Chinese Bulletin of Botany*, 22, 118–127.
- Liu, W., Zheng, L., and Qi, D. (2020). Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes. *Ecology and Evolution*, 10(15), 8166–8175. <https://doi.org/10.1002/ece3.6519>
- Mediavilla, S., Escudero, A., and Heilmeyer, H. (2001). Internal leaf anatomy and photosynthetic resource-use efficiency: Interspecific and intraspecific comparisons. *Tree Physiology*, 21(4), 251–259. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.4.251>
- Moghaddam, M. K., Fallah, H., Niknejad, Y., and Dastan, S. (2022). Investigating the altitude impact on the eco-phytochemical parameters of *Ziziphora clinopodioides* and *Sophora alopecuroides* in the different regions of Northern Iran. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 21(1), 57–65. <https://doi.org/10.24326/asphc.2022.1>

- Pittermann, J., and Sage, R. F. (2001). The response of the high altitude C4 grass *Muhlenbergia montana* (Nutt.) A.S. Hitchc. to long- and short-term chilling. *Journal of Experimental Botany*, 52(357), 829–838. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.357.829>
- Purwantara, S. (2015). Temperature udara, Gradien suhu. *Geomedia*, 13, 41–52.
- Ramonell, K. M., Kuang, A., Porterfield, D. M., Crispi, M. L., Xiao, Y., McClure, G., and Musgrave, M. E. (2001). Influence of atmospheric oxygen on leaf structure and starch deposition in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell and Environment*, 24(4), 419–428. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00691.x>
- Satyanti, A., Kuswantoro, F., Susanto, E., Utomo, T., Mahmudin, and Fijridiyanto, I. A. (2015). Highland species and temperature requirement for germination : a case from two endemic Papuan. *Buletin Kebun Raya*, 18(1), 15–22.
- Shi, Z., Haworth, M., Feng, Q., Cheng, R., and Centritto, M. (2015). Growth habit and leaf economics determine gas exchange responses to high elevation in an evergreen tree, a deciduous shrub and a herbaceous annual. *AoB Plants*, plv115. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv115>
- Styles, J. M., Lloyd, J., Zolotoukhine, D., Lawton, K. A., Tchebakova, N., Francey, R. J., Arneeth, A., Salamakho, D., Kolle, O., and Schulze, E.-D. (2002). Estimates of regional surface carbon dioxide exchange and carbon and oxygen isotope discrimination during photosynthesis from concentration profiles in the atmospheric boundary layer. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 54(5), 768–783. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v54i5.16727>
- Tambunan, R. D., Danes, V. R., and Lintong, F. (2016). Perbandingan kapasitas vital paru pada pelajar di dataran tinggi Tomohon dengan pelajar di dataran rendah Manado. *Jurnal E-Biomedik*, 4(1). <https://doi.org/10.35790/ebm.4.1.2016.12143>
- Tanaka, Y., Sugano, S. S., Shimada, T., and Hara-Nishimura, I. (2013). Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, 198(3), 757–764. <https://doi.org/10.1111/nph.12186>
- Terashima, I., Miyazawa, S. I., and Hanba, Y. T. (2001). Why are sun leaves thicker than shade leaves? - Consideration based on analyses of CO₂ diffusion in the leaf. *Journal of Plant Research*, 114(1), 93–105. <https://doi.org/10.1007/pl00013972>
- Usadel, B., Bläsing, O. E., Gibon, Y., Poree, F., Höhne, M., Günter, M., Trethewey, R., Kamlage, B., Poorter, H., and Stitt, M. (2008). Multilevel genomic analysis of the response of transcripts, enzyme activities and metabolites in *Arabidopsis rosettes* to a progressive decrease of temperature in the non-freezing range. *Plant, Cell and Environment*, 31(4), 518–547. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01763.x>
- Woodward, F. I., Lake, J. A., and Quick, W. P. (2002). Stomatal development and CO₂: Ecological consequences. *New Phytologist*, 153(3), 477–484. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00338.x>