

## Analyzing the Influence of Altitudinal Gradients on Clove Physiology and Yield in the Menoreh Highlands

Yovi Avianto<sup>1\*</sup>, Ananta Bayu Pratama<sup>2</sup>, Amir Noviyanto<sup>1</sup>, Firman Rahmat Fauzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Departemen Agroteknologi, Sleman, Indonesia;

<sup>2</sup>Edu Farmers Foundation, Jakarta, Indonesia;

### Article History

Received : Agustus 28<sup>th</sup>, 2024

Revised : September 19<sup>th</sup>, 2024

Accepted : October 01<sup>th</sup>, 2024

\*Corresponding Author:

**Yovi Avianto**, Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Departemen Agroteknologi, Sleman, Indonesia;  
Email: [yovi@instiperjogja.ac.id](mailto:yovi@instiperjogja.ac.id)

**Abstract:** Clove (*Syzygium aromaticum*) is a significant industrial crop commodity in Indonesia whose yield and essential oil quality are influenced by altitude. Variations in altitude lead to differences in microclimatic conditions, which in turn affect plant physiological activities and productivity. This study aimed to investigate the impact of altitude on the physiological activity, yield, and essential oil content of clove plants. The research was conducted in the lower (345 m asl), middle (612 m asl), and upper (872 m asl) zones of the Menoreh Highlands from March to August 2022. Results indicated that altitude significantly influenced microclimatic conditions, thereby affecting the physiological status and yield of clove plants. The middle zone exhibited optimal physiological performance and flower yield, with a balanced rate of photosynthesis and transpiration. Higher proline levels in the lower and upper zones suggested temperature stress, which reduced photosynthetic rate and yield. Essential oil production and eugenol content were also influenced by altitude, with the middle zone yielding the highest oil volume, although eugenol content was higher in the upper zone. Correlation analysis revealed that temperature and relative humidity were the dominant factors determining clove yield and quality.

**Keywords:** Cryoprotectant, ecophysiology, eugenol, heat stress, *Syzygium aromaticum*.

### Pendahuluan

Tanaman cengkih merupakan salah satu komoditas perkebunan yang banyak dibudidayakan di Indonesia dan hasil produksinya berupa bunga cengkih kering menjadi salah satu penyumbang devisa negara. Bunga cengkih kering merupakan komoditas ekspor yang memiliki nilai jual tinggi (Pratama *et al.*, 2020). Bunga kering cengkih berasal dari bunga yang masih belum mekar kemudian dikeringkan. Bunga cengkih merupakan organ yang paling banyak mengandung minyak atsiri (Cortés-Rojas *et al.*, 2014). Meskipun demikian, daun dan ranting cengkih juga mengandung minyak dalam kadar yang lebih rendah dan umumnya digunakan sebagai sampingan bagi petani untuk industri rokok (Razafimamonjison *et al.*, 2014).

Kecamatan di wilayah Kabupaten Kulon Progo yang menjadi pusat budidaya cengkih tergabung dalam gugusan pegunungan Menoreh yang membentang dari timur di kecamatan Kalibawang hingga ke barat dan selatan melewati kecamatan Samigaluh, Girimulyo, Kokap, dan Nanggulan dengan berbagai ketinggian tempat (Sholikah *et al.*, 2021). Berdasarkan kearifan lokal masyarakat Pegunungan Menoreh, perbedaan ketinggian tempat berpengaruh terhadap produksi bunga cengkih kering maupun volume minyak yang dihasilkan (Istiawan & Kastono, 2019; Kamsurya *et al.*, 2022). Perbedaan geografis ketinggian tempat dapat menimbulkan perbedaan iklim mikro secara keseluruhan pada masing-masing lapisan ketinggian akibat perbedaan jumlah radiasi matahari yang diterima (Fyllas *et al.*, 2017). Beberapa anasir

iklim mikro yang dipengaruhi jumlah radiasi di antaranya adalah temperatur udara dan tanah (Fan *et al.*, 2018), kelembaban udara, dan tingkat evaporasi lahan (Valipour, 2015).

Pengaruh suhu dan kelembaban udara akibat ketinggian tempat terhadap tanaman yang paling tampak adalah pada proses fotosintesis dan selanjutnya tereksresi pada produktivitas bunga cengkih (Dusenge *et al.*, 2019; Garofalo & Rinaldi, 2015). Menurut Zhang *et al.* (2021), kenaikan suhu udara akibat perubahan radiasi matahari mempengaruhi proses fisiologis tanaman yaitu pembukaan dan penutupan stomata, laju transpirasi, pembentukan osmoprotektan, pengaturan dinamika fotosintesis, tahanan stomata, pembentukan protein dan enzim antioksidan, hingga perubahan struktur lipid pada membran sel.

Tanaman cengkih termasuk tanaman C3 yang peka terhadap suhu udara dan intensitas cahaya matahari yang tinggi (Le Houérou, 2009). Pergerakan stomata yang menyebabkan pertukaran gas atmosfer pada dasarnya dikendalikan oleh cahaya matahari. Pertukaran uap air, O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> dibatasi oleh lubang stomata yang dikendalikan oleh sel penjaga stomata (Harrison *et al.*, 2020). Ketika laju transpirasi tinggi dan tidak diimbangi dengan serapan air yang cukup, stomata cenderung menutup sehingga menghambat difusi CO<sub>2</sub> dan laju fotosintesis. Laju fotosintesis dipengaruhi oleh intensitas cahaya, konsentrasi CO<sub>2</sub> dan suhu (Kaiser *et al.*, 2015).

Penelitian mengenai ketinggian tempat dan pengaruhnya terhadap tanaman cengkih telah cukup banyak dilakukan. Istiawan & Kastono (2019) menemukan bahwa ketinggian tempat di wilayah Samigaluh berpengaruh terhadap kesuburan kimia tanah berupa kandungan P tersedia, K tersedia, Ca, Mg, S, pH H<sub>2</sub>O, C-organik, KPK tanah. Selain itu, ketinggian tempat juga berpengaruh terhadap beberapa parameter fisiologis yaitu kandungan prolin dan klorofil, dan parameter hasil yaitu kadar eugenol, β-kariofilen, dan rendemen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kamsurya & Botanri (2022) di Maluku dengan elevasi 6-214 mdpl, tanaman cengkih hutan memiliki masa panen yang berbeda akibat pengaruh ketinggian tempat.

Semakin tinggi tempat tumbuh tanaman

cengkih, maka masa panen akan semakin mundur, bobot segar bunga meningkat, dan bobot kering bunga menurun. Di Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali, rendemen minyak atsiri daun cengkih dipengaruhi oleh ketinggian tempat, dimana pada ketinggian menengah (600 mdpl) justru memiliki rendemen yang lebih rendah dibandingkan ketinggian rendah (300 mdpl) dan tinggi (900 mdpl). Meskipun rendemen minyak pada ketinggian menengah tidak tinggi, tetapi memiliki kandungan eugenol yang tinggi yaitu 52,86% (Wijaya *et al.*, 2022). Kebaruan dari penelitian yang akan dilakukan ini berfokus kepada parameter fisiologis dan penentuan tingkat cekaman tanaman cengkih akibat ketinggian tempat. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh ketinggian tempat terhadap aktivitas fisiologis, produksi dan rendemen minyak tanaman cengkih.

## Bahan dan Metode

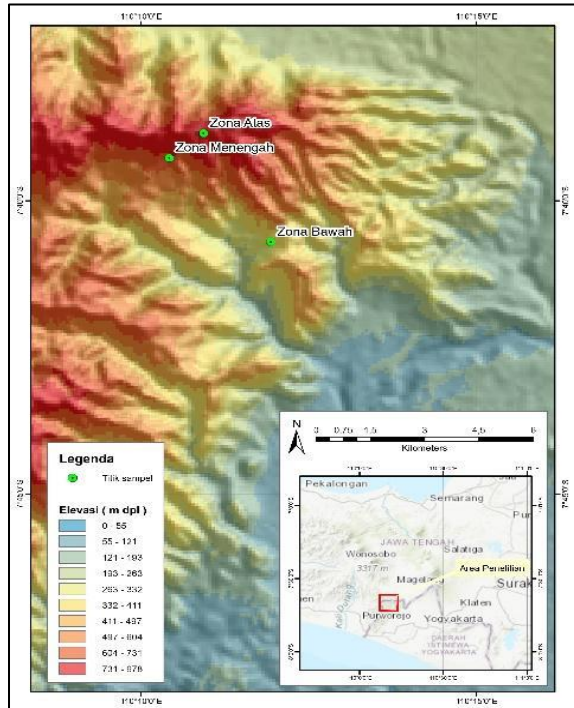
### Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada Bulan Maret - Agustus 2022 di Perbukitan Menoreh, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Ketinggian tempat tumbuh tanaman cengkih terbagi menjadi 3 lapisan yaitu ketinggian rendah yang berlokasi di Dusun Nyemani (7° 40' 42.3192" S, 110° 11' 55.8852" E, ketinggian tempat 345 mdpl), ketinggian menengah di Dusun Sumbo (7° 39' 16.3872" S, 110° 10' 25.1688" E, ketinggian tempat 612 mdpl), dan lokasi tinggi di Dusun Keceme (7° 38' 51.0324" S, 110° 10' 55.8192" E, ketinggian tempat 872 mdpl).

### Teknik pemilihan sampel dan pengamatan iklim mikro

Area penelitian ditentukan dengan memilih lereng berbentuk terasering dan memiliki arah hadap yang sama ke arah timur. Area penelitian dibagi menjadi 3 plot berdasarkan posisi tanaman cengkih: lereng bagian atas, tengah dan bawah. Ukuran masing-masing plot percobaan yaitu 20 m x 20 m. Dari setiap plot percobaan kemudian dipilih 10 tanaman sampel dengan syarat: varietas cengkih sikotok, pertumbuhan tanaman sehat secara visual, diameter batang antara 19 - 23 cm

dihitung 120 cm dari permukaan tanah, dan karakter lainnya diupayakan sehomogen mungkin. Parameter iklim mikro yang diamati adalah suhu dan kelembaban udara menggunakan *Termohyrometer USB Datalogger MiSol model DS102* yang dipasang di lokasi penelitian selama 7 bulan. Interval pengambilan data setiap 10 menit, kemudian data yang didapatkan diolah menjadi data rerata harian.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

### Pengambilan data fisiologis tanaman

Aktivitas fisiologis tanaman diamati pada bulan Maret 2022 pada saat tanaman cengkih mulai memasuki fase pembentukan bunga (generatif). Alat pengukur yang digunakan adalah *Photosynthetic Analyzer Li-COR* seri Li-6400XTR. Daun dari tanaman sampel dipilih pada tajuk bagian tengah dengan cabang yang menghadap ke arah timur. Daun dijepit dengan menggunakan chamber yang telah diatur suhunya 30 °C, konsentrasi CO<sub>2</sub> sebesar 380 μmol/mol, defisit tekanan uap dipertahankan sebesar 1,5 kPa, dan cahaya yang digunakan menggunakan cahaya lingkungan. Variabel yang diamati adalah asimilasi CO<sub>2</sub> maksimal (laju fotosintesis, A<sub>max</sub>), karbon interseluler (C<sub>i</sub>), konduktansi stomata (g<sub>s</sub>) dan laju transpirasi (E). Rumus masing-masing variabel tersebut pada

persamaan 1 dan 2,

$$E = \frac{F(W_s - W_r)}{100S(1000 - W_s)} \quad (1)$$

$$A_{max} = \frac{F(C_r - C_s \left( \frac{1000 - W_r}{1000 - W_s} \right))}{100S} \quad (2)$$

Dimana,

- E : Laju transpirasi (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)
- A<sub>max</sub> : Laju fotosintesis (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)
- F : Laju aliran udara (μmol s<sup>-1</sup>)
- W<sub>s</sub> : Fraksi mol air sampel (mmol H<sub>2</sub>O (mol udara)<sup>-1</sup>)
- W<sub>r</sub> : Fraksi mol air referensi (mmol H<sub>2</sub>O (mol udara)<sup>-1</sup>)
- S : Luas daun (cm<sup>2</sup>)
- C<sub>r</sub> : Konsentrasi CO<sub>2</sub> referensi (μmol CO<sub>2</sub> (mol udara)<sup>-1</sup>)
- C<sub>s</sub> : Konsentrasi CO<sub>2</sub> sampel (μmol CO<sub>2</sub> (mol udara)<sup>-1</sup>)

Parameter fisiologis tambahan lainnya adalah kandungan prolin yang diamati dengan menggunakan metode *Bates et al.*, (1973) pada Maret 2022. Sampel daun cengkih dipilih pada cabang di tajuk bagian tengah. Daun yang dipilih adalah daun yang tidak terlalu tua dan sehat. Daun dipotong tanpa tulang daun, ditimbang sebesar 0,5 g, dihaluskan dengan mortar, kemudian dicampur dengan 10 ml asam sulfosalisilat 3 %. Larutan disaring dengan kertas saring *Whatman* nomor 40. Sebanyak 2 ml filtrat dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambah 2 ml asam ninhydrin serta 2 ml asam asetat glasial 100 % kemudian direaksikan pada suhu 100 °C selama 1 jam. Reaksi dihentikan dengan merendam tabung reaksi di dalam es selama 15-20 menit. Larutan toluen sebanyak 4 ml ditambahkan ke dalam tabung reaksi. Larutan kemudian dicampur (*mix*) dengan menggunakan *Vortex mixer* selama 20 detik. Larutan didiamkan sampai fase toluen berpisah dengan fase larutan sampel. Fase toluen diukur absorbennya pada gelombang 520 nm dengan toluen sebagai blangko. Rumus untuk kandungan prolin dihitung dengan persamaan 3.

$$Pro = (64,3649 \times A_{520nm} + (-5,2987)) \times 0,347 \quad (3)$$

Dimana:

A<sub>520nm</sub> : Absorbansi toluen pada panjang 520 nm

## Pengamatan produksi bunga dan minyak cengkih

Panen bunga cengkih dilakukan pada panen raya bulan Agustus 2022. Bunga cengkih yang dipanen adalah bunga yang memiliki tingkat kematangan fisiologis baik dengan ciri-ciri kepala bunga terlihat sudah penuh tetapi belum membuka. Bunga cengkih kemudian ditimbang bobot segarnya dan disisihkan sebanyak 200 g untuk dilakukan penyulingan. Bunga segar yang telah disisihkan kemudian dikeringanginkan hingga kadar air mencapai 5-8%. Minyak atsiri bunga cengkih diperoleh melalui metode destilasi uap. Sebanyak 100 g bunga cengkih kering dimasukkan dalam bejana destilasi uap yang sudah diisi akuades. Sistem pendingin air dialirkan secara perlahan dan dijaga agar air tetap mengalir selama proses penyulingan berlangsung. Bejana yang berisi sampel dipanaskan sampai minyak terekstrak dari jaringan sampel.

Destilat yang dihasilkan merupakan campuran minyak dan air yang selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan corong pisah dengan menunggu waktu kurang lebih 30-45 menit. Minyak atsiri yang sudah dipisahkan kemudian dipisahkan kembali dari sisa air dengan menggunakan Na sulfat anhidrat. Volume minyak yang diperoleh dicatat dan ditetapkan rendemen minyak atsiri yang diperoleh. Untuk mendestilasi minyak atsiri dari 100 g bunga cengkih kering membutuhkan waktu  $\pm$ 8-10 jam. Minyak atsiri yang telah disuling kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan GC-MS untuk peenghitungan kadar eugenol.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Bobot Minyak Atsiri (g)}}{\text{Bobot Sampel (g)}} \times 100 \%$$

## Analisis data

Data yang telah didapatkan dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) pada taraf kesalahan 5%. Apabila terdapat beda nyata antar ketinggian tempat, kemudian dilakukan analisis perbandingan rerata dengan metode LSD Fisher. Penyajian data dibuat dalam bentuk diagram garis dengan mencantumkan *standard error*. Data iklim dan produksi kemudian dianalisis korelasi dan disajikan dalam bentuk korelogram untuk mencari faktor iklim yang berpengaruh terhadap produksi. Proses analisis data ini dilakukan dengan menggunakan

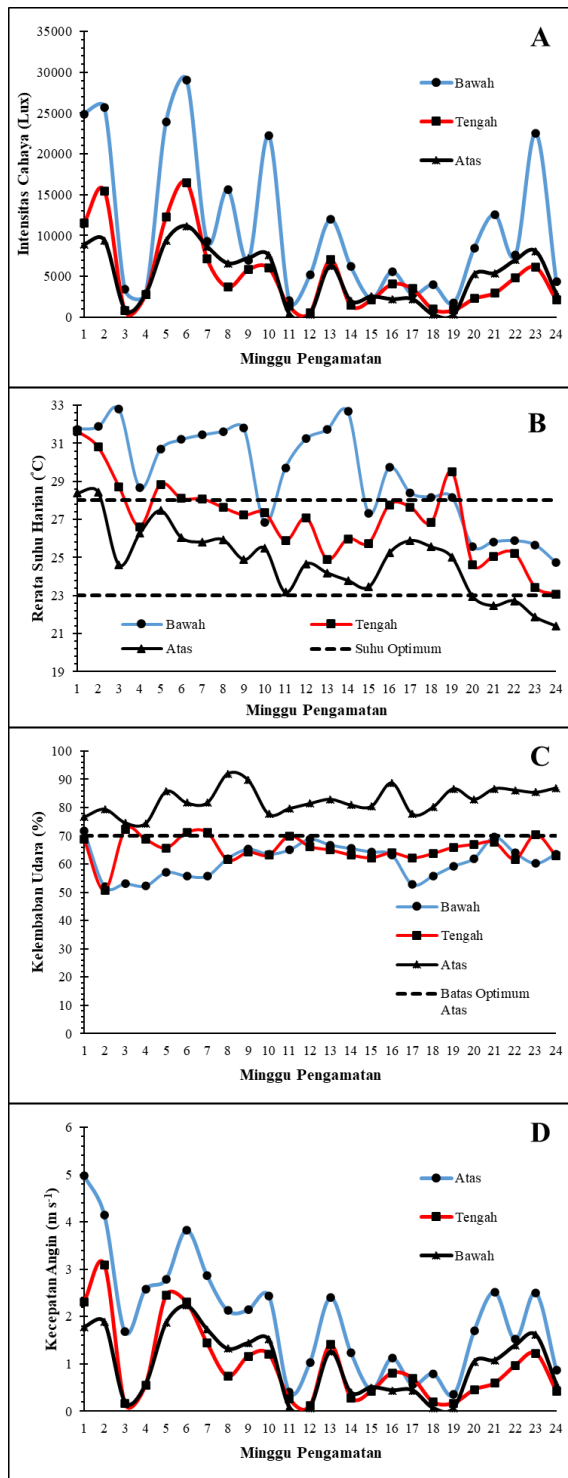
bantuan perangkat lunak *R-software* dan *R-studio* versi 4.3.1.

## Hasil dan Pembahasan

### Mikroklimat pada berbagai ketinggian tempat

Ketinggian tempat sangat berpengaruh terhadap kondisi iklim mikro suatu tempat. Gambar 2 menunjukkan kondisi intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin pada beberapa lokasi penelitian dengan ketinggian tempat yang berbeda. Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa semua variabel iklim mikro di lokasi penelitian menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Le Houérou (2009), tanaman cengkih akan tumbuh optimal pada kisaran suhu udara 23-28 °C. Pada bulan Maret, suhu udara harian relatif cukup tinggi untuk semua lokasi penelitian (Gambar 2B). Akan tetapi, setelahnya ketinggian tempat yang cocok untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman cengkih adalah lokasi tengah dan atas. Pada minggu ke-20, lokasi yang berada di atas memiliki suhu yang kurang optimum untuk tanaman cengkih. Fluktuasi suhu udara pada berbagai ketinggian tempat dipengaruhi oleh intensitas cahaya berdasarkan Gambar 2A. Hubungan korelasi antara kedua variabel iklim mikro ini adalah +0,42 (Gambar 6) yang artinya semakin tinggi intensitas cahaya akan menyebabkan suhu udara menjadi semakin naik.

Tanaman cengkih membutuhkan kelembaban udara di bawah 70 %. Berdasarkan Gambar 2C, lokasi bawah dan tengah sangat cocok untuk pertumbuhan tanaman cengkih, sedangkan untuk lokasi atas tergolong terlalu lembab. Lokasi bawah dan tengah memiliki kelembaban yang relatif rendah akibat pengaruh dari intensitas cahaya yang sampai pada tanaman cengkih (Gambar 2A). Nilai korelasi antara kedua variabel ini adalah sebesar -0,35 dimana kenaikan intensitas cahaya akan menurunkan kelembaban udara di sekitar pertanaman. Untuk variabel kecepatan angin, terlihat bahwa ketinggian tempat yang memiliki kecepatan angin relatif tinggi adalah daerah atas (Gambar 2D). Angin bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Di ketinggian yang lebih tinggi, perbedaan tekanan bisa lebih signifikan, yang dapat mempercepat aliran angin.

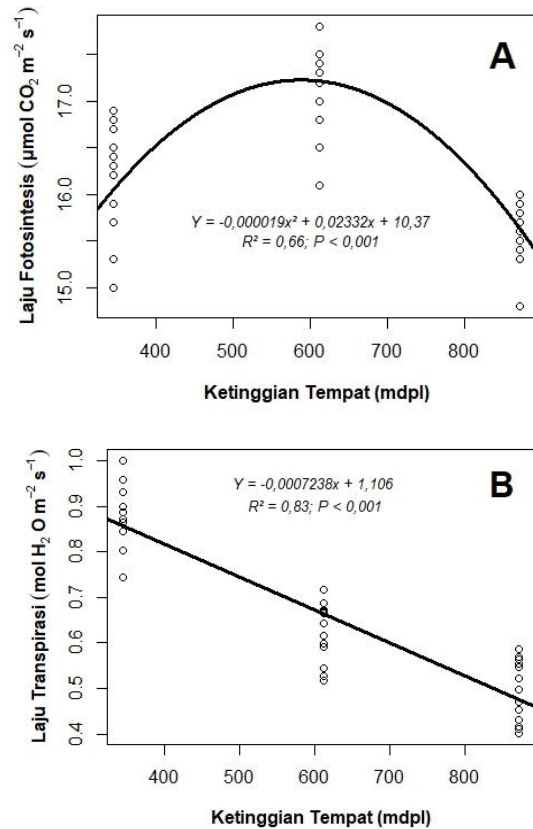


**Gambar 2.** Karakter iklim mikro pada lokasi penelitian

### Fisiologi tanaman Cengkih

Parameter fisiologis laju fotosintesis menunjukkan hubungan kuadratik yang dipengaruhi oleh ketinggian tempat tumbuh

(Gambar 3A). Hubungan kuadratik ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi lokasi tumbuh tanaman cengkih, semakin meningkat aktivitas fisiologisnya. Namun, pada titik tertentu, aktivitas fisiologis tersebut akan menurun drastis. Kemampuan tanaman dalam menjalankan proses fisiologis sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban udara, yang memainkan peran penting dalam proses enzimatik untuk pembentukan energi (asimilasi).



**Gambar 3.** Fotosintesis dan transpirasi tanaman cengkih pada berbagai ketinggian tempat

Berdasarkan Tabel 1, laju fotosintesis tanaman cengkih (A) optimal terjadi di daerah zona menengah. Pada dataran rendah, fotosintesis terhambat akibat menurunnya konduktivitas stomata ( $g_s$ ). Penurunan konduktivitas stomata ini mengurangi kadar  $CO_2$  dalam jaringan daun ( $C_i$ ). Dengan berkurangnya  $CO_2$  sebagai bahan baku, laju fotosintesis juga menurun. Sebaliknya, di dataran tinggi, laju fotosintesis cengkih berada pada tingkat terendah. Meskipun konduktansi stomata di dataran tinggi tidak serendah di dataran rendah, kandungan karbon inter seluler tetap rendah,

mirip dengan di dataran rendah. Hal ini disebabkan oleh seringnya kabut yang menghalangi penetrasi cahaya matahari hingga ke tajuk tanaman cengkih, sehingga proses fotosintesis menjadi kurang efisien.

**Tabel 1.** Variabel fisiologis tanaman cengkih pada berbagai ketinggian tempat

Variabel	Bawah	Tengah	Atas
A	16,05 ± 0,59 b	17,21 ± 0,49 a	15,65 ± 0,32 c
E	0,83 ± 0,05 a	0,77 ± 0,06 a	0,55 ± 0,06 b
gs	0,0039 ± 0,0011 c	0,0401 ± 0,0040 a	0,0353 ± 0,0024 b
Ci	5270 ± 462 b	6003 ± 498 a	4728 ± 1032 b
P	0,345 ± 0,021 a	0,135 ± 0,027 b	0,167 ± 0,005 c

**Keterangan:** P (Prolin), A (Laju Fotosintesis), gs (Konduktansi Stomata), E (Laju Transpirasi), Ci (Karbon Interseleuler). Angka yang ditampilkan berupa rerata ± standar error diikuti oleh notasi. Huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan LSD  $\alpha = 0,05$

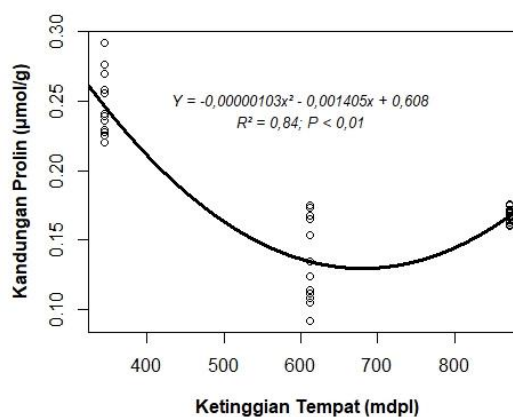
Tanaman cengkih adalah jenis tanaman C3 yang menggunakan siklus Calvin-Benson untuk menghasilkan energi. Pada suhu tinggi di dataran rendah, aktivitas fisiologis cengkih menurun akibat penutupan stomata (Feeley *et al.*, 2023). Hal ini juga berhubungan dengan *heat unit* yang dipengaruhi oleh ketinggian tempat (Kamsurya *et al.*, 2022). Suhu tinggi meningkatkan evapotranspirasi dengan cepat (Cascone *et al.*, 2019), sehingga tanaman cengkih menutup stomata sebagai mekanisme adaptif. Penutupan stomata menghambat suplai CO<sub>2</sub> ke jaringan palisade, yang pada akhirnya menurunkan produksi metabolit primer seperti gula (Moore *et al.*, 2021; Qaderi *et al.*, 2023).

Imbangan antara proses transpirasi dan fotosintesis merupakan kunci penting dalam pembentukan energi pada tanaman cengkih (De Kauwe *et al.*, 2019). Berdasarkan Gambar 3B, laju transpirasi tanaman melambat seiring dengan bertambahnya ketinggian tempat tumbuh. Di zona bawah, tanaman cengkih mengalami transpirasi yang cepat akibat tingginya suhu udara (Gambar 2B). Sebaliknya, di zona atas, transpirasi berjalan lebih lambat karena suhu udara yang rendah dan insidensi

kabut yang tinggi, yang menyebabkan cahaya matahari tersaring sebelum mencapai kanopi tanaman (Tabel 1).

Hasil penelitian ini konsisten dengan studi sebelumnya pada tanaman hutan (Liu *et al.*, 2020), tembakau (Nurnasari & Djumali, 2016), dan jambu mete (Asriyani, 2021). Jika dilihat dari imbangan transpirasi dan fotosintesis (Tabel 1), tanaman cengkih yang tumbuh di zona menengah menunjukkan laju fotosintesis yang optimal dengan laju transpirasi yang tidak terlalu tinggi. Untuk menentukan apakah tanaman cengkih mengalami cekaman, perlu dilakukan analisis prolin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Prolin adalah senyawa osmolit yang diproduksi oleh tanaman untuk mengatasi berbagai jenis cekaman, termasuk cekaman suhu (Macar & Kalefetoğlu Macar, 2018; Rahman *et al.*, 2020). Gambar 4 menunjukkan bahwa tanaman cengkih yang ditanam di zona bawah cenderung memiliki kandungan prolin yang tinggi. Seiring dengan meningkatnya ketinggian, kandungan prolin menurun, tetapi kembali meningkat di zona atas. Tabel 1 mencatat kadar prolin di zona bawah sebesar 0,345 ± 0,021, yang berbeda nyata dengan zona menengah (0,135 ± 0,027) dan zona atas (0,167 ± 0,005).



**Gambar 4.** Kandungan prolin tanaman cengkih pada berbagai ketinggian tempat

Hasil ini sejalan dengan penelitian Istiawan & Kastono (2019), yang menemukan bahwa kandungan prolin daun cengkih di zona menengah adalah yang paling rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman cengkih di zona bawah mengalami cekaman akibat suhu tinggi, sedangkan di zona atas, cekaman

disebabkan oleh suhu rendah. Prolin berperan sebagai osmoprotektan, melindungi sel tanaman dari kerusakan akibat stres suhu tinggi (Li *et al.*, 2014). Prolin membantu menjaga keseimbangan air dalam sel serta melindungi protein dan membran sel dari kerusakan (Cisse *et al.*, 2022; Zandalinas *et al.*, 2018). Sebaliknya, cekaman suhu rendah di zona atas menyebabkan perubahan jalur metabolisme karbohidrat. Tanaman yang toleran terhadap suhu rendah cenderung mengakumulasi sukrosa dan mensintesis protein seperti prolin dan berbagai asam amino bebas lainnya sebagai *cryoprotectant* (Rahman *et al.*, 2020).

**Tabel 2.** Produksi bunga dan minyak atsiri tanaman cengkih pada berbagai ketinggian tempat

Variabel	Bawah	Tengah	Atas
Bobot Segar Bunga (kg)	19,10 ± 1,00 b	22,61 ± 1,42 a	11,86 ± 1,58 c
Volume Minyak (mL)	9,78 ± 0,38 b	14,51 ± 0,14 a	6,46 ± 0,12 c
Rendemen (%)	8,35 ± 0,31 c	15,38 ± 0,15 a	10,81 ± 0,35 b
Eugenol (%)	73,07 ± 2,36 b	77,79 ± 1,24 a	78,98 ± 1,04 a

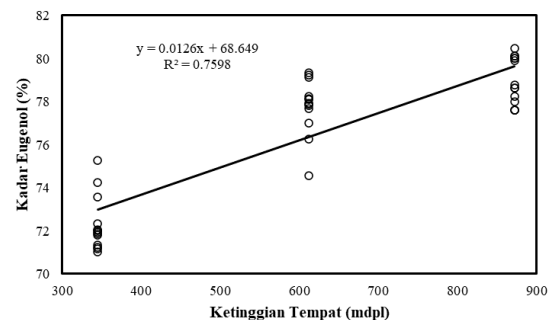
**Keterangan:** Angka yang ditampilkan berupa rerata ± standar error diikuti oleh notasi. Huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata berdasarkan LSD  $\alpha = 0,05$

### Produksi bunga dan minyak atsiri

Tanaman yang mengalami cekaman tidak dapat menjalankan proses fisiologi secara optimal, sehingga produksi yang dihasilkan terpengaruh (Parker *et al.*, 2020). Hal ini tercermin pada Tabel 2, di mana tanaman cengkih di zona bawah dan atas, yang mengalami cekaman, menghasilkan bobot segar bunga per pohon yang nyata lebih sedikit dibandingkan dengan di zona menengah. Menurut Tabel 2, produksi tanaman cengkih tertinggi tercatat di zona menengah, yaitu 22,61 ± 1,42 kg per pohon. Nilai ini berbeda nyata dengan produksi di zona bawah sebesar 19,10 ± 1,00 kg per pohon dan yang terendah di zona atas, yaitu 11,86 ± 1,58 kg per pohon. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kamsurya & Botanri (2022), yang menyatakan bahwa semakin tinggi

zona tumbuh tanaman cengkih, semakin meningkat produksi bunga segarnya. Namun, penelitian ini hanya mencakup elevasi 6-214 mdpl.

Minyak atsiri yang kaya akan eugenol adalah produk penting dari tanaman cengkih (Mahulette *et al.*, 2020). Minyak ini dapat diekstraksi dari hampir semua bagian tanaman cengkih, termasuk bunga, tangkai bunga, daun, ranting, dan batang (Es & Ps, 2016). Berdasarkan Tabel 2, ketinggian tempat optimal untuk produksi minyak cengkih adalah di zona menengah (14,51 ± 0,14 mL). Jika tanaman cengkih ditanam di zona terlalu rendah atau terlalu tinggi, produksi minyak cenderung menurun. Hasil ini konsisten dengan penelitian Kurniawan *et al.*, (2016) dan (Wijaya *et al.*, 2022). Namun, penelitian Istiawan & Kastono (2019) menemukan pola hubungan linear negatif antara ketinggian tempat dan volume minyak atsiri, di mana semakin tinggi tempat tumbuh, semakin sedikit volume minyak yang dihasilkan. Perbedaan hasil ini dapat disebabkan oleh variasi dalam karakter kimia tanah, terutama kandungan bahan organik (Arpiwi *et al.*, 2020; Dacosta *et al.*, 2017).



**Gambar 5.** Kadar eugenol tanaman cengkih pada berbagai ketinggian tempat

Kandungan eugenol, kariofilen, dan humulen dalam minyak cengkih, sebagai metabolit sekunder, dipengaruhi oleh jumlah gula yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Kandar, 2021). Di zona bawah dan atas, proses fotosintesis tanaman cengkih lebih rendah, sehingga karbohidrat yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan di zona menengah. Di zona bawah, hal ini disebabkan oleh cekaman suhu tinggi yang meningkatkan laju transpirasi, menutup stomata, dan menurunkan laju fotosintesis. Sementara di zona atas, suhu rendah

menurunkan aktivitas fotosintesis karena berkurangnya aktivitas enzim RuBP-karboksilase (Galmés *et al.*, 2013; Perdomo *et al.*, 2017). Penurunan aktivitas enzim ini juga mempengaruhi enzim biosintesis eugenol, kariofilen, dan humulen, seperti sinamat 4-hidroksilase dan p-coumarat 3-hidroksilase (Cna’Ani *et al.*, 2015). Aktivitas enzim eugenol sintase juga dipengaruhi oleh suhu; semakin tinggi suhu, semakin rendah aktivitas enzim ini (Rezaie *et al.*, 2020). Namun, penelitian Wang *et al.* (2022) menunjukkan bahwa pada cekaman suhu rendah, produksi eugenol justru meningkat karena peningkatan aktivitas enzim eugenol sintase.

Berdasarkan Tabel 2, rendemen dan kadar eugenol dari bunga cengkih juga dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Rendemen dipengaruhi oleh kandungan bahan dalam bunga cengkih, terutama eugenol. Di zona tinggi, meskipun rendemen bunga cengkih rendah, kadar eugenolnya tinggi (Gambar 5). Hal ini disebabkan oleh ukuran vakuola tanaman cengkih yang besar, yang mengandung banyak air. Kandungan air yang tinggi mengakibatkan rendahnya volume minyak cengkih (Alfikri *et al.*, 2020). Faktor iklim juga mempengaruhi kandungan air dalam tanaman; tanah di zona tinggi tidak mengalami evaporasi setinggi di zona bawah atau menengah, sehingga status lengas tanah terjaga (Odindi & Kakembo, 2011; Wang *et al.*, 2012). Kondisi ini memungkinkan tanaman cengkih mendapatkan lebih banyak air yang didistribusikan ke seluruh bagian tanaman.

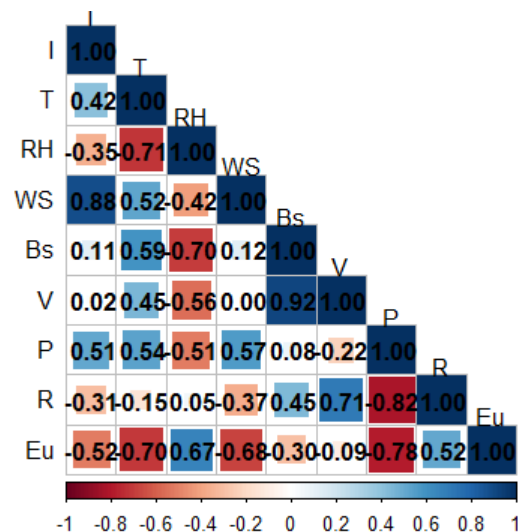
Tanaman cengkih di zona rendah mengalami penurunan rendemen yang lebih besar dibandingkan dengan di zona atas dan menengah (Tabel 2). Hal ini disebabkan oleh rendahnya kandungan lengas tanah akibat tingginya evaporasi. Dengan berkurangnya kandungan lengas, proses fotosintesis dan biosintesis eugenol akan terhambat. Dampak akhir dari proses ini adalah berkurangnya kadar eugenol dalam tanaman (Gambar 5).

### Korelasi variabel mikroklimat dan produksi

Gambar 6 menggambarkan hubungan antara variabel mikroklimat dan produksi tanaman cengkih pada berbagai ketinggian. Berat segar bunga cengkih per pohon (Bs) memiliki korelasi positif yang cukup kuat dengan suhu udara (T) ( $r = 0,59$ ). Hal ini mengindikasikan

bahwa peningkatan suhu udara cenderung meningkatkan berat segar bunga. Sebaliknya, kelembaban udara (RH) berkorelasi negatif signifikan dengan berat segar bunga ( $r = -0,70$ ), yang berarti semakin tinggi kelembaban udara, semakin rendah berat segar bunga yang dihasilkan.

Volume minyak (V) juga menunjukkan korelasi positif dengan suhu udara ( $r = 0,45$ ), mengindikasikan bahwa peningkatan suhu udara cenderung meningkatkan volume minyak yang dihasilkan. Namun, terdapat korelasi negatif dengan kelembaban udara ( $r = -0,56$ ), yang mengarah pada kesimpulan bahwa kelembaban udara yang lebih tinggi cenderung mengurangi volume minyak. Sementara itu, tidak ada variabel mikroklimat yang secara signifikan terkait dengan rendemen (R) minyak cengkih.



**Gambar 6.** Korelasi antara variabel mikroklimat dengan variabel produksi. I : intensitas cahaya, T : suhu udara, RH: kelembaban udara, WS: kecepatan angin, Bs: berat segar bunga per pohon, V: volume minyak, P: kandungan prolin, R: rendemen, Eu: kadar eugenol

Kadar eugenol dalam bunga cengkih (Eu) memiliki korelasi negatif yang kuat dengan intensitas cahaya ( $r = -0,52$ ), suhu udara ( $r = -0,70$ ), dan kecepatan angin (WS) ( $r = -0,68$ ), yang menandakan bahwa peningkatan dalam variabel-variabel ini cenderung menurunkan kadar eugenol. Sebaliknya, kelembaban udara berkorelasi positif dengan kadar eugenol ( $r = 0,67$ ), mengindikasikan bahwa kelembaban yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kadar eugenol dalam bunga cengkih. Secara



keseluruhan, variabel suhu udara dan kelembaban udara memiliki peran dominan dalam memengaruhi produksi cengkih, dimana suhu yang lebih tinggi meningkatkan produksi berat segar bunga dan volume minyak, sementara kelembaban yang lebih tinggi cenderung menurunkan hasil bunga dan minyak, namun meningkatkan kadar eugenol.

## Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa zona ketinggian menengah merupakan lokasi yang paling optimal untuk pertumbuhan dan produksi tanaman cengkih, baik dari segi laju fotosintesis, transpirasi, maupun produksi bunga dan minyak atsiri. Beberapa penelitian mendukung hasil ini, misalnya penelitian oleh Kamsurya & Botanri (2022), yang juga menemukan bahwa tanaman cengkih yang ditanam pada zona ketinggian menengah menghasilkan produksi bunga yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona bawah dan atas. Namun, penelitian tersebut hanya mencakup elevasi 6-214 mdpl, sementara penelitian ini mencakup elevasi yang lebih luas, sehingga memberikan hasil yang lebih komprehensif.

Penelitian sebelumnya oleh Wijaya *et al.*, (2022) menunjukkan adanya hubungan linear negatif antara ketinggian tempat dan volume minyak atsiri, di mana semakin tinggi lokasi tumbuh, semakin rendah volume minyak yang dihasilkan. Hasil ini sebagian besar konsisten dengan temuan penelitian ini, dimana zona atas memang menghasilkan volume minyak yang lebih rendah dibandingkan dengan zona menengah. Namun, perbedaan di zona bawah menunjukkan bahwa ketinggian yang terlalu rendah juga dapat mengurangi produksi minyak.

Kadar eugenol pada penelitian ini menemukan bahwa zona atas dan menengah memiliki kadar eugenol yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona bawah. Hasil ini sejalan dengan penelitian Mahulette *et al.*, (2020) yang menemukan bahwa tanaman cengkih di daerah dengan ketinggian sedang dan tinggi cenderung menghasilkan kadar eugenol yang lebih tinggi. Namun, hasil penelitian Istiawan & Kastono (2019) menunjukkan perbedaan, dimana kadar eugenol menurun dengan bertambahnya ketinggian. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh perbedaan kondisi iklim mikro spesifik, serta

komposisi kimia tanah yang berbeda di masing-masing lokasi penelitian.

Beberapa studi yang kontroversial mengenai pengaruh suhu pada kandungan eugenol dapat ditemukan dalam penelitian Rezaie *et al.* (2020), yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat menurunkan aktivitas enzim eugenol sintase, sehingga mengurangi kadar eugenol. Sebaliknya, penelitian Wang *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman suhu rendah, kadar eugenol justru meningkat karena peningkatan aktivitas enzim ini. Hasil penelitian ini cenderung mendukung temuan Rezaie *et al.*, (2020), karena kadar eugenol ditemukan lebih rendah di zona dengan intensitas cahaya dan suhu udara yang tinggi (zona bawah).

Penelitian lain yang relevan adalah studi oleh Feeley *et al.*, (2023), yang menemukan bahwa tanaman C3 seperti cengkih cenderung menutup stomata pada suhu tinggi untuk mengurangi kehilangan air akibat transpirasi berlebih. Penutupan stomata ini menghambat asupan CO<sub>2</sub> dan menurunkan laju fotosintesis, yang pada akhirnya mempengaruhi produksi metabolit primer seperti gula. Hasil ini konsisten dengan temuan kami di zona bawah, dimana konduktansi stomata yang rendah mengakibatkan laju fotosintesis yang lebih rendah.

## Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian tempat mempengaruhi iklim mikro dan fisiologi tanaman cengkih, yang berdampak pada produksi bunga dan minyak atsiri. Zona menengah adalah zona optimal untuk pertumbuhan dan produksi cengkih. Suhu yang lebih tinggi meningkatkan produksi bunga dan minyak, sementara kelembaban yang lebih tinggi meningkatkan kadar eugenol tetapi menurunkan hasil bunga dan minyak.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada para petani dan penyuluh pertanian lapang di Kecamatan Samigaluh atas kontribusi mereka dalam penyediaan lahan, tenaga, dan pemikiran dalam penelitian ini.

## Referensi

- Alfikri, F. N., Pujiarti, R., Wibisono, M. G., & Hardiyanto, E. B. (2020). Yield, Quality, and Antioxidant Activity of Clove (*Syzygium aromaticum* L.) Bud Oil at the Different Phenological Stages in Young and Mature Trees. *Scientifica*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/9701701>
- Arpiwi, N. L., Muksin, I. K., & Kriswiyanti, E. (2020). Essential oils from *Vitex trifolia* as an effective repellent for *Aedes aegypti*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(10). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211060>
- Asriyani, A. (2021). Identifikasi Sifat Kimia Tanah, Serapan Hara Dan Sifat Pertumbuhan Tanaman Jambu Mete Pada Ketinggian Tempat Berbeda Di Kota Baubau, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 9(2), 98–103. <https://doi.org/10.30869/jtech.v9i2.775>
- Cascone, S., Coma, J., Gagliano, A., & Pérez, G. (2019). The evapotranspiration process in green roofs: A review. *Building and Environment*, 147, 337–355. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.024>
- Cisse, E.-H. M., Zhang, J., Li, D.-D., Miao, L.-F., Yin, L.-Y., & Yang, F. (2022). Exogenous ABA and IAA modulate physiological and hormonal adaptation strategies in *Cleistocalyx operculatus* and *Syzygium jambos* under long-term waterlogging conditions. *BMC Plant Biology*, 22(1), 523. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03888-z>
- Cna' Ani, A., Mühlemann, J. K., Ravid, J., Masci, T., Klempien, A., Nguyen, T. T. H., Dudareva, N., Pichersky, E., & Vainstein, A. (2015). *Petunia* × *hybrida* floral scent production is negatively affected by high-temperature growth conditions. *Plant, Cell & Environment*, 38(7), 1333–1346. <https://doi.org/10.1111/pce.12486>
- Cortés-Rojas, D. F., De Souza, C. R. F., & Oliveira, W. P. (2014). Clove (*Syzygium aromaticum*): A precious spice. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(2), 90–96. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(14\)60215-X](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(14)60215-X)
- Dacosta, M., Sudirga, S. K., & Muksin, I. K. (2017). Perbandingan Kandungan Minyak Atsiri Tanaman Sereh Wangi (*Cymbopogon nardus* L. Rendle) Yang Ditanam Di Lokasi Berbeda. *Simbiosis*, 25. <https://doi.org/10.24843/JSIMBIOSIS.2017.v05.i01.p06>
- De Kauwe, M. G., Medlyn, B. E., Pitman, A. J., Drake, J. E., Ukkola, A., Griebel, A., Pendall, E., Prober, S., & Roderick, M. (2019). Examining the evidence for decoupling between photosynthesis and transpiration during heat extremes. *Biogeosciences*, 16(4), 903–916. <https://doi.org/10.5194/bg-16-903-2019>
- Dusenge, M. E., Duarte, A. G., & Way, D. A. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: Elevated CO<sub>2</sub> and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist*, 221(1), 32–49. <https://doi.org/10.1111/nph.15283>
- Fan, J., Chen, B., Wu, L., Zhang, F., Lu, X., & Xiang, Y. (2018). Evaluation and development of temperature-based empirical models for estimating daily global solar radiation in humid regions. *Energy*, 144, 903–914. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.091>
- Feeley, K. J., Bernal-Escobar, M., Fortier, R., & Kullberg, A. T. (2023). Tropical Trees Will Need to Acclimate to Rising Temperatures—But Can They? *Plants*, 12(17), 3142. <https://doi.org/10.3390/plants12173142>
- Fyllas, N. M., Bentley, L. P., Shenkin, A., Asner, G. P., Atkin, O. K., Díaz, S., Enquist, B. J., Farfan-Rios, W., Gloor, E., Guerrieri, R., Huasco, W. H., Ishida, Y., Martin, R. E., Meir, P., Phillips, O., Salinas, N., Silman, M., Weerasinghe, L. K., Zaragoza-Castells, J., & Malhi, Y. (2017). Solar radiation and functional traits explain the decline of forest primary productivity along a tropical elevation gradient. *Ecology Letters*, 20(6), 730–740. <https://doi.org/10.1111/ele.12771>
- Galmés, J., Aranjuelo, I., Medrano, H., & Flexas, J. (2013). Variation in Rubisco content and

- activity under variable climatic factors. *Photosynthesis Research*, 117(1–3), 73–90. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9861-y>
- Garofalo, P., & Rinaldi, M. (2015). Leaf gas exchange and radiation use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to different deficit irrigation strategies: From solar radiation to plant growth analysis. *European Journal of Agronomy*, 64, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.12.010>
- Harrison, E. L., Arce Cubas, L., Gray, J. E., & Hepworth, C. (2020). The influence of stomatal morphology and distribution on photosynthetic gas exchange. *The Plant Journal*, 101(4), 768–779. <https://doi.org/10.1111/tpj.14560>
- Istiawan, N. D., & Kastono, D. (2019). Pengaruh Ketinggian Tempat Tumbuh terhadap Hasil dan Kualitas Minyak Cengkeh (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & Perry.) di Kecamatan Samigaluh, Kulon Progo. *Vegetalika*, 8(1), 27–41. <https://doi.org/10.22146/veg.35744>
- Kaiser, E., Morales, A., Harbinson, J., Kromdijk, J., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2015). Dynamic photosynthesis in different environmental conditions. *Journal of Experimental Botany*, 66(9), 2415–2426. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru406>
- Kamsurya, M. Y., Ala, A., Musa, Y., & Rafiuddin, R. (2022). Short Communication: Correlation of flowering phenology and heat unit of forest cloves (*Syzygium obtusifolium*) at different elevations in Maluku Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231107>
- Kamsurya, M. Y., & Botanri, S. (2022). Masa Panen dan Produksi Tanaman Cengkeh Hutan (*Syzygium obtusifolium* L.) pada Elevasi Berbeda di Pulau Ambon, Maluku, Indonesia. *JUSTE (Journal of Science and Technology)*, 3(1), 46–54. <https://doi.org/10.51135/justevol3issue1page46-54>
- Kandar, C. C. (2021). Secondary Metabolites from Plant Sources. In D. Pal & A. K. Nayak (Eds.), *Bioactive Natural Products for Pharmaceutical Applications* (Vol. 140, pp. 329–377). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54027-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54027-2_10)
- Kurniawan, A., Rahayu, W. S., & Wahyuningrum, R. (2016). Perbandingan kadar eugenol minyak atsiri daun cengkeh (*Syzygium aromaticum* (L.) Merril & Perry) yang tumbuh di dataran tinggi dan dataran rendah. *Pharmacy*, 6(3). <https://dx.doi.org/10.30595/pji.v6i3.879>
- Le Houérou, H. N. (2009). *Bioclimatology and Biogeography of Africa*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85192-9>
- Li, X., Yang, Y., Sun, X., Lin, H., Chen, J., Ren, J., Hu, X., & Yang, Y. (2014). Comparative Physiological and Proteomic Analyses of Poplar (*Populus yunnanensis*) Plantlets Exposed to High Temperature and Drought. *PLoS ONE*, 9(9), e107605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107605>
- Liu, W., Zheng, L., & 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>
- Macar, O., & Kalefetoğlu Macar, T. (2018). Altitude Triggers Some Biochemical Adaptations of *Polygonum cognatum* Meissn. Plants. *Cumhuriyet Science Journal*, 39(3), 621–627. <https://doi.org/10.17776/csj.375050>
- Mahulette, A. S., Hariyadi, Yahya, S., & Wachjar, A. (2020). Physico-chemical properties of clove oil from three forest clove accession groups in Maluku. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012028>
- Moore, C. E., Meacham-Hensold, K., Lemonnier, P., Slattery, R. A., Benjamin, C., Bernacchi, C. J., Lawson, T., & Cavanagh, A. P. (2021). The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: From enzymes to ecosystems. *Journal of Experimental Botany*, 72(8), 2822–2844. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab090>

- Nurnasari, E., & Djumali, . (2016). Pengaruh Kondisi Ketinggian Tempat Terhadap Produksi dan Mutu Tembakau Temanggung. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 2(2), 45.  
<https://doi.org/10.21082/bultas.v2n2.2010.45-59>
- Odindi, J. O., & Kakembo, V. (2011). The hydrological response of *Pteronia incana*-invaded areas in the Eastern Cape Province, South Africa. *Ecohydrology*, 4(6), 832–840.  
<https://doi.org/10.1002/eco.180>
- Parker, L. E., McElrone, A. J., Ostoja, S. M., & Forrestel, E. J. (2020). Extreme heat effects on perennial crops and strategies for sustaining future production. *Plant Science*, 295, 110397.  
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110397>
- Perdomo, J. A., Capó-Bauçà, S., Carmo-Silva, E., & Galmés, J. (2017). Rubisco and Rubisco Activase Play an Important Role in the Biochemical Limitations of Photosynthesis in Rice, Wheat, and Maize under High Temperature and Water Deficit. *Frontiers in Plant Science*, 8.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00490>
- Pratama, A. P., Darwanto, D. H., & Masyhuri, M. (2020). Indonesian Clove Competitiveness and Competitor Countries in International Market. *Economics Development Analysis Journal*, 9(1), 39–54.  
<https://doi.org/10.15294/edaj.v9i1.38075>
- Qaderi, M. M., Martel, A. B., & Strugnell, C. A. (2023). Environmental Factors Regulate Plant Secondary Metabolites. *Plants*, 12(3), 447.  
<https://doi.org/10.3390/plants12030447>
- Rahman, I. U., Afzal, A., Iqbal, Z., Hart, R., Abd\_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Alsubeie, M. S., Calixto, E. S., Ijaz, F., Ali, N., Kausar, R., Shah, M., & Bussmann, R. W. (2020). Response of plant physiological attributes to altitudinal gradient: Plant adaptation to temperature variation in the Himalayan region. *Science of The Total Environment*, 706, 135714.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135714>
- Razafimamonjison, G., Jahiel, M., Duclos, T., Ramanoelina, P., Fawbush, F., & Danthu, P. (2014). Bud, leaf and stem essential oil composition of *Syzygium aromaticum* from Madagascar, Indonesia and Zanzibar. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 224–233.  
<https://doi.org/10.14419/ijbas.v3i3.2473>
- Rezaie, R., Abdollahi Mandoulakani, B., & Fattahi, M. (2020). Cold stress changes antioxidant defense system, phenylpropanoid contents and expression of genes involved in their biosynthesis in *Ocimum basilicum* L. *Scientific Reports*, 10(1), 5290.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-62090-z>
- Sholikah, L. N., Nisa, Z. K., Pratama, B. F., Pradipta, A. G., Ngadisih, Susanto, S., Prihanantya, A. S., Tirtalistyani, R., & Arif, S. S. (2021). Identification of agricultural land use change based on machine learning for regional food security analysis in the mountainous region of Kulon Progo regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 922(1), 012060.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/922/1/012060>
- Valipour, M. (2015). Importance of solar radiation, temperature, relative humidity, and wind speed for calculation of reference evapotranspiration. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(2), 239–255.  
<https://doi.org/10.1080/03650340.2014.925107>
- Wang, S., Fu, B. J., Gao, G. Y., Yao, X. L., & Zhou, J. (2012). Soil moisture and evapotranspiration of different land cover types in the Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2883–2892.  
<https://doi.org/10.5194/hess-16-2883-2012>
- Wang, S., Zhou, D., Shi, M., Feng, H., Xie, X., Sun, P., Xue, H., Fang, C., & Zhao, J. (2022). Expression patterns of four key genes involved in strawberry eugenol synthesis under abiotic stresses. *Acta Ecologica Sinica*, 42(1), 68–75.  
<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.02.010>

- 
- Wijaya, L. G. A. S., Arpiwi, N. L., & Astarini, I. A. (2022a). Analisis Minyak Atsiri Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) Dari Tempat Tumbuh Dengan Ketinggian Yang Berbeda. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 9(2), 360. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2022.v09.i02.p15>
- Wijaya, L. G. A. S., Arpiwi, N. L., & Astarini, I. A. (2022b). Analisis Minyak Atsiri Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) Dari Tempat Tumbuh Dengan Ketinggian Yang Berbeda. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 9(2), 360. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2022.v09.i02.p15>
- Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*, 162(1), 2–12. <https://doi.org/10.1111/ppl.12540>
- Zhang, Y., Henke, M., Buck-Sorlin, G. H., Li, Y., Xu, H., Liu, X., & Li, T. (2021). Estimating canopy leaf physiology of tomato plants grown in a solar greenhouse: Evidence from simulations of light and thermal microclimate using a Functional-Structural Plant Model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108494. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108494>