

**KARAKTER FISILOGI, KUALITAS, DAN METABOLIT SEKUNDER
RIMPANG KENCUR (*Kaempferia galanga* L.) PADA AGROEKOLOGI
BERBEDA UNTUK MENDAPATKAN AKSESI UNGGUL**

SUBARYANTI



**BIOLOGI TUMBUHAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Karakter Fisiologi, Kualitas, dan Metabolit Sekunder Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L.) pada Agroekologi Berbeda untuk Mendapatkan Akses Unggul” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Februari 2021

Subaryanti
G363150051

RINGKASAN

SUBARYANTI. Karakter Fisiologi, Kualitas, dan Metabolit Sekunder Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L.) pada Agroekologi Berbeda untuk Mendapatkan Aksesori Unggul. Dibimbing oleh TRIADIATI, YOHANA C. SULISTYANINGSIH, dan DYAH ISWANTINI PRADONO.

Kencur (*Kaempferia galanga* L.) adalah terna aromatik yang tergolong keluarga Zingiberaceae, tanaman obat potensial ini banyak dibudidayakan karena merupakan tanaman yang multifungsi. Bagian yang bernilai ekonomi dari kencur adalah rimpang dan digunakan di berbagai industri. Peluang pengembangan budidaya kencur cukup terbuka mengingat banyaknya manfaat dari tanaman ini.

Parameter mutu rimpang kencur antara lain kadar air, kadar pati, kadar serat, kadar minyak atsiri, dan kadar abu. Kadar minyak atsiri dalam rimpang kencur berkisar antara 2,5–3,8% dengan komponen utamanya etil-p-metoksisinamat (EPMS) tidak kurang dari 4,3%. Aroma dan rasa yang khas pada kencur merupakan salah satu bagian yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, intensitas aroma dan rasa tersebut didominasi oleh senyawa turunan asam sinamat. Asam sinamat merupakan metabolit sekunder dari golongan fenol yang secara genetik dikendalikan oleh faktor lingkungan salah satunya adalah intensitas cahaya.

Kencur dapat tumbuh mulai dari dataran rendah sampai dengan ketinggian 1000 m dpl, namun sampai sejauh mana kemampuannya tumbuh di dataran tinggi masih perlu dipelajari. Kencur dapat tumbuh optimal pada ketinggian 50–600 m dpl, bahkan pada ketinggian lebih dari 600 m dpl masih menunjukkan pertumbuhan yang baik, meskipun terjadi penurunan hasil.

Data keragaman hasil dan mutu berbagai varietas, ekotipe atau *landrace* tanaman kencur yang dibudidayakan di Indonesia sampai saat ini belum tersedia. Varietas unggul (Galesia 1, Galesia 2, dan Galesia 3) yang ada adaptif pada ketinggian 50–600 m dpl, sementara itu informasi tentang pertumbuhan, hasil, dan mutu kencur pada ketinggian di atas 600 m dpl masih sangat terbatas. Dengan demikian perlu dilakukan eksplorasi dan seleksi sumberdaya genetik kencur sebagai upaya untuk mendapatkan keragaman hasil dan mutu dari berbagai lokasi di Indonesia, khususnya di pulau Jawa sebagai sentra produksi kencur. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan aksesori kencur yang memiliki bobot rimpang dan kadar EPMS tinggi sehingga berpeluang menjadi kandidat varietas unggul.

Penelitian dilakukan dalam 4 kegiatan yaitu (1) *desk-study* dan survei lapang untuk menentukan lokasi penelitian dan eksplorasi, (2) eksplorasi sumber daya genetik kencur, (3) analisis karakter fisiologi, hasil, dan mutu rimpang aksesori kencur, dan (4) analisis profil senyawa metabolit dan identifikasi lokasi metabolit sekunder dalam rimpang aksesori kencur. Pada penelitian ini dilakukan uji terhadap 2 lokasi dari 7 aksesori kencur yaitu Purbalingga (PBG), Cilacap (CLP), Purworejo (PWJ), Karanganyar (KRA), Pacitan (PCT), Madiun (MAD), dan varietas pembandingan Galesia 2 (GAL 2) di Darmaga dan Cisarua Bogor dengan ketinggian masing-masing 214 dan 780 m dpl yang mewakili dataran rendah dan tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dataran rendah meningkatkan karakter fisiologi berupa luas daun, laju fotosintesis, laju transpirasi, dan konduktansi stomata, sedangkan dataran tinggi meningkatkan klorofil total dan kadar gula

rimpang kencur. Dataran rendah juga meningkatkan bobot rimpang segar sebesar 1448,7 g/rumpun dihasilkan dari aksesori PBG. Sebaliknya, dataran tinggi meningkatkan kadar gula sebesar 3,8% dihasilkan dari aksesori PBG. Kemudian kandungan fenol total tertinggi dihasilkan dari aksesori PWJ sebesar 26,8 mg GAE/g ekstrak. Pada dua lokasi penelitian rendemen tertinggi dihasilkan oleh aksesori PBG sebesar 5,1% di dataran tinggi. Di dataran rendah, aksesori MAD menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 2,7%. Ketujuh aksesori kencur memiliki kecenderungan yang berbeda dalam menghasilkan senyawa EPMS. Lokasi penanaman mempunyai pengaruh berbeda terhadap kandungan senyawa bioaktif kencur.

Senyawa EPMS tertinggi dihasilkan oleh aksesori PBG di dataran tinggi sebesar 74,8% dan di dataran rendah dihasilkan oleh aksesori PCT sebesar 71,6%. Dataran rendah meningkatkan jumlah dan komposisi senyawa metabolit sekunder. Profil metabolit sekunder mengelompokkan aksesori berdasarkan jumlah senyawa metabolitnya ke dalam dua kelompok. Kelompok I terdeteksi 18 senyawa dengan senyawa penciri genkwanin pada aksesori PCT, sedangkan kelompok II terdeteksi 8 senyawa dari dataran rendah dan 18 senyawa dari dataran tinggi. Kelompok II memiliki senyawa penciri curdion dari aksesori CLP, EPMS dan turmeron dari aksesori PBG, galanganol dan oleamide dari GAL 2.

Dataran rendah meningkatkan kerapatan sel idioblas (metabolit sekunder) rimpang kencur pada jaringan empulur. Kerapatan sel idioblas tertinggi dihasilkan oleh aksesori PCT (90,5 sel/mm²) di dataran rendah, sedangkan dari dataran tinggi dihasilkan oleh aksesori PBG (77,1 sel/mm²). Kencur aksesori PBG memiliki hasil dan mutu yang konsisten di dua lokasi penelitian. Berdasarkan produksi rimpang dan kandungan EPMSnya, maka aksesori PBG adalah terbaik.

Simpulan dari hasil penelitian adalah bahwa dataran rendah memengaruhi karakter fisiologi aksesori kencur pada luas daun, laju fotosintesis, laju transpirasi, dan konduktansi stomata, sedangkan klorofil total dan kadar gula rimpang dipengaruhi oleh dataran tinggi. Dataran rendah meningkatkan produksi rimpang, namun menurunkan kadar dan rendemen minyak atsiri serta EPMS. Dataran rendah meningkatkan jumlah metabolit sekunder. Profil metabolit sekunder terbagi dua kelompok, kelompok I ada 18 senyawa (dataran rendah), kelompok II ada 8 senyawa (dataran rendah) dan 18 senyawa (dataran tinggi). Dataran rendah meningkatkan kerapatan sel idioblas tempat minyak atsiri tersimpan di jaringan empulur rimpang kencur. Aksesori Purbalingga (PBG) lebih unggul dalam hal bobot rimpang, rendemen minyak atsiri, dan EPMS.

Perlu penelitian lebih lanjut untuk hasil dan mutu pada kencur aksesori Purbalingga (PBG) dan Pacitan (PCT) di lokasi penelitian lain dengan musim tanam berulang untuk menguji aksesori-aksesori tersebut agar dapat dijadikan kandidat varietas unggul baru. Rekomendasi yang diajukan adalah bahwa aksesori PBG dengan produksi rimpang dan kadar EPMS yang tinggi dapat dijadikan aksesori unggul.

Katakunci: agroekologi, EPMS, kencur, profil metabolit, sel idioblas

SUMMARY

SUBARYANTI. Physiological Characters, Quality, and Secondary Metabolites of Galangal Rhizome (*Kaempferia galanga* L.) at Different Agroecology to Obtained Superior Accession. Supervised by TRIADIATI, YOHANA C. SULISTYANINGSIH, and DYAH ISWANTINI PRADONO.

Galangal (*Kaempferia galanga* L.) is an aromatic herb belonging to the family Zingiberaceae, this potential medicinal plant is widely cultivated because it is a multifunctional plant. The economically valuable part of galangal is its rhizome and is used in various industries. Opportunities in developing galangal cultivation are quite open considering the large variety of benefits of this plant.

Galangal rhizome quality parameters include moisture content, starch content, fiber content, essential oil content, and ash content. The essential oil in galangal rhizome ranges from 2,5–3,8% with the main component ethyl-p-methoxycinnamate (EPMC) not less than 4,3%. The distinctive aroma and taste of galangal is one part that is influenced by environmental factors, the intensity of the aroma and taste is dominated by cinnamic acid derivatives. Cinnamic acid is a secondary metabolite of the phenol group which is genetically regulated by environmental factors especially light intensity.

Galangal can grow from the lowlands to an altitude of 1000 m above sea level (asl), but to what extent its ability to grow in the highlands still needs to be studied. Galangal can grow optimally at an altitude of 50–600 m asl, even at an altitude of more than 600 m asl, it still shows good growth despite a decrease in yield.

Until now, data on yield diversity and quality of various varieties, ecotypes or landraces of galangal cultivated in Indonesia are not yet available. The superior varieties (Galesia 1, Galesia 2, and Galesia 3) are adaptive at an altitude of 50–600 m asl, while information on growth, yield, and quality of galangal at an altitude of more than 600 m asl is still very limited. Thus, it is necessary to explore and select galangal genetic resources as an effort to obtain a variety of yields and quality from various locations in Indonesia, especially in Java as a production center for galangal. The aim of this research is to obtained galangal accession which has high rhizome weight and EPMC content so that it has the opportunity to become a candidate for superior varieties.

The research was carried out in 4 activities, namely (1) desk-study and field survey to determine research locations and exploration locations, (2) exploration of galangal genetic resources, (3) analysis of physiological responses, yields, and quality of galangal accession rhizomes, and (4) analysis of metabolite compound profiles and identification of secondary metabolite locations in galangal accession rhizome. In this study, tests were carried out on 2 locations from 7 accessions of galangal, namely Purbalingga (PBG), Cilacap (CLP), Purworejo (PWJ), Karanganyar (KRA), Pacitan (PCT), Madiun (MAD), and comparison varieties Galesia 2 (GAL 2) in Dramaga and Cisarua Bogor with altitudes respectively 214 and 780 m asl representing the low and highlands.

The lowlands increase physiological characters in the form of leaf area, photosynthesis rate, transpiration rate, and stomatal conductance, while highlands increase total chlorophyll and sugar content. The lowlands also increased fresh

rhizome weight by 1448,7 g/clump resulting from PBG accession. Conversely, the highlands increased sugar content by 3,8% resulting from PBG accession. Then the highest total phenol content was produced from PWJ accession, namely 26,8 mg GAE/g extract. In the two locations the highest yield by PBG accession was 5,1% in the highlands. In the lowlands, MAD accession produced the highest yield of 2,7%. The yield of 5,1% was the highest yield produced by PBG accession from the lowlands. The seven accessions of galangal had different tendencies in producing EPMC compounds. The location of planting has a different effect on the content of galangal bioactive compounds.

The highest EPMC compound was produced by PBG accession in the highlands of 74,8% and in the lowlands it was produced by PCT accession of 71,6%. The lowlands increase the number of secondary metabolite compounds. The secondary metabolite profile shows the grouping of accessions based on the metabolite compounds divided into two groups. Group I detected 18 compounds with genkwanin of marker metabolites in PCT accession, while group II detected 8 compounds from the lowlands and 18 compounds from the highlands. Group II had curdion of marker metabolites from CLP accession, EPMC and turmerone from PBG accession, galanganol and oleamide from GAL 2.

The lowlands increase the density of idioblast cells (secondary metabolites) of galangal rhizome in the pith tissue. The highest idioblast cell density was produced by PCT accession (90,5 cells/mm²) grown in the lowlands, whereas from the highlands it was produced by PBG accession (77,1 cells/mm²). The PBG accession had consistent results and quality across the two locations. Based on rhizome production and EPMC content, the best galangal accession is PBG accession.

The result showed that lowland affects the physiological characters of galangal accession on leaf area, photosynthesis rate, transpiration rate, and stomatal conductance, while total chlorophyll and rhizome sugar content are influenced by highland. Lowlands increase rhizome production, but reduce levels and yields of essential oils and EPMC. Lowlands increase the number of secondary metabolites. The secondary metabolite profile were divided into two groups, group I there are 18 compounds (lowlands), group II there are 8 compounds (lowlands) and 18 compounds (highlands). The lowlands increase the density of idioblast cells where essential oil is stored in the pith tissue of the galangal rhizome. Accession Purbalingga (PBG) was superior in terms of rhizome weight, essential oil yield, and EPMC.

The further research is needed for yield and quality on Purbalingga (PBG) and Pacitan (PCT) accessions in other research locations with repeated planting seasons to test these accessions so that they can be used as candidates for new superior varieties. The recommendation put forward was that PBG accession with rhizome production and high levels of EPMC could be used as superior accession.

Keywords: agroecology, EPMC, galangal, idioblast cells, metabolite profile

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2021
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**KARAKTER FISILOGI, KUALITAS, DAN METABOLIT SEKUNDER
RIMPANG KENCUR (*Kaempferia galanga* L.) PADA AGROEKOLOGI
BERBEDA UNTUK MENDAPATKAN AKSESI UNGGUL**

SUBARYANTI

Disertasi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Biologi Tumbuhan

**BIOLOGI TUMBUHAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Sandra Arifin Aziz, M.S.
- 2 Dr. Oti Rostiana, M.Sc.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Sandra Arifin Aziz, M.S.
- 2 Dr. Oti Rostiana, M.Sc.

Judul Disertasi : Karakter Fisiologi, Kualitas, dan Metabolit Sekunder Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L.) pada Agroekologi Berbeda untuk Mendapatkan Akses Unggul
Nama : Subaryanti
NIM : G363150051

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Dra. Triadiati, M.Si.



Pembimbing 2:
Dr. Dra. Yohana Caecilia Sulistyaningsih, M.Si.



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Dra. Dyah Iswantini Pradono, M.Sc.Agr.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono, D.E.A.
NIP 196111201987031005

Dekan Sekolah Pascasarjana :
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng.
NIP 196004191985031002





Tanggal Ujian: 5 November 2020

Tanggal Lulus: 10 Desember 2020

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2016 sampai bulan Agustus 2019 ini ialah karakter fisiologi tanaman kencur, dengan judul “Karakter Fisiologi, Kualitas, dan Metabolit Sekunder Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L.) pada Agroekologi Berbeda untuk Mendapatkan Akses Unggul”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Dra. Triadiati, M.Si, Dr. Dra. Yohana Caecilia Sulistyaningsih, M.Si, dan Prof. Dr. Dra. Dyah Iswantini Pradono, M.Sc.Agr yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada penguji luar komisi pembimbing, Prof. Dr. Ir. Sandra Arifin Aziz, M.S dan Dr. Oti Rostiana, M.Sc yang telah mengoreksi dan memberi saran demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada:

- 1 Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) Tahun 2015
- 2 Ketua Program Studi Biologi Tumbuhan IPB (Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono, D.E.A) dan sekretaris Program Studi Biologi Tumbuhan IPB (Dr. Dra. Triadiati, M.Si) atas dukungan serta arahnya kepada penulis selama menjalani studi
- 3 Dosen-dosen Program Doktor pada Program Studi Biologi Tumbuhan IPB yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan program Doktor
- 4 Rektor Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) Jakarta (Dr. Dra. Lili Musnelina, M.Si, Apt) dan Dekan Fakultas Farmasi ISTN Jakarta (Dr. Dra. Refdanita, M.Si, Apt) yang telah mengijinkan penulis untuk melanjutkan sekolah program Doktoral di IPB Bogor
- 5 Bapak dan Ibu penyuluh petani kencur di Jawa Tengah antara lain dari Kabupaten Purbalingga (Bapak Wahidin dan Bapak Basmin), Kabupaten Cilacap (Bapak Amsiran-Lurah Karang Pucung dan Bapak Wasiran), Kabupaten Purworejo (Ibu Hartati Handayani dan Bapak Paimun), Kabupaten Karanganyar (Bapak Suparman-Ketua Klaster Biofarmaka), serta dari Jawa Timur yaitu dari Kabupaten Pacitan (Ibu Tatik dan Mbah Yoso Utomo), dan Kabupaten Madiun (Bapak Imran) yang telah membantu penulis dalam pengadaan bibit kencur
- 6 Staf Laboratorium Fisiologi Tumbuhan FMIPA IPB (Bapak Asep), staf Laboratorium Terpadu FMIPA IPB (Ibu Retno), staf Laboratorium Kimia Analitik FMIPA IPB (Ibu Nunung, Bapak Eman, dan Bapak Dede), staf Laboratorium Uji Balitro Cimanggu Bogor (Ibu Nurfah), dan staf Laboratorium Pusat Studi Biofarmaka Tropika IPB (Ibu Nunuk, S.Si, Apt) yang telah membantu penulis dalam pengambilan data di laboratorium
- 7 Staf Rumah Kaca (*Green House*) Departemen Biologi FMIPA IPB (Bapak Adi Supardi), staf di lahan Cisarua Bogor (Alm Bapak Amir, Mang Asep, dan Mang Dede) yang telah membantu penulis selama penelitian di lapang

- 8 Staf Laboratorium Riset Unggulan (*Advanced Laboratory*) IPB (Dewi Anggraini Septaningsih, S.Si, M.Si) yang telah membantu penulis dalam bentuk pendampingan selama pengambilan data analisis LC-MS
- 9 Dr. Turhadi Suparno, M.Si (Mas Turhadi) yang telah membantu penulis dalam pengolahan data statistik (analisis data)
- 10 Teman-teman Laboratorium Fisiologi Tumbuhan dan Laboratorium Ekologi dan Sumber Daya Tumbuhan (EKO-SDT) Departemen Biologi FMIPA IPB yang telah membantu penulis dalam uji histokimia
- 11 Teman-teman seangkatan dan seperjuangan penerima beasiswa BPPDN untuk dosen tahun 2015 yaitu Dr. Gunawan, M.Si, Dr. Ritha Lusian Karuwal, M.Si, Rita Ningsih, M.Si, dan Rudi Heryanto, M.Si yang telah memberikan semangat, motivasi, dan perhatiannya untuk membagi suka maupun duka bersama.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah (Alm Bachrun Tjasman), ibu (Hj. Sarinah Aisah), suami (Ir. Antoni Tanjung), anak-anakku (Akbar Januarsyah, S.Kom beserta istri tercinta Dina Wildan Ramadhanti, S.E, Ahmad Rasis Fadhlán, S.Pd, Akhmad Irsyad Ibrahim, dan Syafira Nur Shabrina) yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya kepada penulis selama menjalani pendidikan program Doktor di Program Studi Biologi Tumbuhan Institut Pertanian Bogor, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas bantuannya selama penelitian hingga selesainya penulisan karya ilmiah ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Februari 2021

Subaryanti

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Kebaruan (<i>novelty</i>)	5
1.6 Ruang Lingkup	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Klasifikasi, Botani dan Syarat Tumbuh Tanaman Kencur	7
2.2 Manfaat dan Kandungan Kimia Tanaman Kencur	8
2.3 Pengaruh Ketinggian Tempat terhadap Pertumbuhan, Hasil dan Mutu Tanaman	9
2.4 Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Fisiologi Tanaman	10
2.5 Proses Fotosintesis pada Tanaman	12
2.6 Mekanisme Translokasi Fotosintat pada Tanaman	13
2.7 Metabolomik	14
2.8 Struktur Sekretori dan Uji Histokimia	15
III METODE	16
3.1 Waktu dan Tempat	16
3.2 Bahan dan Alat	16
3.3 Rancangan Percobaan	18
3.4 Pelaksanaan Penelitian	18
3.5 Pengukuran Peubah Vegetatif	19
3.6 Pengukuran Peubah Fisiologi	19
3.7 Pengukuran Peubah Komponen Hasil dan Mutu	19
3.8 Analisis Data	21
3.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam	21
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	24
4.2 Karakter Fisiologi	25
4.3 Komponen Hasil dan Mutu	34
V SIMPULAN DAN SARAN	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	87
RIWAYAT HIDUP	98

DAFTAR TABEL

1	Aksesi-aksesi tanaman kencur, asal daerah, dan kondisi lingkungannya	17
2	Hasil analisis ragam karakter fisiologi kencur pada agroekologi berbeda	22
3	Hasil analisis ragam komponen hasil dan mutu pada agroekologi berbeda	23
4	Kondisi umum lokasi penelitian	24
5	Jumlah daun aksesi kencur pada umur dan ketinggian berbeda	25
6	Luas daun aksesi kencur pada umur dan ketinggian berbeda	27
7	Parameter fotosintesis aksesi kencur pada umur dan lokasi berbeda	28
8	Kandungan klorofil total aksesi kencur pada umur dan lokasi berbeda	32
9	Kadar gula rimpang aksesi kencur umur 12 BST pada lokasi berbeda	33
10	Bobot rimpang segar aksesi kencur umur 12 BST pada lokasi berbeda	34
11	Bobot kering aksesi kencur umur 12 BST pada lokasi berbeda	37
12	Kadar fenol total rimpang aksesi kencur pada umur 12 BST	38
13	Kadar dan rendemen minyak atsiri rimpang aksesi kencur umur 12 BST	39
14	Kerapatan sel idioblas rimpang aksesi kencur umur 12 BST	43
15	Komponen senyawa kimia penyusun minyak atsiri rimpang aksesi kencur dengan GC-MS	45
16	Beberapa hasil penelitian terkait komponen minyak atsiri dengan GC-MS	48
17	Hasil uji histokimia beberapa spesies dari famili Zingiberaceae	56

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian	6
2	Bentuk daun dan rimpang tanaman kencur	7
3	Struktur kimia senyawa EPMS kencur	9
4	Persentase golongan monoterpen hasil analisis GC-MS	46
5	Persentase golongan fenol hasil analisis LC-MS	51
6	Uji histokimia pada potongan melintang rimpang aksesi kencur	52
7	Uji histokimia pada potongan membujur rimpang aksesi kencur	53
8	Profil <i>heatmap</i> senyawa metabolit rimpang aksesi kencur terpilih	57

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data iklim di Darmaga Bogor pada ketinggian 214 m dpl dari bulan Juni 2017–Mei 2018	88
2	Data iklim di Cisarua Bogor pada ketinggian 780 m dpl dari bulan Juni 2017–Mei 2018	88
3	Hasil analisis tanah di dua lokasi penelitian	89
4	Deskripsi kencur varietas Galesia 2 (GAL 2)	90
5	<i>Database</i> senyawa metabolit rimpang kencur sebagai acuan untuk analisis LC-MS	91
6	Senyawa-senyawa metabolit yang terdeteksi melalui analisis LC-MS	94
7	Profil senyawa metabolit rimpang aksesori kencur terpilih yang terdeteksi melalui analisis LC-MS	95
8	Rekapitulasi hasil analisis ragam	96

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Famili Zingiberaceae merupakan kelompok tanaman yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku obat tradisional, bumbu dan rempah, pewarna makanan dan kain, industri makanan, antimikroba, dan insektisida (Gowda *et al.* 2012; Velayudhan *et al.* 2012; Jan *et al.* 2012; Harit *et al.* 2013; Tripathi *et al.* 2013; Tavares *et al.* 2013). Salah satu tanaman obat yang potensial untuk dibudidayakan dari famili Zingiberaceae adalah kencur (*Kaempferia galanga* L.) karena merupakan tanaman yang multifungsi. Kencur juga memiliki prospek pasar cukup baik karena merupakan bahan baku industri penting di dalam negeri baik untuk obat tradisional seperti mengatasi gangguan pencernaan, saluran pernafasan dan campuran ramuan afrodisiak, juga digunakan untuk industri kosmetika berbasis bahan alam, sehingga sangat potensial dikembangkan di sektor hilir dalam bentuk ekstrak, minyak, dan suplemen makanan atau minuman (Anonim 2007).

Wilayah pengembangan kencur di Indonesia meliputi 34 propinsi. Delapan propinsi di antaranya adalah wilayah dengan produksi kencur tertinggi yaitu Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Banten, dan Kalimantan Selatan. Luas panen kencur pada tahun 2019 mencapai 243 ha dengan rata-rata produksi 1,45 kg/m², masih lebih rendah dari jahe dan kunyit yaitu berturut-turut 2,16 dan 2,36 kg/m² dari masing-masing luas areal penanaman yaitu 807 ha untuk jahe dan 810 ha untuk kunyit (BPS 2019). Produksi tersebut belum mampu memenuhi permintaan pasar sebagai bahan baku industri obat dan kosmetik di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan pasokan simplisia kencur di dalam negeri sebagian dipenuhi oleh kencur impor dari Cina, Malaysia, Thailand, India, Vietnam, Pakistan, dan Myanmar meskipun mutu simplisia kencur impor tersebut belum tentu memenuhi standar industri besar di Indonesia (Putri *et al.* 2014; Anonim 2014). Dengan meningkatnya minat masyarakat terhadap obat bahan alam, diperlukan pasokan bahan baku yang konsisten dengan mutu yang sesuai kebutuhan industri melalui usaha budidaya.

Salah satu upaya untuk mendapatkan produk kencur yang bermutu yaitu diperlukannya bahan tanaman yang terjamin tingkat produksi dan mutunya. Sampai saat ini baru ada 3 varietas unggul kencur yang dilepas (Galesia 1, Galesia 2, dan Galesia 3). Informasi ini mendorong dilakukannya penelitian kencur yang dieksplorasi dari berbagai daerah dengan kondisi agroekologi berbeda. Dari akses-aksesi tersebut belum diketahui karakter fisiologi, hasil dan mutunya sehingga perlu dilakukan identifikasi untuk melengkapi informasi data masing-masing akses dengan memperhatikan faktor iklim terutama tinggi tempat di atas permukaan laut (dpl), suhu, radiasi matahari, curah hujan, dan kesuburan tanah.

Parameter mutu rimpang kencur menurut Anonim (1977) antara lain kadar air, kadar pati, kadar serat, kadar minyak atsiri, dan kadar abu. Minyak atsiri dalam rimpang kencur berkisar antara 2,5–3,8% dengan komponen utamanya etil-p-metoksisinamat (EPMS) tidak kurang dari 4,3% (Anonim 2004). Komponen kimia lainnya adalah *pentadecane*, *1,8-cineole*, *γ -carene*, *pinene*, *camphene*, *thymol*, *methyl cinnamate*, *cubenol*, *selinonol*, *α -terpineol*, *α -bisabolol*, *palmitic acid*, dan *borneol* (Preetha *et al.* 2016; Yang *et al.* 2018; Srivastava *et al.* 2019). Aroma dan rasa yang khas pada kencur merupakan salah satu bagian yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, intensitas aroma dan rasa tersebut didominasi oleh senyawa turunan asam sinamat. Asam sinamat merupakan metabolit sekunder dari golongan fenol yang secara genetik diatur oleh faktor lingkungan dan salah satunya adalah intensitas cahaya matahari (Tripathi *et al.* 2013).

Monoterpenoid merupakan golongan senyawa kimia utama kencur, terdiri dari beberapa komponen kimia yang memiliki aktivitas biologis. Salah satunya adalah etil-p-metoksisinamat (EPMS), yang mempunyai khasiat sebagai antikanker (Ekowati *et al.* 2010), antibakteri (Lakshmanan *et al.* 2011), dan antifungi (Omar *et al.* 2014). Senyawa EPMS ($C_{12}H_{14}O_3$) adalah suatu ester yang mengandung cincin benzena dan gugus metoksi yang bersifat non polar dan mengandung gugus karbonil yang mengikat etil bersifat agak polar menyebabkan senyawa ini mampu larut dalam beberapa pelarut dengan kepolaran bervariasi seperti etanol, etil asetat, metanol, air, dan heksana (Ekowati *et al.* 2017). Senyawa ini berbentuk kristal putih, merupakan turunan asam sinamat yaitu senyawa fenol alam yang mempunyai bau aromatik, bertanggungjawab terhadap rasa dan aroma khas kencur (Tripathi *et al.* 2013).

Menurut Harborne (1987), biosintesis senyawa ini diperoleh dari fenilalanin dan fenilpropanoid yaitu turunan asam amino aromatik. Mengingat bahwa EPMS adalah turunan asam sinamat dari golongan fenol, maka biosintesisnya diperantarai oleh gula sederhana yang berasal dari proses fotosintesis untuk selanjutnya masuk ke dalam jalur asam sikimat dengan bantuan eritrosa-4- PO_4 dan fosfoenol piruvat membentuk senyawa EPMS (Rehman *et al.* 2016). Keberadaan senyawa fenol juga dipengaruhi oleh adanya cahaya, seperti dilaporkan oleh Ghasemzadeh dan Neda (2011) bahwa kandungan fenol dan flavonoid jahe akan meningkat secara nyata karena pengaruh cahaya. Wu *et al.* (2015) juga melaporkan bahwa intensitas cahaya akan meningkatkan kandungan kurkumin (fenol) pada kunyit.

Senyawa EPMS mempunyai kemampuan melindungi kulit dari sengatan sinar matahari, karenanya digunakan oleh industri kosmetik sebagai sediaan tabir surya. Ester-ester dari asam sinamat merupakan senyawa aromatik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku parfum. Selain berguna bagi manusia, EPMS juga diketahui berfungsi sebagai senyawa alelopati (Li *et al.* 2010). Mengingat manfaat EPMS yang begitu besar, maka penelitian ini penting dilakukan dengan tujuan mendapatkan akses kencur yang memiliki kandungan EPMS tinggi pada agroekologi berbeda.

Kencur dapat tumbuh mulai dari dataran rendah sampai dengan ketinggian 1000 m dpl (de Padua *et al.* 1999), namun sampai sejauh mana kemampuannya tumbuh di dataran tinggi masih perlu dipelajari. Menurut Rostiana *et al.* (2009) bahwa, kencur dapat tumbuh optimal pada ketinggian 50–600 m dpl, bahkan pada ketinggian lebih dari 600 m dpl masih menunjukkan pertumbuhan yang baik meskipun terjadi penurunan hasil. Oleh karena itu, berdasarkan informasi ini kencur dapat dikembangkan di dataran tinggi. Sejauh ini, informasi tentang karakter fisiologi, hasil dan mutu (EPMS) rimpang kencur di dataran tinggi belum banyak dilaporkan.

Dataran rendah dengan kondisi iklim yang umumnya memiliki temperatur tinggi, kelembapan rendah, dan intensitas sinar matahari yang besar dapat berpengaruh terhadap proses fotosintesis dan kegiatan fisiologi lainnya. Demikian pula halnya dengan dataran tinggi dengan temperatur rendah, kelembapan tinggi, dan intensitas matahari kurang. Adanya perbedaan lingkungan antara kedua dataran tersebut akan mengakibatkan adanya perbedaan tanggap genotip kencur karena pada dasarnya penampilan genotip suatu tanaman merupakan ekspresi dari faktor genetik, lingkungan, serta interaksi antara faktor genetik dan lingkungan. Pengaruh tinggi tempat terutama berkaitan dengan perbedaan laju proses metabolisme tanaman (Baharsjah *et al.* 1985). Setiap kenaikan 1000 m dpl suhu akan turun 5,5–6,2 °C. Radiasi matahari biasanya relatif lebih rendah pada dataran tinggi karena cuaca sering berawan dan lama penyinaran harian berkurang.

Biosintesis metabolit sekunder sangat bervariasi di antara tanaman dan organ tanaman, serta tergantung pada faktor lingkungan tempat tanaman tersebut berada (Khan *et al.* 2010), baik di dataran rendah maupun tinggi. Penelitian tentang pengaruh ketinggian tempat terhadap kandungan kimia utama telah didokumentasikan pada tanaman obat famili Zingiberaceae (Januwati *et al.* 1989; Rahardjo dan Rosita, 2003; Rostiana *et al.* 2006; Rostiana dan Subaryanti, 2010; Setiyono *et al.* 2011; Syukur *et al.* 2015).

Pada *Curcuma xanthorriza*, Hadad *et al.* (1989) melaporkan bahwa kandungan kurkumin meningkat di dataran tinggi (1200 m dpl). Rostiana dan Subaryanti (2010) juga melaporkan bahwa kandungan minyak atsiri dari dataran menengah (350 m dpl) lebih tinggi dibandingkan dataran rendah dan tinggi, namun kadar EPMS tertinggi justru diperoleh dari dataran rendah (125 m dpl). Minyak atsiri tertinggi pada jahe diperoleh dari ketinggian 350 m dpl (Bermawie *et al.* 2013) dan kandungan gingerol lebih dari 1% pada jahe diperoleh dari dataran rendah (104 m dpl) (Syukur *et al.* 2015). Sejauh ini informasi tentang bagaimana pengaruh ketinggian tempat terhadap kandungan EPMS rimpang kencur di dataran tinggi juga masih terbatas.

Selain berpengaruh terhadap biosintesis metabolit sekunder, ketinggian tempat juga memengaruhi kerapatan struktur sekretori (sel idioblas) dan profil metabolit sekunder tanaman kencur. Namun data kerapatan sel idioblas rimpang kencur pada ketinggian di atas 600 m dpl belum banyak dilaporkan. Subaryanti (2005) melaporkan bahwa kerapatan sel idioblas tertinggi pada rimpang kencur diperoleh dari ketinggian 350 m dpl. Kerapatan sel sekretori tertinggi pada daun belimbing wuluh diperoleh dari dataran tinggi (Nindyawati dan Indriyani, 2017). Terbatasnya laporan tentang profil metabolit rimpang kencur pada agroekologi berbeda menggunakan LC-MS juga menjadi alasan dilakukannya penelitian ini. LC-MS merupakan metode deteksi untuk senyawa metabolit seperti alkaloid, terpenoid, flavonoid, glukosinolat, dan fenilpropanoid (Hall 2006). Analisis LC-MS dapat digunakan untuk senyawa yang termolabil, polar, dan berbobot molekul besar.

1.2 Rumusan Masalah

Data keragaman hasil dan mutu berbagai varietas, ekotipe atau landrace tanaman kencur yang dibudidaya di Indonesia sampai saat ini belum tersedia. Varietas unggul kencur yang sudah ada seperti Galesia 1, Galesia 2, dan Galesia 3 adaptif pada ketinggian 50–600 m dpl, sementara itu informasi pertumbuhan dan hasil kencur pada ketinggian di atas 600 m dpl masih sangat terbatas. Dengan demikian perlu dilakukan eksplorasi dan seleksi sumberdaya genetik tanaman kencur sebagai upaya untuk mendapatkan keragaman hasil dan mutu dari berbagai lokasi di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa sebagai sentra produksi kencur.

Senyawa metabolit sekunder pada kencur memiliki prospek yang cukup cerah. Komponen mutu penting seperti minyak atsiri dan kandungan EPMS dalam rimpang kencur, khususnya di dataran tinggi sangat terbatas disebabkan karena terbatasnya juga lahan dataran tinggi untuk budidaya kencur. Adanya senyawa metabolit sekunder pada tanaman kencur, khususnya di bagian rimpang salah satunya dapat dilihat dari kerapatan struktur sekretorinya (sel idioblas) dan analisis kualitatif dengan uji histokimia. Informasi tentang uji histokimia tanaman kencur masih sangat terbatas. Studi metabolomik untuk mengungkap profil metabolit menggunakan LC-MS menjadi tambahan informasi yang penting untuk dilakukannya penelitian ini.

1.3 Tujuan

Tujuan umum penelitian adalah memperoleh aksesori kencur unggul yang memiliki produksi rimpang dengan kadar EPMS tinggi. Adapun tujuan khusus penelitian ini ialah (1) menganalisis karakter fisiologi aksesori kencur pada agroekologi berbeda, (2) menganalisis hasil dan mutu rimpang aksesori kencur pada agroekologi berbeda, (3) menganalisis kandungan dan profil metabolit sekunder rimpang aksesori kencur pada agroekologi berbeda, dan (4) mengidentifikasi lokasi metabolit sekunder pada jaringan rimpang kencur pada agroekologi berbeda.

1.4 Manfaat

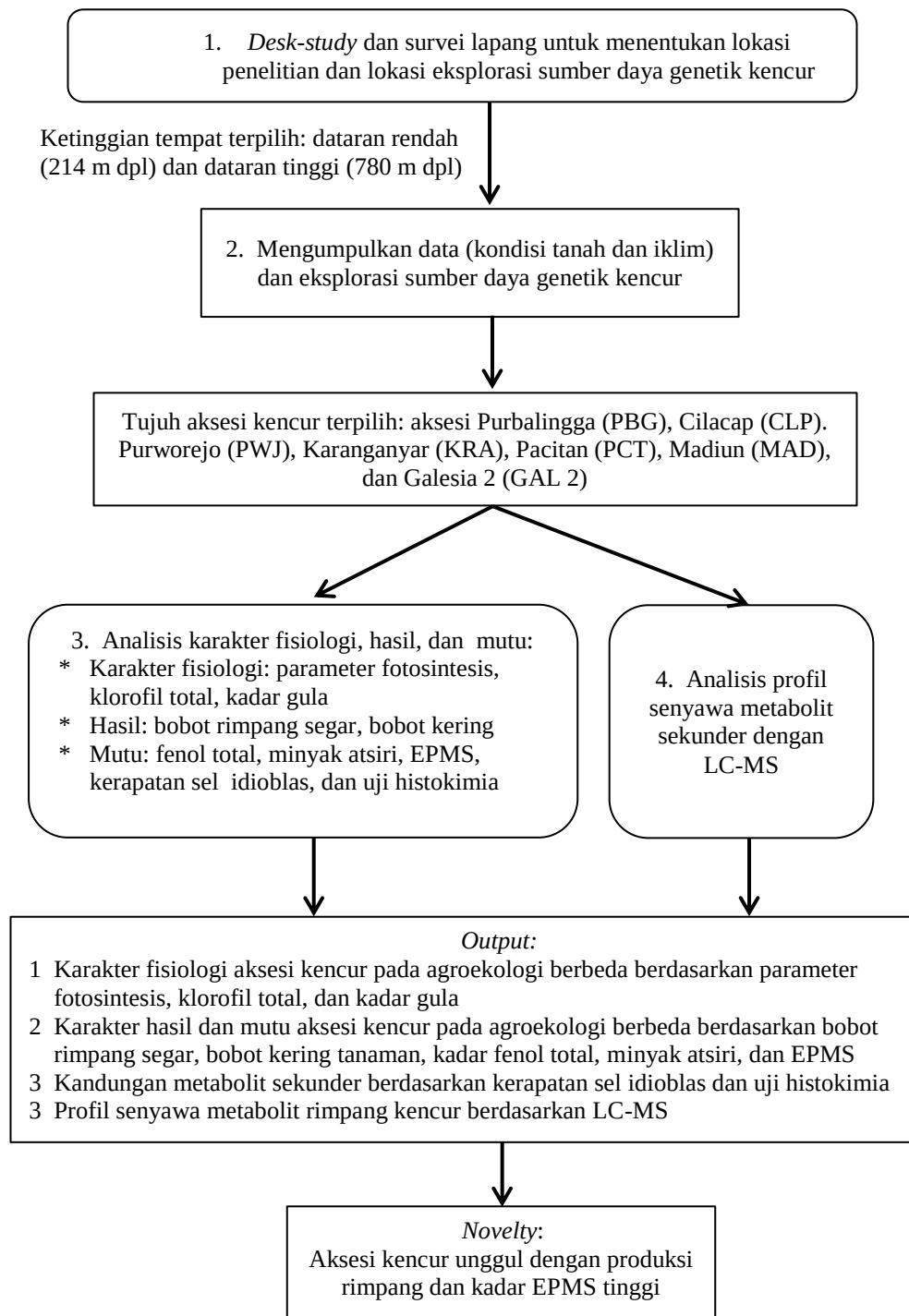
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang aspek fisiologi, hasil, mutu, dan senyawa metabolit sekunder dari beberapa aksesori kencur yang ditanam pada agroekologi berbeda. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan kencur, sehingga dapat mendukung program pemerintah dalam menyediakan bahan baku terstandar untuk industri obat tradisional maupun farmasi berbasis bahan alam asal Indonesia.

1.5 Kebaruan (*novelty*)

Kebaruan dari penelitian ini ialah (1) karakter fisiologi kencur relatif stabil pada dataran rendah dan tinggi, kecuali kadar gula rimpang lebih tinggi pada aksesori kencur yang ditanam di dataran tinggi, (2) produksi rimpang kencur yang ditanam di dataran rendah lebih tinggi 98% dibandingkan dengan dataran tinggi. (3) produksi rimpang aksesori Purbalingga (PBG) lebih tinggi 82% dibandingkan dengan varietas kencur Galesia 2 (GAL 2), rendemen minyak atsiri rimpang kencur aksesori Purbalingga (PBG) lebih tinggi 142% dibandingkan dengan varietas kencur Galesia 2 (GAL 2), (4) jumlah metabolit sekunder rimpang kencur di dataran rendah lebih tinggi dibandingkan dengan di dataran tinggi. Kadar EPMS (etil parametoksi sinamat) kencur aksesori Purbalingga (PBG) pada dataran tinggi lebih tinggi 73,5% dibandingkan dengan varietas kencur Galesia 2 (GAL 2), dan (5) kencur aksesori Purbalingga (PBG) menghasilkan bobot rimpang, rendemen minyak atsiri, dan EPMS tertinggi dapat digunakan sebagai kandidat varietas baru.

1.6 Ruang Lingkup

Penelitian dilakukan dalam 4 kegiatan yaitu (1) *desk-study* dan survei lapang untuk menentukan lokasi penelitian dan lokasi eksplorasi, (2) eksplorasi sumber daya genetik kencur, (3) analisis karakter fisiologi, hasil, dan mutu rimpang aksesori kencur, dan (4) analisis profil senyawa metabolit dalam rimpang aksesori kencur. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

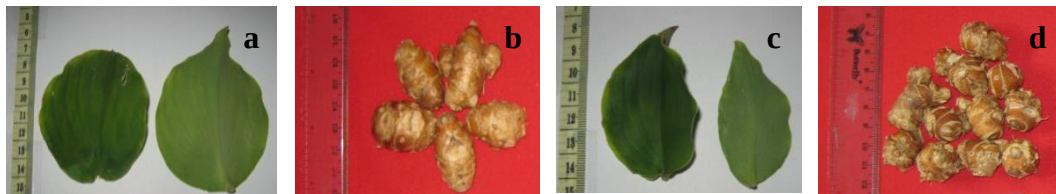
II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi, Botani, dan Syarat Tumbuh Tanaman Kencur

Sekitar 47–49 genera dan 1000–1400 jenis tumbuhan yang tergolong ke dalam famili Zingiberaceae, ditemukan sebagai komunitas tumbuhan hutan, terutama di dataran rendah. Famili Zingiberaceae digolongkan ke dalam 2 kelompok yaitu jenis-jenis yang bernilai ekonomi dan golongan tanaman ornamental. Pada mulanya kencur (*Kaempferia galanga* L.) tergolong jenis ornamental dan tidak dibudidayakan sebagai tanaman ekonomi seperti saat ini. Tanaman aromatik ini berasal dari India dan sudah dibudidaya di Sri Lanka, Malaysia, Jawa, Cina, dan Afrika (Indrayan *et al.* 2007). Techaprasan *et al.* (2010) melaporkan bahwa tanaman kencur berasal dari Asia Tropis termasuk Cina Selatan, Thailand, Taiwan, Malaysia, dan India.

Nag dan Mandal (2015) menyatakan bahwa tanaman kencur memiliki nama-nama yang berbeda di setiap negara, misalnya san nai (Cina), kentjoer (Belanda), sand ginger (Inggris), faux galanga (Perancis), sandingwer (Jerman), kenchoru (Jepang), sannae (Korea), kunchor (Malaysia), maraba (Rusia), dusol (Tagalog), pro hom (Thailand), dan tam nai (Vietnam). Kencur di Indonesia dikenal dengan berbagai nama daerah antara lain kencur (Jawa), cikur (Sunda), kencor (Madura), ceuku (Aceh), tekur (Gayo), kaciwer (Batak), cekuh (Bali), cakuru (Makasar), asuli (Ambon), dan ukap (Papua) (Anonim 2001). Klasifikasi ilmiah dari tanaman kencur adalah divisi *Spermatophyta*, sub divisi *Angiospermae*, kelas *Monocotyledoneae*, ordo *Scitaminales*, famili *Zingiberaceae*, genus *Kaempferia*, dan spesies *Kaempferia galanga* L. (Preetha *et al.* 2016).

Kencur termasuk tanaman herba tahunan, tinggi tanaman kurang lebih 20 cm, mempunyai batang semu yang terbentuk dari pelepah daun dan saling menutupi, berwarna coklat keputihan. Tunas tumbuh dari buku rimpang dan memiliki 1–3 daun. Helai daun berwarna hijau, tunggal, berbentuk lonjong, panjang 7–15 cm, lebar 2–8 cm, ujung runcing, pangkal berlekuk, dan tepi rata (Anonim 2001). Bentuk daun dan rimpang kencur disajikan pada Gambar 2. Bentuk dan letak daun kencur dibedakan atas dua tipe yaitu daun lebar (Gambar 2a) dengan rimpang besar (Gambar 2b) dan daun sempit (Gambar 2c) dengan rimpang kecil (Gambar 2d). Kencur tipe daun lebar mempunyai helaian daun lebih lebar, berbentuk hampir bulat, dan terhampar di atas tanah, sedangkan kencur berdaun sempit memiliki helaian daun lebih sempit, berbentuk lonjong agak memanjang, dan letak daun agak tegak (Rostiana *et al.* 2009).



Gambar 2 Bentuk daun dan rimpang kencur. Daun lebar (a) dengan rimpang besar (b), daun sempit (c), dengan rimpang kecil (d) (Dokumentasi pribadi).

Kencur jarang membentuk biji untuk dijadikan benih, sehingga tanaman ini diperbanyak dengan cara vegetatif melalui rimpang (de Padua *et al.* 1999). Rimpang yang terpilih untuk dijadikan benih sebaiknya mempunyai 2–3 bakal mata tunas dengan bobot sekitar 5–10 g. Sebelum ditanam rimpang bibit sebaiknya ditunaskan terlebih dahulu dengan cara menyemainya di tempat yang teduh dan ditutup dengan jerami, serta disiram setiap hari (Rostiana *et al.* 2009).

Kencur tumbuh mulai dari dataran rendah sampai dataran tinggi (50–1200 m dpl). Tanah subur, gembur, dan berdrainase baik merupakan syarat yang harus dipenuhi dalam budidaya kencur. Tanah rawa dan berat yang banyak mengandung fraksi liat tidak cocok untuk tanaman kencur. Jenis tanah yang dapat ditanami kencur antara lain lempung berpasir, lempung berliat, lempung merah, dan tanah laterit (de Padua *et al.* 1999). Namun demikian, kencur dapat tumbuh optimal di ketinggian 50–600 m dpl dengan suhu udara 26–30 °C, curah hujan 2500–4000 mm/tahun, intensitas cahaya matahari penuh atau ternaungi 25–30% hingga tanaman berumur 6 bulan, drainase tanah baik, tekstur tanah lempung sampai lempung liat berpasir, dan pH tanah 5,5–6,5 (Rostiana *et al.* 2009).

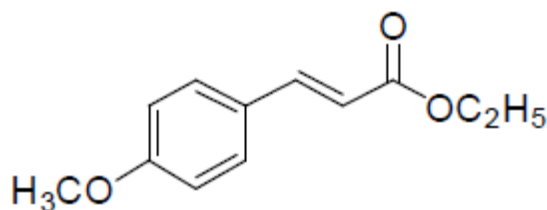
2.2 Manfaat dan Kandungan Kimia Tanaman Kencur

Rimpang kencur secara empiris berkhasiat untuk mengobati radang lambung, radang telinga, influenza, masuk angin, sakit kepala, batuk, diare, memperlancar haid, mata lelah, dan keseleo (de Padua *et al.* 1999). Menurut Raina *et al.* (2015), bahwa kencur di India digunakan sebagai bahan baku parfum, kosmetika, bumbu masak, mengobati diare, migrain, dan meningkatkan stamina. Rimpang dan akarnya berasa pahit, pedas, dan berbau aromatis, digunakan sebagai karminatif, diuretik, ekspektoran, digestif, antelmintik, febrifuga, stimulan, dispepsia, antiradang, penyakit kulit, rematik, asma, batuk, bronkitis, luka, demam, malaria, dan hemoroid.

Kencur mengandung senyawa aromatik alifatik yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku untuk industri farmasi dan kimia. Aroma khas kencur disebabkan oleh komponen minyak atsiri berupa ester-ester dari asam sinamat (Burkill 1935). Selain itu, Chairul (1996) mengungkapkan bahwa hasil analisis komponen ekstrak methanol rimpang kencur dengan GC-MS diketahui mengandung 23 senyawa dan 17 di antaranya merupakan senyawa aromatik, monoterpen, dan seskuiterpen. Sebagai komponen utamanya adalah senyawa aromatik turunan asam sinamat yaitu p-metoksisinamat dan etil sinamat. Kandungan kimia rimpang kencur adalah minyak atsiri berkisar antara 2,5–3,8% dengan komponen utamanya etil-p-metoksisinamat (EPMS) tidak kurang dari 4,3% (Anonim 2004). Komponen kimia lainnya adalah *pentadecane*, *1,8-cineole*, *r-carene*, *pinene*, *camphene*, *thymol*, *methyl cinnamate*, *cubenol*, *selinonol*, *α -terpineol*, *α -bisabolol*, *palmitic acid*, dan *borneol* (Preetha *et al.* 2016; Yang *et al.* 2018; Srivastava *et al.* 2019).

EPMS ($C_{12}H_{14}O_3$) adalah senyawa kimia berbentuk Kristal putih, merupakan turunan asam sinamat yaitu senyawa fenol alam yang mempunyai bau aromatik. Menurut Harborne (1987), biosintesis senyawa ini diperoleh dari fenilalanin dan fenilpropanoid yaitu turunan asam amino aromatik. EPMS mempunyai kemampuan melindungi kulit dari sengatan sinar matahari, oleh sebab itu dapat digunakan oleh industri kosmetik sebagai sediaan tabir surya. Selain itu ester-ester dari asam sinamat merupakan senyawa aromatik yang dapat

dimanfaatkan sebagai bahan baku parfum. Untuk kebutuhan tersebut EPMS yang biasa digunakan oleh industri kosmetik adalah senyawa sintetis yang diperoleh melalui reaksi Perkin dari benzaldehid, asetat anhidrat, dan kalium asetat (Windholz 1983) atau diproduksi secara esterifikasi dari etanol dengan metilester pada p-asam kumarat (Arctander 1969). EPMS bagi tumbuhan berfungsi sebagai senyawa alelopati (Li *et al.* 2010). EPMS adalah suatu ester yang mengandung cincin benzena dan gugus metoksi yang bersifat non polar dan mengandung gugus karbonil yang mengikat etil yang bersifat agak polar menyebabkan senyawa ini mampu larut dalam beberapa pelarut dengan kepolaran bervariasi seperti etanol, etil asetat, methanol, air, dan heksana (Ekowati *et al.* 2017). Struktur kimia EPMS disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Struktur kimia dari EPMS kencur (Komala *et al.* 2018)

Monoterpena adalah kelompok terpena yang terdiri dari dua unit isoprena dan mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{16}$, sedangkan seskuiterpen terdiri dari tiga unit isopren dan mempunyai rumus molekul $C_{15}H_{24}$. Monoterpena dan seskuiterpen dapat berupa linear atau mengandung cincin (Olayemi 2017). Jika dilihat dari senyawa aromatik monoterpen dan seskuiterpen yang terdapat dalam rimpang kencur, maka pola biosintesis senyawa tersebut berasal dari jalur asam sikimat dan sebagai prekursor dalam fenilalanin melalui senyawa perantara asam sinamat (Chairul 1996).

2.3 Pengaruh Ketinggian Tempat terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Mutu

Pertumbuhan dan produksi suatu tanaman tergantung pada interaksi antara faktor genetik dan faktor lingkungan seperti jenis tanah, topografi, pengelolaan, pola iklim, dan teknologi. Menurut Roemantyo dan Somaatmadja (1996) bahwa kencur umumnya ditanam di daerah dengan ketinggian antara 80–600 m dpl, apabila ditanam dengan ketinggian lebih dari 600 m dpl mempunyai resiko pertumbuhan yang kurang baik. Rostiana *et al.* (2009) melaporkan bahwa kencur dapat tumbuh optimal di ketinggian 50–600 mdpl dengan suhu udara 25–30 °C. Hadad *et al.* (1989) melaporkan bahwa lokasi dengan ketinggian 240 m dpl dapat meningkatkan bobot rimpang temulawak. Bermawie *et al.* (2013) juga melaporkan bahwa lokasi dengan ketinggian 350 m dpl dapat meningkatkan bobot rimpang jahe dan Syukur *et al.* (2015) menyatakan bahwa pertumbuhan jahe lebih optimal berada pada ketinggian 104 m dpl.

Ketinggian tempat dari permukaan laut menentukan suhu udara dan intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman. Semakin tinggi suatu tempat maka semakin rendah suhunya, demikian pula intensitas cahayanya akan semakin berkurang. Ketinggian tempat juga berpengaruh terhadap kandungan bahan aktif tanaman, seperti dilaporkan oleh Hadad *et al.* (1989) bahwa dataran tinggi 1200 m dpl dapat meningkatkan kadar minyak atsiri dan kurkumin pada rimpang temulawak.

Begitupula yang dilaporkan oleh Rostiana dan Subaryanti (2010) bahwa, lokasi dengan ketinggian 350 m dpl dapat meningkatkan kadar minyak atsiri rimpang kencur. Sedangkan ketinggian 125 m dpl meningkatkan kadar EPMSnya. Lokasi dengan ketinggian 350 m dpl dapat meningkatkan kadar minyak atsiri rimpang jahe (Bermawie *et al.* 2013) dan pada ketinggian 104 m dpl dapat meningkatkan kadar gingerol lebih dari 1% (Syukur *et al.* 2015).

2.4 Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Fisiologi Tanaman

Ketinggian tempat yang berbeda mengakibatkan adanya perbedaan karakteristik kondisi lingkungan yang meliputi intensitas cahaya matahari, kandungan CO₂ di atmosfer, suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan angin (Unal *et al.* 2013). Faktor lingkungan tersebut berpengaruh besar terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Joshi *et al.* 2007). Intensitas cahaya matahari dan kandungan CO₂ di udara berperan penting dalam proses fotosintesis tanaman. Dua faktor lingkungan tersebut dapat menjadi faktor pembatas laju fotosintesis. Intensitas cahaya matahari dan CO₂ atmosfer yang masuk ke ruang mesofil melalui stomata yang tinggi akan memungkinkan reaksi karboksilasi oleh enzim Rubisco tinggi pula, sehingga laju fotosintesis akan meningkat. Laju fotosintesis yang tinggi akan menghasilkan fotosintat yang cukup untuk pertumbuhan tanaman (Lin *et al.* 2014).

Peningkatan CO₂ di atmosfer dapat berpengaruh pada kapasitas fotosintesis dan translokasi fotosintat dari organ *source* (Duan *et al.* 2014). Tanaman kencur merupakan salah satu tanaman yang dapat tumbuh pada kondisi terbuka dengan paparan sinar matahari langsung di awal pertumbuhannya atau ternaungi 25-30% hingga tanaman berumur 6 bulan (Rostiana *et al.* 2009). Syahid *et al.* (2012) juga melaporkan bahwa kunyit yang sedikit mendapat cahaya matahari akan menghasilkan rimpang tinggi. Bobot rimpang jahe tertinggi (187,98 g/rumpun) dihasilkan dari tanaman yang sedikit mendapat cahaya, sedangkan bobot rimpang jahe terendah (132,50 g/rumpun) diperoleh dari tanaman yang terpapar cahaya matahari (Wahyuni *et al.* 2013).

Suhu dapat memengaruhi proses metabolisme tanaman. Suhu optimal untuk proses metabolisme masing-masing tanaman berbeda dan proses metabolisme yang optimal akan mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sebaliknya, proses metabolisme tanaman seperti fotosintesis akan terganggu akibat suhu rendah ataupun suhu tinggi. Suhu rendah dapat memengaruhi laju fotosintesis melalui penurunan aktivitas enzim-enzim fotosintesis (Smith dan Ennos, 2003). Pengangkutan gula melalui pembuluh floem atau *phloem loading* dipengaruhi oleh suhu rendah sehingga memperlambat *phloem loading* (Bilska-Kos *et al.* 2016). Penurunan laju fotosintesis dan pengangkutan gula yang terhambat tentu berdampak pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman, karena suplai gula sebagai sumber energi untuk pertumbuhan organ *sink* terbatas. Suhu lingkungan yang optimal untuk proses metabolisme kencur berkisar antara 25–30 °C (Rostiana *et al.* 2009).

Kelembapan udara relatif ialah jumlah absolut uap air di dalam udara. Daerah dataran tinggi umumnya memiliki kelembapan relatif yang lebih rendah dibandingkan dengan dataran rendah. Kelembapan relatif yang rendah menandakan bahwa kandungan uap air di udara lebih sedikit, sehingga potensial airnya menjadi negatif. Kondisi kelembapan relatif yang lebih rendah akan

mempercepat hilangnya air melalui proses transpirasi karena potensial air di udara lebih negatif dibandingkan dengan potensial air di dalam sel tanaman (Liu *et al.* 2012).

Jumlah curah hujan menggambarkan keberadaan air sebagai penopang kehidupan tanaman. Tanaman tidak dapat tumbuh tanpa air, karena jaringan tanaman sebagian besar adalah air yakni lebih kurang 95%. Kekurangan air pada tanaman dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan produktivitas (Rahardjo dan Rosita, 2003). Kekurangan air juga dapat menghambat laju fotosintesis, terutama karena pengaruhnya terhadap turgiditas sel penjaga stomata. Jika kekurangan air, maka turgiditas sel penjaga akan menurun dan stomata akan menutup, selanjutnya akan menghambat serapan CO₂ yang dibutuhkan untuk sintesis karbohidrat. Air merupakan bahan baku fotosintesis, tetapi porsi air yang dimanfaatkan untuk fotosintesis kurang dari 5% dari air yang diserap oleh tanaman (Taiz dan Zeiger, 2010).

Tanaman kencur akan tumbuh optimal dengan curah hujan 2500–4000 mm/tahun dengan jumlah bulan basah 5–9 bulan/tahun (Rostiana *et al.* 2009). Bhosale dan Shinde (2011) melaporkan bahwa stress air pada tanaman jahe dapat menurunkan jumlah klorofil dan kadar prolin. Penurunan jumlah klorofil tersebut akan menurunkan laju fotosintesis, karena jumlah klorofil berkorelasi positif dengan aktivitas fotosintesis pada tanaman jahe, sehingga produktivitas menjadi rendah (Ghasemzadeh *et al.* 2010). Curah hujan yang dibutuhkan untuk tumbuh optimal pada tanaman jahe sama seperti pada kencur yaitu 2500–4000 mm/tahun, namun dengan bulan basah 7–9 bulan/tahun (>100 mm/bulan) (Rostiana *et al.* 2009).

Jenis dan tingkat kesuburan tanah merupakan faktor penentu terhadap produktivitas dan mutu tanaman obat. Tanaman dari famili Zingiberaceae seperti kencur memerlukan tanah yang gembur dan subur serta kandungan bahan organik tanah yang relatif tinggi. Untuk pembentukan rimpang diperlukan tanah yang gembur, fraksi pasir cenderung lebih tinggi atau seimbang dibandingkan fraksi liat, sehingga lebih cocok dibudidayakan pada tanah latosol, andosol, dan regosol. Kebutuhan bahan organik yang relatif tinggi selain untuk mempertahankan iklim mikro tanah yaitu menjaga kelembapan, suhu, aerasi, juga diperlukan untuk meningkatkan kesuburan tanah. Perkembangan rimpang membutuhkan kelembapan dan suhu yang stabil serta aerasi tanah yang baik (Rahardjo dan Rosita, 2003).

Tanaman kencur akan tumbuh optimal pada tanah dengan tekstur lempung sampai lempung liat berpasir, kemiringan lahan < 3%, jenis tanah latosol, regosol, asosiasi antara latosol-andosol, regosol-latosol serta regosol-litosol, dan pH tanah 5,5–6,5. Jika keasaman tanah 4,5–5,0 maka perlu ditambahkan kapur pertanian (kaptan atau dolomit) untuk meningkatkan pH sampai 5,5–6,5. Disamping itu, lahan juga harus bebas dari penyakit terutama bakteri layu (Rostiana *et al.* 2009). Burhanuddin *et al.* (2016) melaporkan bahwa pemberian kapur 200 g/lubang tanam yang dikombinasikan dengan kompos 2 kg/lubang tanam menghasilkan pertumbuhan jahe putih besar terbaik, dengan produksi rimpang segar 541,50 g/rumpun (setara dengan 11,28 ton/ha).

2.5 Proses Fotosintesis pada Tanaman

Proses fotosintesis berperan penting bagi kelangsungan hidup tanaman. Proses ini penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena sekitar 40% karbon penyusun biomassa tanaman dibuat melalui proses fotosintesis (Lambers *et al.* 2008). Organisme fotosintetik menggunakan energi matahari untuk mensintesis karbohidrat dari karbondioksida dan air, dan dalam proses fotosintesis ini dihasilkan oksigen (Taiz dan Zeiger, 2010). Energi yang tersimpan dalam molekul-molekul tersebut dapat digunakan selanjutnya untuk proses-proses seluler tanaman. Proses-proses utama dalam fotosintesis dibagi menjadi 3 bagian yaitu penyerapan foton oleh pigmen-pigmen fotosintesis, reaksi terang yang menghasilkan NADPH dan ATP, dan reaksi gelap atau siklus Calvin yang menghasilkan komponen triosa-fosfat (Lambers *et al.* 2008). Performa fotosintesis tanaman ditentukan oleh kapasitas pengambilan CO₂. Difusi CO₂ melalui stomata hingga masuk ke ruang mesofil untuk proses fotosintesis dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konduktansi lapisan batas (*boundary layer*) daun, konduktansi stomata, dan konduktansi mesofil daun. Lapisan batas (*boundary layer*) daun ialah lapisan tipis udara yang berdekatan dengan permukaan daun. Konduktansi stomata merupakan suplai CO₂ dari atmosfer menuju ruang interseluler sel, sedangkan konduktansi mesofil daun merupakan difusi CO₂ dari ruang interseluler menuju ruang mesofil tempat siklus Calvin berlangsung. Faktor-faktor yang memengaruhi laju fotosintesis tanaman antara lain kapasitas reaksi karboksilasi ribulosa-1,5-bisfosfat (RuBP) oleh enzim Rubisco, metabolisme triosa fosfat, dan regenerasi RuBP (Lambers *et al.* 2008; Shi *et al.* 2015).

Rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfat karboksilase/oksigenase) merupakan enzim yang berperan mengkatalisis dua reaksi yaitu reaksi karboksilasi dan oksigenasi. Reaksi karboksilasi terjadi apabila konsentrasi CO₂ di dalam ruang mesofil lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi O₂. Peningkatan reaksi karboksilasi akan mendorong laju fotosintesis semakin cepat. Sebaliknya, apabila konsentrasi O₂ di ruang mesofil lebih tinggi, reaksi yang terjadi adalah reaksi oksigenasi oleh enzim Rubisco. Proses ini disebut dengan fotorespirasi dan proses ini dapat menjadi faktor pembatas bagi laju fotosintesis tanaman (Taiz dan Zeiger, 2010).

Sebagian besar hasil fotosintesis dikirim keluar dari kloroplas menuju sitosol. Pada saat proses ini, terjadi pertukaran antara triosa-fosfat dengan Pi (intermediet fosfat). Pembagian fotosintat di dalam sel sangat bergantung pada konsentrasi Pi di sitosol. Konsentrasi Pi di sitosol yang tinggi akan mempercepat laju pertukaran Pi dengan triosa-fosfat. Sebaliknya, jika konsentrasi Pi di sitosol rendah maka laju pertukaran Pi dengan triosa-fosfat akan menurun dan berdampak pada peningkatan triosa-fosfat di dalam kloroplas. Hal ini akan mendorong terjadinya *feedback-inhibition*. Penurunan konsentrasi Pi di kloroplas berdampak pada penurunan pembentukan ATP dan aktivitas siklus Calvin menjadi menurun. Regenerasi RuBP menurun dan ketersediaan intermediet yang terbatas berdampak pada penurunan reaksi karboksilasi oleh enzim Rubisco sehingga laju fotosintesis menurun (Paul dan Foyer, 2001).

2.6 Mekanisme Translokasi Fotosintat pada Tanaman

Translokasi fotosintat didefinisikan sebagai proses pengangkutan hasil fotosintesis yang diatur oleh transport membran melalui pembuluh floem dari organ *source* menuju organ *sink* (Taiz dan Zeiger, 2010). Organ *source* merupakan organ penyedia dan pengirim fotosintat yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, sedangkan organ *sink* ialah organ-organ penerima fotosintat yang dikirimkan dari organ *source* (White *et al.* 2016). Daun dewasa yang aktif melakukan fotosintesis merupakan organ *source*, sedangkan umbi, meristem, akar, daun muda, dan organ-organ reproduksi seperti bunga dan buah yang sedang berkembang merupakan organ-organ *sink* (Taiz dan Zeiger, 2010; Osorio *et al.* 2014). Fotosintat atau hasil fotosintesis yang ditranslokasikan berupa gula terlarut yang meliputi monosakarida dan oligosakarida (Luo dan Huang, 2011; Dallagnol *et al.* 2013). Sukrosa merupakan bentuk karbohidrat yang paling banyak ditranslokasikan ke jaringan *sink* melalui floem pada sebagian besar jenis tanaman (Duan *et al.* 2014).

Translokasi fotosintat dari jaringan *source* menuju jaringan *sink* melalui beberapa proses yaitu *phloem loading* dan *phloem unloading*. *Phloem loading* ialah proses pengangkutan fotosintat dari kloroplas mesofil menuju berkas pembuluh floem daun dewasa, sedangkan *phloem unloading* merupakan proses pengangkutan fotosintat dari berkas pembuluh floem menuju jaringan-jaringan *sink* yang sedang berkembang (Taiz dan Zeiger, 2010). Floem di sepanjang jalur translokasi fotosintat dibagi menjadi tiga bagian fungsional yang memiliki fungsi masing-masing, secara berturut-turut ialah floem pengumpul fotosintat (*collection phloem*), floem pengangkut fotosintat (*transport phloem*), dan floem pelepas fotosintat (*release phloem*). Fotosintat yang diproduksi pada mesofil daun selanjutnya dimasukkan ke dalam kompleks unsur pembuluh-sel pengiring atau disebut dengan *sieve-element companion cell* (SECC) yang terletak pada pembuluh-pembuluh kecil daun melalui floem pengumpul. Selanjutnya, fotosintat diangkut menuju *sink* melalui floem pengangkut yang terletak di pembuluh-pembuluh utama tangkai daun, cabang, batang, dan akar.

Floem tidak hanya mengangkut fotosintat menuju organ *sink* ke arah terminal (akar dan tajuk) tetapi juga mengangkut fotosintat ke arah lateral (kambium) yang bertanggung jawab terhadap pertumbuhan dan pemeliharaan jaringan. Fotosintat selanjutnya dilepas dari kompleks unsur pembuluh-sel pengiring (*sieve element-companion cell*) menuju ke sel-sel untuk pertumbuhan ataupun penyimpanan. Rasio volume antara sel-sel pengiring (*companion cells*) dan unsur-unsur pembuluh (*sieve elements*) mengalami penurunan sepanjang jalur translokasi fotosintat melalui floem. Hal ini berhubungan dengan penurunan kebutuhan energi untuk penyimpanan fotosintat pada floem pengumpul (*collection*), pengangkut (*transport*), dan pelepas (*release*) (De Schepper *et al.* 2013).

Alokasi dan distribusi fotosintat menuju organ *sink* berkaitan erat dengan laju produksi fotosintat melalui proses fotosintesis (*source strength*) dan kekuatan *sink* dalam menarik fotosintat tersebut (*sink strength*) (Bridgemohan 2011). Kebutuhan fotosintat yang tinggi dari organ *sink* yang sedang berkembang dapat berpengaruh terhadap peningkatan laju fotosintesis tanaman (McCormick *et al.* 2006). Keseimbangan dan kekuatan *source-sink* dapat memengaruhi kandungan karbon pada tanaman dan berdampak pada pertumbuhan tanaman (Li *et al.* 2015).

2.7 Metabolomik

Metabolomik adalah salah satu bidang utama penelitian dalam ilmu omik. Target analisis dari studi metabolomik yaitu senyawa-senyawa metabolit yang disintesis atau dipecah dalam kaitannya dengan proses metabolisme suatu organisme pada waktu dan kondisi tertentu. Tujuan utama studi metabolomik pada tanaman adalah mengukur adanya metabolom atau semua senyawa yang ada pada suatu organisme. Pada tanaman diperkirakan ada lebih dari 200 ribu macam senyawa metabolit (Dixon dan Strack, 2003; Kusano *et al.* 2015). Metabolomik pada tanaman mengkombinasikan strategi identifikasi dengan pendekatan statistik untuk mengukur profil senyawa metabolit yang terdapat di dalam sel maupun jaringan.

Menurut Hill dan Roessner (2013), bahwa metabolomik dibagi menjadi tiga cabang kajian, yaitu *metabolite profiling*, *metabolite target analysis*, dan *metabolite fingerprinting*. *Metabolite profiling* adalah salah satu pendekatan metabolomik yang bertujuan untuk mendeteksi sebanyak mungkin senyawa metabolit pada kelompok tertentu, misalnya asam organik, asam amino, dan karbohidrat. *Metabolite target analysis* adalah pendekatan metabolomik yang bertujuan untuk menentukan konsentrasi absolut dari suatu senyawa metabolit yang terlibat dalam jalur metabolisme tertentu dengan menggunakan prosedur ekstraksi, separasi, dan deteksi tertentu. *Metabolite fingerprinting* adalah pendekatan metabolomik yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi sidik jari berdasarkan semua senyawa metabolit yang terdeteksi.

Metode ini digunakan dalam rangka untuk membandingkan dan membedakan antar sampel yang dianalisis. Keragaman senyawa metabolit yang melimpah dari kelompok senyawa metabolit primer (karbohidrat, asam amino, dan asam organik) hingga senyawa metabolit yang sangat kompleks (fenolik, alkaloid, dan terpenoid) menyebabkan tidak ada metode tunggal yang mampu mengukur senyawa metabolit tersebut secara lengkap dalam satu waktu (Fiehn 2002). Sebagai solusinya maka harus digunakan berbagai alat dan metode deteksi agar didapat profil senyawa metabolit lebih lengkap (Hill dan Roessner, 2013). Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam studi metabolomik yaitu *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS), *liquid chromatography* (LC)-MS, *capillary electrophoresis* (CE)-MS dan *nuclear magnetic resonance spectroscopy* (NMR) (Obata dan Fernie, 2012).

GC-MS merupakan metode deteksi senyawa metabolit berbobot molekul rendah yang bersifat mudah menguap (volatil) maupun non-volatil melalui prosedur derivatisasi sebelum dilakukan analisis (Hall 2006). Menurut Jorge *et al.* (2016), bahwa derivatisasi yaitu prosedur teknis untuk memodifikasi satu atau lebih gugus fungsi suatu senyawa metabolit melalui reaksi yang melibatkan agen penderivatisasi sehingga dihasilkan senyawa metabolit turunannya. Tujuan dari derivatisasi yaitu mengurangi polaritas, meningkatkan stabilitas, dan volatilitas termal suatu senyawa serta mengurangi adsorpsi analit dalam sistem GC, meningkatkan respon detektor, pemisahan puncak, dan simetri puncak sehingga lebih efisien. Namun, terdapat beberapa kelemahan ketika dilakukan proses derivatisasi yaitu memakan waktu, terdapat kemungkinan sampel berkurang selama penanganan sampel, terdapat kemungkinan senyawa metabolit asli yang akhirnya hilang, dan terdapat kemungkinan terbentuknya lebih dari satu produk derivat. Melalui analisis GC-MS maka dapat dideteksi berbagai senyawa

khususnya metabolit primer yaitu asam amino, amina, gula, asam organik, asam lemak, alkohol rantai panjang, dan sterol (Hall 2006).

LC-MS merupakan metode deteksi senyawa dengan jangkauan yang lebih luas termasuk senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid, terpenoid, flavonoid, glukosinolat, dan fenilpropanoid (Hall 2006). Dibandingkan GC-MS, metode LC-MS memiliki keunggulan yaitu dapat menganalisis senyawa metabolit yang termolabil, polar, dan senyawa metabolit berbobot molekul besar tanpa melalui proses derivatisasi. Namun antara GC-MS dan LC-MS saling melengkapi dalam analisis metabolomik (Jorge *et al.* 2016). Teknik metabolomik telah berhasil mengkarakterisasi profil metabolit *Angelica gigas* dari daerah tanam yang berbeda menggunakan LC-MS (Kim *et al.* 2011). Analisis dengan LC-MS lainnya pada tanaman *Zingiber mioga* dan *Zingiber officinale* juga berhasil mengidentifikasi senyawa metabolit dominan yaitu *tetrahydrocurcumin*, *diarylheptanoid*, *8-gingerol*, dan *8-paradol* (Han *et al.* 2015).

2.8 Struktur Sekretori dan Uji Histokimia

Komponen senyawa aktif biasanya disimpan di dalam organ tumbuhan seperti akar, umbi, batang, rimpang, kulit batang, dan daun (Ogundare 2007). Tumbuhan obat sebagian besar memiliki sel khusus penghasil zat tertentu yang disebut sel sekretori. Jenis sel sekretori merupakan karakteristik penting dari sebagian tumbuhan yang biasanya memproduksi berbagai jenis senyawa kimia yang kompleks (Svoboda *et al.* 2001). Sel sekretori dibedakan menjadi dua berdasarkan lokasinya yaitu sel sekretori eksternal dan internal. Sel sekretori eksternal meliputi trikoma, nektarium atau kelenjar madu, dan hidatoda. Sel sekretori internal berupa idioblas, rongga sekretori, saluran sekretori, dan latisifer. Hasil sekresi melalui sel sekretori berupa minyak atsiri, resin, garam mineral, dan berbagai senyawa kimia seperti alkaloid dan glikosida (Dickison 2000). Demikian pula yang dilaporkan oleh Cheniclet dan Carde (1985) bahwa tumbuhan yang mengandung sel sekresi khusus misalnya trikoma kelenjar, saluran resin, rongga sekretori, dan idioblas umumnya memproduksi minyak atsiri, resin, dan sejumlah besar senyawa volatil terutama monoterpen dan seskuiterpen. Boix *et al.* (2011) melaporkan bahwa senyawa metabolit volatil yang dimanfaatkan sebagai obat seperti senyawa fenolik dan terpenoid diakumulasi di dalam trikoma kapitat pada tanaman *Rosmarinus officinalis*. Sel minyak dari rimpang *Alpinia zerumbet* banyak ditemukan pada jaringan korteks dan empulur (Jezler *et al.* 2013). Indriyani (2017) menyatakan bahwa dari 14 spesies Zingiberaceae, kerapatan sel idioblas tertinggi dimiliki oleh *Curcuma zedoaria* sebesar 254 sel/mm².

Metode histokimia untuk studi lokasi senyawa metabolit sekunder pada berbagai jaringan tumbuhan telah digunakan pada tahun 1940-an. Distribusi senyawa fenolik pada berbagai jaringan bunga kakao dianalisis dengan metode histokimia serta diamati di bawah mikroskop cahaya dilaporkan oleh Alemanno *et al.* (2003). Histokimia merupakan analisis yang digunakan untuk memvisualisasikan kandungan senyawa metabolit pada sel atau jaringan suatu tumbuhan. Analisis histokimia bertujuan untuk mendeteksi suatu kandungan senyawa metabolit dengan menggunakan reagen spesifik, sehingga dihasilkan warna kontras pada mikroskop (Kiernan 2015).

III METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Desk-study dan survei lapang dilakukan untuk menentukan lokasi penelitian dan eksplorasi sumber daya genetik kencur. Eksplorasi sumber daya genetik kencur dilakukan di Jawa Tengah dan Jawa Timur pada bulan Desember 2016 hingga April 2017. Penanaman dilakukan di lahan percobaan IPB dengan ketinggian 214 m dpl (dataran rendah) dan Cisarua Bogor dengan ketinggian 780 m dpl (dataran tinggi) pada bulan Juni 2017 hingga Mei 2018. Data iklim dari dua lokasi penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2. Data iklim diperoleh dari Stasiun Klimatologi Dramaga Bogor. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Pengujian Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian IPB. Hasil analisis tanah dari dua lokasi penelitian dapat dilihat pada Lampiran 3.

Kandungan klorofil total, pengukuran berat kering daun, akar, dan rimpang, serta bobot rimpang segar dianalisis di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan Departemen Biologi FMIPA IPB. Pembuatan ekstrak etanol rimpang kencur dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia FMIPA IPB. Isolasi minyak atsiri dan kadar gula rimpang dilakukan di Laboratorium Uji Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (Balittro) Bogor. Analisis fenol total dilakukan di Laboratorium Pusat Studi Biofarmaka Tropika LPPM IPB. Kerapatan sel idioblas dan uji histokimia dianalisis di Laboratorium Ekologi dan Sumber Daya Tumbuhan serta Laboratorium Terpadu Departemen Biologi FMIPA IPB. Komponen kimia dalam minyak atsiri rimpang kencur dianalisis menggunakan GC-MS di Laboratorium Kesehatan Daerah (Laboratorium Doping) Provinsi DKI Jakarta. Profil senyawa metabolit dianalisis menggunakan LC-MS di Laboratorium Riset Unggulan (*Advanced Laboratory*) Kampus IPB Dramaga.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan tanaman yang digunakan ialah enam aksesori kencur yang berasal dari Jawa Tengah dengan ketinggian 100 dan 300 m dpl dan Jawa Timur dengan ketinggian 600 m dpl, serta satu tanaman pembanding yaitu kencur varietas unggul Galesia 2 yang berasal dari Balittro Cimanggu Bogor. Deskripsi kencur varietas unggul Galesia 2 dapat dilihat pada Lampiran 4. Aksesori tanaman kencur beserta data iklimnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Akses-aksesi tanaman kencur beserta asal daerah, ketinggian tempat, dan kondisi iklimnya

Nama akses	Asal daerah	Ketinggian tempat (m dpl)	Intensitas cahaya matahari (%)	Suhu udara (°C)	Curah hujan (mm/tahun)
Purbalingga (PBG)	Desa Bedagas, Pengadegan, Purbalingga, Jawa Tengah	100	77	24–31	2469
Cilacap (CLP)	Desa Tayem, Karangpucung, Cilacap, Jawa Tengah	100	60–63	23–32	3494
Purworejo (PWJ)	Desa Kaliboto, Bener, Purworejo, Jawa Tengah	300	75	19–28	4555
Karanganyar (KRA)	Desa Sambirejo, Jumantono, Karanganyar, Jawa Tengah	300	85	22–31	3728
Pacitan (PCT)	Desa Ngunut, Bandar, Pacitan, Jawa Timur	600	21–50	22–37	2939
Madiun (MAD)	Desa Doho, Dolopo, Madiun, Jawa Timur	600	54–84	23–25	2613
Galesia 2 (GAL2)	Balittro, Bogor (Landrace Subang, Jawa Barat)	80	70–100	25–30	2500–4000

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah LI-COR® *Bioscience LI-3000C Portable Area Meter* dan LI-COR 6400XT *Portable Photosynthesis System* (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA) berturut-turut untuk pengukuran luas daun dan fotosintesis tanaman kencur. Spektrofotometer *Spectro Genesys*TM 20 (Massachusetts, USA) digunakan untuk pengukuran klorofil total. Spektrofotometer U-2800 (Hitachi, Japan) digunakan untuk pengukuran fenol total. Kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS) (Agilent Technologies 7890-5975, Germany) digunakan untuk identifikasi komponen penyusun minyak atsiri. Kromatografi cair-spektroskopi massa (LC-MS) (Thermo Scientific, Germany) digunakan untuk analisis profil senyawa metabolit rimpang kencur. Mikroskop cahaya (Olympus CX23, Japan) dengan kamera digital (OptiLab, Miconos) digunakan untuk mengukur kerapatan sel idioblas dan uji histokimia.

3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan rancangan petak terbagi (*split-plot design*) dalam rancangan acak kelompok (RAK) dengan 3 ulangan. Ketinggian tempat sebagai petak utama dan aksesori tanaman kencur sebagai anak petak. Ketinggian tempat terdiri atas dua taraf yaitu 214 dan 780 m dpl. Aksesori tanaman kencur terdiri atas tujuh taraf yaitu Purbalingga (PBG), Cilacap (CLP), Purworejo (PWJ), Karanganyar (KRA), Pacitan (PCT), Madiun (MAD), dan Galesia 2 (GAL 2). Jumlah satuan percobaan sebanyak 54 petak, petak percobaan berukuran 2,4 m x 1,2 m dengan populasi tanaman di tiap petak percobaan berjumlah 60 tanaman dengan jarak tanam 15 cm x 20 cm.

3.4 Pelaksanaan Penelitian di Lapang

3.4.1 Persiapan bahan tanam dan pembibitan

Bahan tanam berupa potongan rimpang yang sehat, kulit rimpang mengkilat (bernas), tekstur daging agak keras, bebas hama, penyakit, dan tidak cacat. Berat rimpang berkisar antara 3–9 g dengan jumlah mata tunas berkisar antara 2–3 buah dan tinggi tunas <1 cm, terlebih dahulu direndam selama ± 5 menit dalam larutan fungisida berbahan aktif mankozeb 80%, dengan konsentrasi 1g/L air (Suhertini dan Lukman, 2010).

3.4.2 Penanaman dan Pemupukan

Pengolahan tanah dilakukan secara intensif dan manual, sehingga diperoleh struktur tanah yang merata, gembur, dan bersih dari gulma. Bibit kencur dipilih dengan kriteria berat rimpang, jumlah tunas, dan tinggi tunas relatif seragam. Bibit kencur ditanam pada lahan tanam berupa petak berukuran 2,4 m x 1,2 m dengan jarak tanam 15 cm x 20 cm dan kedalaman 7 cm dengan posisi tunas menghadap ke atas. Jarak antar petak percobaan adalah 50 cm. Lahan tanam diberi pupuk dasar yaitu pupuk kandang kambing (20 ton/ha), pupuk urea (250 kg/ha), SP 36 (200 kg/ha), dan KCl (200 kg/ha) atau setara dengan 8,64 kg pupuk kandang/petak, 90 g urea/petak, 70 g SP 36/petak, dan 70 g KCl/petak. Pupuk kandang diberikan 2 minggu sebelum tanam (MST). Pupuk urea diberikan pada 1, 2, dan 3 bulan setelah tanam (BST). SP 36 dan KCl diberikan sekaligus pada 3 BST. Teknik budidaya tanaman kencur mengacu pada Rostiana *et al.* (2009).

3.4.3 Pemeliharaan dan Pemanenan

Penyiangan secara periodik dilakukan hingga tanaman kencur berumur 2 BST. Penyiangan dan pengendalian hama-penyakit disesuaikan dengan kondisi lingkungan di lapangan, sedangkan penyiraman dilakukan 2 hari sekali apabila tidak turun hujan. Penyulaman dilakukan sampai tanaman berumur 2 MST menggunakan bibit yang umurnya sama dengan bibit yang sudah ditanam. Pemanenan dilakukan pada saat tanaman kencur berumur 12 BST.

3.5 Pengukuran Peubah Vegetatif

Peubah vegetatif yang diukur antara lain jumlah daun dan luas daun. Penghitungan jumlah daun dilakukan pada daun yang muncul di permukaan tanah baik yang masih muda (dalam bentuk tunas) maupun yang terbuka sempurna, jumlah daun dihitung secara manual pada umur 1, 3, 5, 7, 9, dan 11 BST. Sampel untuk menghitung jumlah daun diambil dari 5 rumpun tanaman kencur pada masing-masing aksesori di tiap ulangan. Pengukuran luas daun dilakukan pada daun yang lebar penuh, berwarna hijau tua, dan berkembang sempurna. Luas daun diukur menggunakan LI-COR® *Bioscience LI-3000C Portable Area Meter*. Luas daun diukur sebanyak tiga kali yaitu pada umur 2, 4, dan 6 BST. Sampel yang digunakan untuk mengukur luas daun diambil dari 5 rumpun tanaman kencur pada masing-masing aksesori di tiap ulangan. Tiap rumpun diambil 5 helai daun yang masih segar, berwarna hijau tua, daun lebar penuh, dan berkembang sempurna.

3.6 Pengukuran Peubah Fisiologi

Peubah fisiologi yang diukur antara lain konduktansi stomata, laju transpirasi, laju fotosintesis, klorofil total, dan kadar gula pada rimpang. Pengukuran konduktansi stomata, laju transpirasi, dan laju fotosintesis dilakukan sebanyak empat kali yaitu pada umur 2, 4, 6, dan 8 BST menggunakan alat LI-COR 6400XT *Portable Photosynthesis System* (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA) pada PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$. Sampel daun untuk mengukur parameter fotosintesis diambil dari 5 rumpun tanaman kencur pada masing-masing aksesori di tiap ulangan. Tiap rumpun diambil 5 helai daun dewasa yang segar, berwarna hijau tua, dan lebar penuh. Pengukuran parameter fotosintesis dilakukan secara langsung di lahan percobaan mulai pukul 10.00–12.00 WIB.

Pengukuran klorofil total dilakukan sebanyak tiga kali yaitu pada umur 2, 4, dan 6 BST menggunakan Spektrofotometer *Spectro Genesys*™ 20 (Massachusetts, USA). Sampel daun untuk pengukuran klorofil total diambil dari 5 rumpun tanaman kencur pada masing-masing aksesori di tiap ulangan. Tiap rumpun diambil 5 helai daun dewasa, berwarna hijau tua, dan lebar penuh. Pengukuran kandungan klorofil total mengacu pada metode Arnon (1949).

Pengukuran kadar gula rimpang dilakukan pada umur 12 BST. Sampel rimpang diambil dari 3 rumpun tanaman kencur pada masing-masing aksesori di tiap ulangan. Tiap rumpun diambil bagian rimpangnya kemudian dibersihkan dari akar dan tanah. Rimpang selanjutnya dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 60°C hingga berat kering konstan. Setelah diserbuk selanjutnya diambil ± 50 g untuk dianalisis kadar gula menggunakan metode Luff-Schroll (Wulandari, 2017).

3.7 Pengukuran Peubah Hasil dan Mutu

Analisis hasil dan mutu dilakukan pada rimpang hasil panen umur 12 BST. Peubah hasil yang diukur antara lain bobot rimpang segar dan bobot kering (daun, akar, dan rimpang). Peubah mutu yang dianalisis meliputi kadar fenol total, kadar minyak atsiri, komponen kimia minyak atsiri, kadar EPMS, kerapatan sel idioblas, uji histokimia, dan profil metabolit dengan LC-MS. Pengambilan sampel untuk mengukur hasil dan mutu diambil dari 5 rumpun per aksesori di masing-masing petak dan ulangan. Bobot rimpang segar dilakukan dengan menimbang rimpang

yang telah bersih dari akar dan tanah. Bobot kering daun, akar, dan rimpang dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70 °C hingga mencapai bobot kering konstan (Darmawan 2010).

Analisis fenol total mengacu pada Farmakope Herbal Indonesia (Anonim 2011) dengan metode Folin-Ciocalteu, sebagai standar digunakan asam galat. Sampel yang digunakan untuk analisis fenol total adalah serbuk rimpang kencur sebanyak ± 1 g. Analisis mutu lainnya adalah isolasi minyak atsiri mengacu pada Bhuiyan *et al.* (2008) dengan metode *hydrodistillation*. Sampel yang digunakan untuk analisis minyak atsiri adalah simplisia rajangan sebanyak ± 100 –150 g. Selanjutnya dilakukan analisis komponen kimia dari minyak atsiri rimpang kencur menggunakan GC-MS. Aksesori terpilih berdasarkan kelimpahan EPMS dari hasil analisis GC-MS dilakukan analisis lanjut menggunakan LC-MS untuk didapatkan profil metabolitnya (Han *et al.* 2015).

Analisis kerapatan sel idioblas dan uji histokimia dilakukan pada rimpang segar hasil panen umur 12 BST. Analisis kerapatan sel idioblas mengikuti metode Subaryanti (2005). Rimpang segar diiris setipis mungkin menggunakan silet, kemudian direndam dalam larutan NaOH 5% selama 48 jam. Setelah dibilas dengan akuades, selanjutnya irisan rimpang diwarnai dengan Sudan IV 0,03%, lalu diberi gliserin 1–2 tetes. Selanjutnya diamati menggunakan mikroskop cahaya dan dihitung kerapatan sel idioblasnya. Penghitungan dilakukan pada empat bidang pandang dengan tiga ulangan. Rumus untuk menghitung kerapatan sel idioblas adalah jumlah sel idioblas yang diperoleh dibagi dengan luas bidang pandang (mm^{-2}).

Uji histokimia dilakukan untuk mendeteksi lokasi dan kandungan senyawa metabolit sekunder seperti lipofilik, terpenoid, fenolik, alkaloid, dan flavonoid pada irisan melintang dan membujur rimpang segar dengan penambahan reagen khusus yang dapat diamati dengan mikroskop. Uji senyawa lipofilik mengacu pada Boix *et al.* (2011) yaitu dengan menambahkan Sudan IV 0,03% pada irisan rimpang kencur, kemudian dipanaskan dalam *water bath* pada suhu 40 °C selama 30 menit, hasil positif ditandai dengan adanya warna kuning sampai jingga pada sel idioblas. Uji terpenoid mengacu pada Martin *et al.* (2002) yaitu dengan menambahkan reagen kupri asetat 5% pada irisan rimpang kencur kemudian didiamkan selama 1–3 jam, hasil positif ditandai dengan adanya warna kuning kecoklatan pada sel idioblas. Uji fenolik mengacu pada Johansen (1940) yaitu dengan menambahkan reagen FeCl_3 10% pada irisan rimpang kencur kemudian ditambahkan beberapa butir natrium karbonat dan didiamkan selama 15 menit, hasil positif ditandai dengan adanya warna hijau gelap atau hitam pada sel idioblas.

Uji alkaloid mengacu pada Furr dan Mahlberg (1981) yaitu dengan menambahkan reagen Wagner 1% pada irisan rimpang kencur, hasil positif ditandai dengan adanya warna merah kecoklatan pada sel idioblas. Sebagai kontrol negatif dilakukan dengan cara merendam irisan rimpang ke dalam larutan asam tartarat 10% selama 48 jam, kemudian ditambahkan reagen Wagner 1%. Hasil positif alkaloid dapat dinyatakan apabila tidak terdapat warna merah kecoklatan pada sel idioblas. Uji flavonoid mengacu pada Guerin *et al.* (1971) yaitu sayatan rimpang direndam di dalam AlCl_3 5% dalam alkohol 85%. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop fluoresen dengan filter UV.

Kandungan senyawa flavonoid ditandai dengan pendaran berwarna kuning, hijau, atau biru.

3.8 Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan software SPSS 16,0 (SPSS Inc., *Chicago, IL, USA*) berupa uji *T-independent* ($\alpha=5\%$) dan *Analysis of Varians* (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% dan dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf $\alpha=5\%$ apabila terdapat perbedaan yang nyata (Gomez dan Gomez, 1995; Mattjik dan Sumertajaya, 2002). Identifikasi senyawa metabolit dari kromatogram LC-MS dilakukan dengan mencocokkan nilai *m/z* pada tabel *mass array* dengan massa akurat senyawa metabolit famili *Zingiberaceae* pada *Dictionary Natural Product* (DNP) (dnp.chemnetbase.com). Pendekatan yang digunakan dalam analisis terdiri dari analisis multivariat melalui program *MetaboAnalyst* 4,0 (<http://www.metaboanalyst.ca>) (Xia dan Wishart, 2016).

3.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam

Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa ketinggian tempat memengaruhi jumlah daun kecuali pada 11 BST, juga pada luas daun, dan konduktansi stomata kecuali pada 6 BST, serta pada laju transpirasi kecuali pada 4 BST, selanjutnya pada laju fotosintesis, klorofil total, dan kadar gula. Sementara itu, aksesori tidak memengaruhi jumlah daun pada 3 dan 5 BST, juga pada konduktansi stomata, dan laju transpirasi kecuali pada 6 BST, serta pada laju fotosintesis kecuali pada 2 BST, dan klorofil total. Interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori terjadi pada luas dan jumlah daun kencur berturut-turut pada 2 dan 3 BST, serta kadar gula pada rimpang.

Tabel 2 Hasil analisis ragam karakter fisiologi aksesori kencur pada agroekologi berbeda

Peubah	Umur tanaman (BST)	F-hitung		
		Lokasi	Aksesori	Interaksi
Jumlah daun	1	**	**	tn
	3	**	tn	*
	5	**	tn	tn
	7	*	*	tn
	9	*	*	tn
	11	tn	**	tn
Luas daun	2	**	**	**
	4	**	**	tn
	6	**	**	tn
Konduktansi stomata	2	**	tn	tn
	4	*	tn	tn
	6	tn	tn	tn
	8	**	tn	tn
Laju transpirasi	2	**	tn	tn
	4	tn	tn	tn
	6	*	*	tn
	8	*	tn	tn
Laju fotosintesis	2	**	*	tn
	4	**	tn	tn
	6	**	tn	tn
	8	*	tn	tn
Klorofil total	2	**	tn	tn
	4	**	tn	tn
	6	**	tn	tn
Kadar gula rimpang	12	**	**	**

* berbeda nyata pada $\alpha = 0,05$ dan ** berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$; tn= tidak berbeda nyata; BST= bulan setelah tanam

Berdasarkan Tabel 2, diketahui bahwa tidak ada interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori kencur terhadap konduktansi stomata, laju transpirasi, laju fotosintesis, dan klorofil total. Tidak adanya interaksi untuk karakter tersebut menyebabkan sulit untuk melihat perbedaan antara nilai pengamatan di dataran rendah maupun tinggi pada umur 2, 4, 6, dan 8 BST. Hal ini disebabkan karena semua aksesori akan memberikan respon yang sama meskipun pada lingkungan berbeda. Sebaliknya ketinggian tempat dan aksesori memengaruhi kadar gula pada rimpang, ini berarti bahwa kadar gula setiap aksesori kencur akan berlainan di ketinggian tempat yang berbeda.

Tabel 3 Hasil analisis ragam komponen hasil dan mutu aksesori kencur umur 12 BST pada agroekologi berbeda

Peubah	F-hitung		
	Lokasi	Aksesori	Interaksi
Bobot rimpang segar	**	**	tn
Bobot kering daun	**	tn	tn
Bobot kering akar	**	tn	tn
Bobot kering rimpang	**	tn	tn
Fenol total	tn	*	tn
Minyak atsiri	*	**	*
Rendemen minyak atsiri	**	**	**
Kerapatan sel idioblas pada jaringan korteks	**	**	**
Kerapatan sel idioblas pada jaringan empulur	**	**	**

* berbeda nyata pada $\alpha = 0,05$ dan ** berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$; tn= tidak berbeda nyata; BST= bulan setelah tanam

Ketinggian tempat memengaruhi komponen hasil dan mutu rimpang aksesori kencur kecuali fenol total, sedangkan aksesori tidak memengaruhi bobot kering daun, akar, dan rimpang artinya bobot kering dari setiap aksesori memberikan respon hampir sama dan tidak menunjukkan perbedaan nyata. Peubah minyak atsiri, rendemen minyak atsiri, dan kerapatan sel idioblas di jaringan korteks maupun empulur dipengaruhi oleh interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori kencur. Adanya interaksi untuk karakter tersebut memudahkan untuk melihat perbedaan antara nilai pengamatan di dataran rendah maupun tinggi. Hal ini disebabkan karena semua aksesori akan memberikan respon berbeda pada lingkungan berbeda (Tabel 3).

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Faktor lingkungan yang dicatat di dua lokasi penelitian adalah kondisi iklim dan tanah. Faktor lingkungan di lokasi penelitian dicatat selama 12 bulan (Juni 2017–Mei 2018). Kencur sebagai tanaman Zingiberaceae memerlukan lingkungan yang sesuai untuk tumbuh dan berkembang. Kencur dapat tumbuh optimal pada suhu 25–30 °C dengan curah hujan 2500–4000 mm/tahun (Rostiana *et al.* 2009). Lokasi penelitian dilakukan di dua tempat dengan agroekologi berbeda. Lokasi pertama adalah di Dramaga Bogor dengan ketinggian 214 m dpl (dataran rendah) dengan rata-rata curah hujan 3605 mm/tahun dan intensitas cahaya 21–64%. Rata-rata suhu di lokasi tersebut adalah 27–28 °C dengan kelembapan 76–86%. Lokasi kedua adalah Cisarua Bogor dengan ketinggian 780 m dpl (dataran tinggi) dengan rata-rata curah hujan 3276 mm/tahun dan intensitas cahaya 26–70%. Rata-rata suhu adalah 21–23 °C dengan kelembapan 79–93% (Tabel 4). Kondisi agroklimat di dua lokasi penelitian secara umum tergolong cukup baik untuk pertumbuhan aksesi kencur.

Tabel 4 Kondisi umum lokasi penelitian pada agroekologi berbeda

Lokasi	Suhu udara (°C)	Kelembapan relatif (%)	Intensitas cahaya matahari (%)	Jumlah curah hujan (mm/th)	Jumlah hari hujan (hari/th)	Tekstur tanah	C/N rasio	pH	KTK
Dataran rendah	27–28	76–86	21–64	3605	243	liat berdebu	rendah	agak masam	sedang
Dataran tinggi	21–23	79–93	26–70	3276	252	liat berdebu	rendah	agak masam	sedang

KTK = kapasitas tukar kation

Kandungan C organik tanah di dataran rendah 2,7% sedangkan C/N rasio adalah 6,8, sementara itu kandungan C organik tanah di dataran tinggi 1,8% dengan C/N rasio 5,4 (Lampiran 3). Tekstur tanah di dua lokasi penelitian tergolong liat berdebu, pH agak masam, KTK tergolong sedang, dan jenis tanah latosol (Eviati dan Sulaeman, 2009). Sesuai dengan pendapat Rostiana *et al.* (2009) bahwa kencur dapat tumbuh optimal pada ketinggian 50–600 m dpl dengan suhu rata-rata 25–30 °C, curah hujan per tahun 2500–4000 mm, intensitas cahaya matahari penuh (100%) atau ternaungi 25–30% hingga tanaman beumur 6 bulan, drainase tanah baik, tekstur tanah lempung sampai lempung liat berpasir, dengan jenis tanah latosol, regosol, asosiasi antara latosol-andosol, regosol-latosol serta regosol-litosol, dan pH tanah 5,5–6,5. Kondisi tanah di dua lokasi penelitian dapat dikatakan cukup baik untuk mendukung pertumbuhan aksesi tanaman kencur.

4.2 Karakter Fisiologi

4.2.1 Jumlah daun kencur

Jumlah daun tertinggi pada 11 BST di dataran rendah diperoleh dari aksesi PWJ (16,6 helai) dan MAD (16,5 helai) yang berbeda nyata dengan aksesi KRA, PCT, dan GAL 2. Sedangkan jumlah daun terendah pada 11 BST di dataran rendah diperoleh dari aksesi KRA (11,3 helai) dan GAL 2 (11,7 helai). Jumlah daun tertinggi pada 9 BST di dataran tinggi diperoleh dari aksesi PBG (10,6 helai) dan berbeda nyata dengan aksesi KRA (7,2 helai) (Tabel 5). Jumlah daun pada dataran rendah dan tinggi cenderung meningkat seiring bertambahnya umur tanaman, kecuali di dataran tinggi pada 5 BST dan di dataran rendah pada 7 BST karena terjadi senesen.

Tabel 5 Jumlah daun (helai) aksesi tanaman kencur pada umur dan ketinggian tempat yang berbeda

Perlakuan	Umur aksesi kencur						Rata-rata
	1 BST	3 BST	5 BST	7 BST	9 BST	11 BST	
Lokasi							
Dataran rendah	2,9	9,4*	13,4*	3,6	8,8	14,5*	8,8
Dataran tinggi	4,7*	8,2	1,9	4,9*	9,9*	13,9	7,3
Aksesi							
PBG	3,3 b	8,3 a	8,8 a	5,9 a	10,6 a	14,4 a-c	8,5
CLP	4,1 ab	8,1 a	7,9 a	4,3 ab	9,6 a	15,9 ab	8,3
PWJ	3,6 ab	8,9 ab	9,9 a	4,9 ab	10,5 a	16,6 a	9,1
KRA	5,2 a	10,4 b	6,5 a	2,2 b	7,2 b	11,3 c	7,1
PCT	3,0 b	8,4 a	6,8 a	4,8 ab	9,1 ab	13,0 bc	7,5
MAD	4,3 ab	8,8 ab	7,5 a	5,5 a	10,1 a	16,5 a	8,8
GAL 2	3,3 b	8,8 ab	6,3 a	2,4 b	8,4 ab	11,7 c	6,8
Rata-rata	3,8	8,8	7,7	4,3	9,4	14,2	

*signifikan pada uji *T-independent* ($\alpha = 0,05$); BST= bulan setelah tanam; PBG= aksesi Purbalingga; CLP= aksesi Cilacap; PWJ= aksesi Purworejo; KRA= aksesi Karanganyar; PCT= aksesi Pacitan; MAD= aksesi Madiun; GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Proses senesen yang terjadi lebih cepat di dataran tinggi pada umur 5 BST (Oktober 2017) diduga berhubungan dengan curah hujan yang rendah (129 mm) di lokasi tersebut, padahal untuk tumbuh optimal kencur membutuhkan air antara 208–333 mm/bulan (Rostiana dan Effendi, 2007). Kekurangan air pada tanaman yang diikuti dengan berkurangnya air pada daerah perakaran berakibat pada aktivitas fisiologis tanaman. Mekanisme yang terjadi adalah dengan mengecilnya ukuran daun untuk meminimalkan kehilangan air. Mekanisme ini di satu sisi akan mempertahankan kelangsungan hidup tanaman, tetapi di sisi lain akan mengurangi bobot kering tanaman (Gardner *et al.* 1991). Hong-Bo *et al.* (2008) melaporkan bahwa stress air akan menekan pertumbuhan sel sehingga akan mengurangi

pertumbuhan. Jumlah curah hujan yang rendah pada umur 5 BST ini, menyebabkan daun-daun pada aksesi kencur yang diuji berwarna kuning kecoklatan, layu, kering, kemudian luruh. Namun demikian, kondisi rimpang masih baik. Hal ini dibuktikan dengan munculnya tunas baru pada bulan berikutnya.

Menurut Horvath *et al.* (2003), bahwa fenomena senesen adalah tertundanya pertumbuhan titik tumbuh (meristem) atau terhentinya dormansi tunas yang diperlukan untuk kelangsungan hidup tanaman dari kondisi lingkungan yang tidak optimal. Nihayati *et al.* (2013) melaporkan bahwa temulawak yang ditanam pada musim kemarau memiliki rentang waktu tumbuh hingga senesen lebih cepat dibandingkan musim hujan, yaitu sekitar 4 BST, sedangkan pada musim penghujan tinggi tanaman dan jumlah daun terbanyak dicapai pada umur 6 BST. Tajuk merupakan *sink* yang kuat saat fase vegetatif karena sebagian besar fotosintat diakumulasikan ke arah tajuk dan selanjutnya diarahkan ke umbi (rimpang) saat fase pertumbuhan maksimum. Tajuk mengalami penurunan akumulasi fotosintat saat fase senesen, sedangkan rimpang cenderung menjadi *sink* yang kuat pada fase ini. Hal ini terjadi karena adanya proses *nutrient remobilization* yaitu pengangkutan nutrisi dari daun dan batang menjelang senesen menuju organ penyimpanan (rimpang) (Maillard *et al.* 2015).

Jumlah daun yang meningkat di dataran rendah diduga berhubungan dengan rendahnya cahaya di lokasi tersebut (21–64%) bila dibandingkan di dataran tinggi (26–70%). Hal ini sesuai dengan pendapat Devkota dan Jha (2010) bahwa intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan daun. Jumlah daun meningkat hampir dua kali lipat pada tanaman kencur di dataran rendah. Menurut Darmawan (2008) jumlah daun yang terbentuk sangat ditentukan oleh kemampuan tanaman untuk memacu pertumbuhan vegetatifnya. Daun merupakan organ yang penting bagi kelangsungan hidup tanaman karena sebagai tempat terjadinya proses fotosintesis yang mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Hasil fotosintesis didistribusikan ke seluruh bagian tanaman untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

4.2.2 Luas daun kencur

Luas daun aksesi kencur menunjukkan respon berbeda di dataran rendah dan tinggi pada 2, 4, dan 6 BST. Perbedaan respon ini ditunjukkan dengan adanya interaksi antara ketinggian tempat dan aksesi pada umur 2 BST. Di dataran rendah dan tinggi pada 2 BST, aksesi PBG memiliki luas daun tertinggi berturut-turut adalah 65,7 dan 35,4 cm² dan berbeda dengan aksesi lainnya. Luas daun di dataran tinggi meningkat pada 4 BST, sedangkan di dataran rendah terjadi pada 6 BST. Luas daun aksesi PBG di dataran rendah maupun tinggi pada umur 4 BST sebesar 55,7 cm² dan pada 6 BST sebesar 102,8 cm² dan tidak berbeda dengan aksesi PWJ dan MAD (Tabel 6).

Tabel 6 Luas daun (cm²) aksesi tanaman kencur pada umur dan ketinggian tempat yang berbeda

Perlakuan	Umur aksesi kencur			Rata-rata	
	2 BST	4 BST	6 BST		
Lokasi					
Dataran rendah		35,1	87,5*	61,3	
Dataran tinggi		43,7*	60,8	52,3	
Aksesi	Dataran rendah	Dataran tinggi			
PBG	65,7 a	35,4 bc	55,7 a	102,8 a	64,9
CLP	33,2 c	17,9 d	43,8 b	65,8 bc	40,2
PWJ	45,2 b	20,3 d	46,4 ab	85,4 ab	49,3
KRA	20,5 d	10,2 d	23,4 c	40,5 c	23,7
PCT	31,3 c	14,8 d	31,6 c	72,7 b	37,6
MAD	36,1 bc	15,4 d	46,6 ab	89,4 ab	46,9
GAL 2	14,2 d	15,0 d	28,2 c	62,2 bc	29,9
Rata-rata	35,2	18,4	39,4	74,1	

*signifikan pada uji T-independent ($\alpha = 0,05$); BST= bulan setelah tanam; 2 BST= fase vegetatif awal; 4 BST= fase vegetatif maksimum; 6 BST= fase awal senesen; PBG= aksesi Purbalingga; CLP= aksesi Cilacap; PWJ= aksesi Purworejo; KRA= aksesi Karanganyar; PCT= aksesi Pacitan; MAD= aksesi Madiun; GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Cahaya yang rendah diduga meningkatkan luas daun pada aksesi PBG pada umur 2, 4, dan 6 BST di dataran rendah yaitu pada bulan Juli, September, dan Nopember 2017 dengan intensitas cahaya berturut-turut sebesar 55%, 61%, dan 37% (Lampiran 1). Peningkatan luas daun menggambarkan kemampuan tanaman dalam mengatasi rendahnya intensitas cahaya. Peningkatan luas daun juga sebagai upaya tanaman dalam mengefisienkan penangkapan energi cahaya untuk melakukan fotosintesis secara normal pada kondisi intensitas cahaya rendah (Buntoro *et al.* 2014).

Rata-rata luas daun di dataran rendah lebih tinggi 22% dibandingkan pada dataran tinggi (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa aksesi kencur mampu beradaptasi pada intensitas cahaya rendah yaitu dengan cara meningkatkan luas daun agar dapat menyerap cahaya lebih maksimal. Luas daun adalah faktor penentu dalam mekanisme intersepsi cahaya dan pertukaran energi (Peksen 2007). Menurut Hatem *et al.* (2007) bahwa, tanaman yang berada pada kondisi cahaya rendah akan meningkatkan luas daun untuk memaksimalkan absorpsi cahaya sehingga daun terlihat lebih tipis. Peningkatan luas daun pada kondisi cahaya rendah adalah bentuk adaptasi tanaman untuk mendapatkan cahaya secara optimal. Respon tanaman untuk meningkatkan luas daun pada cahaya rendah telah dilakukan pada tanaman kunyit (Syahid *et al.* 2010), temulawak (Setiyono *et al.* 2011), temuputih (Buntoro *et al.* 2014), dan kentang (Djuariah *et al.* 2017; Purnomo *et al.* 2018).

4.2.3 Parameter fotosintesis pada aksesi kencur

Laju fotosintesis aksesi kencur yang ditanam di dataran rendah pada umur 2 BST ($26,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ det}^{-1}$) lebih tinggi dan berbeda nyata dengan aksesi kencur di dataran tinggi ($22,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ det}^{-1}$) (Tabel 7). Faktor-faktor yang memengaruhi laju fotosintesis adalah air, CO_2 , klorofil, dan cahaya. Laju fotosintesis akan terhambat apabila kekurangan salah satu atau lebih dari faktor tersebut. Hasil ini sejalan dengan data luas daun pada umur 2 BST yang memiliki luas daun paling besar di dataran rendah juga meningkatkan laju fotosintesis. Rong-hual *et al.* (2006) dan Giannakoula *et al.* (2012) menyatakan bahwa luas daun berkorelasi positif dengan laju fotosintesis.

Widiastuti *et al.* (2004) melaporkan bahwa perbedaan ketinggian tempat akan memengaruhi intensitas cahaya, suhu udara, kelembapan udara, dan suhu tanah. Intensitas cahaya yang rendah di dataran rendah (21–64%) memberikan efek positif untuk tanaman dengan titik kompensasi cahaya rendah dan menjadi alternatif dalam mengatasi intensitas cahaya yang terlalu tinggi. Xu *et al.* (2014) menyatakan bahwa aktivitas fotosintesis menurun sejalan dengan menurunnya intensitas cahaya. Laju fotosintesis menurun pada umur 4 dan 6 BST dengan intensitas cahaya berturut-turut 61 dan 37% lebih rendah dibandingkan pada dataran tinggi yaitu berturut-turut 69 dan 35% (Lampiran 1 dan 2). Laju transpirasi dan konduktansi stomata aksesi kencur di dataran rendah berbeda dengan dataran tinggi pada umur 2 BST.

Tabel 7 Parameter fotosintesis aksesi kencur pada umur dan lokasi berbeda

Umur aksesi kencur	Lokasi	Konduktansi stomata ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$)	Laju transpirasi ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$)	Laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$)
2 BST (vegetatif awal)	Dataran rendah	0,2*	5,5*	26,9*
	Dataran tinggi	0,1	3,6	22,1
4 BST (vegetatif maksimum)	Dataran rendah	0,3	8,8	19,1
	Dataran tinggi	0,4*	8,6	20,8
6 BST (awal senesen)	Dataran rendah	0,3	10,4	20,9
	Dataran tinggi	0,3	10,9*	22,5
8 BST (pembesaran rimpang)	Dataran rendah	0,6	14,4*	23,7
	Dataran tinggi	0,7*	14,1	22,6

*signifikan pada uji T-independent ($\alpha = 0,05$)

Menurut Policegoudra dan Aradhya (2007) bahwa pola pertumbuhan temu-temuan terdiri atas 4 fase yaitu fase vegetatif awal (2 BST), fase vegetatif

maksimum (4 BST), fase awal senesen (6 BST), dan fase pembesaran rimpang (8 BST). Ketinggian tempat memengaruhi konduktansi stomata, laju transpirasi, dan laju fotosintesis aksesi kencur. Di dataran rendah pada 2 BST (fase vegetatif awal), parameter fotosintesis lebih tinggi dibandingkan dataran tinggi. Sementara itu, konduktansi stomata dan laju transpirasi berbeda nyata pada fase pembesaran rimpang (8 BST) (Tabel 7).

Di dataran rendah pada umur 2 BST konduktansi stomata, laju transpirasi, dan laju fotosintesis lebih tinggi daripada dataran tinggi. Hal ini diduga berkaitan dengan intensitas cahaya dan kelembapan. Perbedaan faktor-faktor lingkungan tersebut dapat memengaruhi pertukaran gas pada daun (*leaf gas exchange*) sebagai organ fotosintesis (Yasutake *et al.* 2001; Sendall *et al.* 2009). Luas daun memiliki hubungan linier dengan *leaf gas exchange* termasuk laju transpirasi dan konduktansi stomata (Quamruzzaman *et al.* 2018). Laju fotosintesis juga bergantung pada beberapa faktor di antaranya ketebalan daun (Kalariya *et al.* 2015), umur daun (Nautiyal *et al.* 1999), ketersediaan nutrisi dan air (Rahman *et al.* 2011). Intensitas cahaya yang rendah (55%) di dataran rendah pada 2 BST (Juli 2017) berdampak pada peningkatan luas daun sebagai bentuk adaptasi tanaman untuk efisiensi proses fotosintesis. Tanaman mempunyai mekanisme toleransi atau adaptasi terhadap intensitas cahaya rendah (1) dengan cara menghindari seperti warna daun yang lebih hijau atau daun lebih tipis dan luas, (2) dengan cara toleransi yaitu penurunan titik kompensasi cahaya dan penurunan fotorespirasi (Susanto dan Sundari, 2011).

Fase vegetatif awal aksesi kencur terjadi pada umur 2 BST. Fase ini meliputi 3 proses penting yaitu pembelahan sel, pembesaran sel, dan diferensiasi sel (Ashari 1995). Pembelahan sel terjadi pada jaringan meristematik, pembesaran sel diikuti dengan terjadinya pemanjangan sel. Tahap diferensiasi merupakan hasil perkembangan yang terjadi tidak hanya pada perubahan kuantitatif saja tetapi juga kualitatif di antara sel, jaringan, dan organ. Pada fase vegetatif terjadi pertumbuhan reproduktif, antara lain pembentukan organ penyimpan cadangan makanan yaitu rimpang. Bagian tertentu rimpang tumbuh mata-mata tunas yang memungkinkan munculnya anakan atau rumpun tumbuhan baru (Haryadi 1991). Fase vegetatif merupakan fase penting dan krusial karena terjadi pertumbuhan yang sangat cepat, tunas dan anakan baru muncul, dan rimpang mulai membentuk percabangan baru. Pada fase ini diperlukan lingkungan yang optimal dan nutrisi cukup untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan rimpang selanjutnya (Babu dan Ravindran, 2004).

Daun adalah organ yang berperan penting selama fase vegetatif, karena stomata pada daun adalah gerbang utama yang mengendalikan pertukaran CO₂ dan uap air. Proses tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti cahaya, ketersediaan air, suhu udara, dan kelembapan (Xu dan Xhou, 2008). Kondisi stomata yang terbuka dan konduktansi stomata yang lebih tinggi di dataran rendah diikuti dengan laju transpirasi yang tinggi pula (Shi *et al.* 2015). Konduktansi stomata dan laju transpirasi yang lebih tinggi di dataran rendah pada 8 BST (Januari 2018) diduga berkaitan dengan rendahnya kelembapan udara di lokasi tersebut. Kelembapan udara yang relatif rendah (81%) menyebabkan potensial air di udara menjadi lebih negatif, karena mengandung sedikit uap air, kondisi ini akan mendorong peningkatan laju transpirasi (Lambers *et al.* 2008).

Laju transpirasi dan konduktansi stomata tanaman diketahui memiliki hubungan yang erat dan berpengaruh terhadap fotosintesis tanaman (Xie dan Luo, 2003).

Laju fotosintesis aksesi kencur di dataran rendah cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan dataran tinggi. Adapun penurunan laju fotosintesis di dataran rendah terjadi pada umur 4 dan 6 BST yaitu pada fase vegetatif maksimum dan awal senesen. Laju fotosintesis aksesi kencur yang cenderung tinggi di dataran rendah diduga terkait dengan konduktansi stomata yang juga tinggi di lokasi tersebut dan berdampak pada peningkatan difusi CO_2 yang masuk melalui stomata. Difusi CO_2 yang lebih tinggi memungkinkan reaksi karboksilasi oleh enzim Rubisco di ruang mesofil juga lebih tinggi, dan hal ini memacu peningkatan laju fotosintesis (Fujimura *et al.* 2010; Kostopoulou dan Karatassiou, 2016). Adapun penurunan laju fotosintesis di dataran rendah pada umur 4 BST (September 2017) dan 6 BST (November 2017) diduga, bahwa tanaman kencur tercekam oleh cahaya rendah. Cahaya matahari merupakan sumber energi utama bagi reaksi fotosintesis. Energi matahari yang diserap oleh daun sekitar 1-5%, sedangkan sisanya dikeluarkan melalui transpirasi dan dipancarkan atau dipantulkan (Taiz dan Zeiger, 2010).

Ketika intensitas cahaya yang diserap rendah, maka potensial elektron yang tereksitasi menjadi rendah pula karena energi foton yang terbatas. Tanaman membuat strategi penyaluran dan pendistribusian cahaya secara efisien yaitu dengan memendarkan dan menyalurkan cahaya. Penelitian Seeman (1989) pada *Glycine max* dan *Alocasia macorrhiza* menunjukkan bahwa pada intensitas cahaya rendah, aktivitas enzim Rubisco menurun sehingga laju fotosintesis menurun. menurunnya intensitas cahaya matahari berpengaruh pada proses-proses yang terjadi di dalam tanaman antara lain fotosintesis, respirasi, transpirasi, dan penuaan (*senescence*) (Sirait 2006).

Laju fotosintesis aksesi kencur di dataran rendah kembali naik pada umur 8 BST (Januari 2018). Hal ini diduga disebabkan oleh aksesi kencur yang sudah mampu menyesuaikan diri di lokasi tersebut. Intensitas cahaya yang rendah dalam kurun waktu tertentu akan menurunkan suhu lingkungan di lokasi tersebut. Tanaman yang sudah mampu menyesuaikan diri dengan kondisi cahaya dan suhu rendah cenderung akan meningkatkan aktivitas enzim-enzim yang berperan dalam proses fotosintesis seperti Rubisco, sedoheptulosa-1,7-bisfosfatase (SBPase), dan fruktosa-1,6-bisfosfatase (Yamori *et al.* 2013). Peningkatan aktivitas enzim-enzim fotosintesis ini tentunya mendorong peningkatan laju fotosintesis. Daun tanaman cenderung memiliki kapasitas fotosintesis yang lebih kuat pada kondisi yang kurang menguntungkan untuk menyuplai karbohidrat dan bahan organik yang cukup, sehingga tanaman dapat melangsungkan proses-proses biokimia dan fisiologinya (Xie dan Luo, 2003).

Laju fotosintesis aksesi kencur di dataran rendah pada umur 8 BST kembali meningkat, hal ini menunjukkan bahwa rimpang masih memiliki kapasitas yang kuat dalam menarik fotosintat yang dibuktikan dengan kenaikan bobot kering rimpang pada saat panen umur 12 BST (Li *et al.* 2016). Laju fotosintesis terendah aksesi kencur pada 4 BST di dataran rendah diduga disebabkan oleh konduktansi stomata yang lebih rendah di lokasi tersebut dan kebutuhan fotosintat belum terlalu tinggi, masih sebatas pada pertumbuhan organ-organ vegetatif. Laju fotosintesis tanaman kencur secara umum meningkat seiring bertambahnya umur tanaman di dua lokasi penelitian, kecuali pada umur 4 BST baik di dataran rendah

maupun dataran tinggi. Peningkatan laju fotosintesis tersebut diduga disebabkan oleh adanya proses-proses terbentuknya organ reproduksi (bunga) dan pembentukan rimpang yang terjadi seiring bertambahnya umur tanaman, sehingga kebutuhan fotosintat untuk pertumbuhan organ-organ *sink* meningkat. Peningkatan permintaan fotosintat akan mendorong peningkatan kemampuan organ-organ *sink* dalam menarik fotosintat, sehingga akan memengaruhi laju fotosintesis (Marcelis 1996; McCormick *et al.* 2006).

4.2.4 Kandungan klorofil total pada daun kencur

Klorofil berperan dalam menangkap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia, memicu fiksasi CO₂ untuk menghasilkan karbohidrat pada proses fotosintesis. Ketinggian tempat memengaruhi kandungan klorofil total pada 2 BST (fase vegetatif awal) dan 6 BST (fase awal senesen). Sedangkan pada 4 BST (fase vegetatif maksimum) terjadi interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori, kandungan klorofil total tertinggi diperoleh dari aksesori KRA (1,1 mg/g bobot basah daun) di dataran rendah dan berbeda dengan aksesori lainnya. Kandungan klorofil total tertinggi di dataran tinggi dijumpai pada aksesori MAD (1,2 mg/g bobot basah daun) dan berbeda dengan aksesori PBG dan KRA. Pada 6 BST kandungan klorofil total nyata lebih tinggi di dataran tinggi pada fase awal senesen (1,6 mg/g bobot basah daun) (Tabel 8).

Kandungan klorofil total rata-rata di dataran tinggi meningkat sebesar 23% dibandingkan di dataran rendah. Peningkatan kandungan klorofil total mengindikasikan bahwa tanaman kencur dapat beradaptasi di dataran tinggi. Devkota dan Jha (2010) melaporkan bahwa, terjadi peningkatan kandungan klorofil total pada tanaman pegagan yang ditanam di bawah cahaya rendah, serta *Piper aduncum* L. (Pacheco *et al.* 2013). Danesi *et al.* (2004) menyatakan bahwa cahaya rendah dapat meningkatkan kandungan klorofil total dan berat kering daun. Perbedaan kandungan klorofil total pada aksesori kencur ini diduga disebabkan oleh intensitas cahaya rendah.

Tabel 8 Kandungan klorofil total (mg/g bobot basah daun) aksesori kencur pada umur dan lokasi berbeda

Perlakuan	Umur tanaman kencur			Rata-rata
	2 BST	4 BST	6 BST	
Lokasi				
Dataran rendah	0,9		1,1	1,0
Dataran tinggi	1,0		1,6*	1,3
Aksesori		Dataran rendah	Dataran tinggi	
PBG		0,7 de	0,8 b-e	0,8
CLP		0,8 c-e	0,9 a-e	0,9
PWJ		0,7 e	1,0 a-d	0,9
KRA		1,1 ab	0,9 b-e	1,0
PCT		0,7 c-e	0,9 a-e	0,8
MAD		0,7 de	1,2 a	0,9
GAL 2		0,7 de	1,0 a-c	0,9
Rata-rata		0,8	0,9	

*signifikan pada uji T-independent ($\alpha = 0,05$); BST= bulan setelah tanam; 2 BST= fase vegetatif awal ; 4 BST= fase vegetatif maksimum; 6 BST= fase awal senesen; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Besarnya kandungan klorofil total di dataran tinggi terkait dengan intensitas cahaya pada 4 BST (September 2017) yaitu sebesar 69% dan 6 BST (Nopember 2017) yaitu sebesar 35% (Lampiran 2). Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Rahardjo (2012) pada tanaman *Zingiber officinale* bahwa klorofil total akan meningkat secara nyata dengan turunnya intensitas cahaya matahari (kondisi ternaungi). Fenomena yang sama terjadi sebaliknya pada dataran rendah, dataran rendah dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan dataran tinggi menyebabkan jumlah klorofil total lebih rendah. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Boyce dan Mohamed (1987) dan Aarti (2007) yang melaporkan bahwa intensitas cahaya yang tinggi akan menghambat biosintesis klorofil, khususnya pada biosintesis 5-aminolevulinat sebagai precursor klorofil. Menurut Johnston dan Onwueme (1998), dengan semakin rendah intensitas cahaya maka tanaman akan melakukan adaptasi dengan meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya tiap unit area fotosintetik. Adaptasi yang dilakukan tanaman adalah dengan meningkatkan jumlah klorofil per unit luas daun.

Jumlah klorofil total aksesori kencur di dataran tinggi pada umur 4 dan 6 BST sejalan dengan tingginya laju fotosintesis pada lokasi dan waktu yang sama. Klorofil dalam jumlah besar akan meningkatkan kemampuan tanaman dalam menangkap cahaya matahari dan dapat mempercepat laju fotosintesis (Sukendro dan Sugiarto, 2012). Semakin meningkatnya laju fotosintesis maka semakin banyak karbohidrat yang terbentuk. Hal ini diperkuat dengan tingginya kadar gula pada rimpang yang dapat dilihat pada Tabel 9. Karbohidrat dalam bentuk gula

digunakan untuk sintesis klorofil. Karbohidrat yang tersedia dalam jumlah cukup akan meningkatkan sintesis klorofil sehingga kadar klorofil lebih tinggi pada daun yang mendapatkan intensitas cahaya rendah. Jumlah klorofil total aksesori kencur di dataran tinggi pada fase vegetatif awal (2 BST) meningkat, kemudian menurun pada fase vegetatif maksimum (4 BST) dan naik kembali sampai awal senesen (6 BST). Hal ini sejalan dengan pendapat Yang *et al.* (2014) bahwa, konsentrasi klorofil umumnya akan meningkat pada awal pertumbuhan (fase vegetatif) dan akan berkurang pada fase penuaan.

4.2.5 Kadar gula pada rimpang kencur

Tabel 9 menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori terhadap kadar gula pada rimpang, hal ini mengindikasikan bahwa kadar gula di dataran rendah dan tinggi berbeda pada setiap aksesori kencur. Kadar gula aksesori kencur di dataran rendah meningkat pada aksesori PBG, PWJ, dan MAD, masing-masing dari 0,7 menjadi 3,8%, dari 0,9 menjadi 2,2%, dan dari 0,9 menjadi 2,8%. Intensitas cahaya yang rendah di dataran tinggi tidak berdampak pada kandungan gula aksesori KRA. Hal ini menunjukkan bahwa aksesori KRA responsif di dataran tinggi. Kandungan gula aksesori PCT nyata lebih tinggi (2,9%) di dataran rendah dan berbeda dengan aksesori lainnya. Di dataran tinggi, kadar gula aksesori PBG (3,8%) tidak berbeda dengan aksesori CLP dan GAL 2.

Tabel 9 Kadar gula (%) pada rimpang aksesori kencur umur 12 BST pada ketinggian tempat berbeda

Aksesori kencur	Dataran rendah	Dataran tinggi	Rata-rata
PBG	0,7 g	3,8 a	2,3
CLP	1,3 f	3,7 a	2,5
PWJ	0,9 g	2,2 d	1,5
KRA	1,8 e	1,9 e	1,8
PCT	2,9 c	3,3 b	3,1
MAD	0,9 g	2,8 c	1,8
GAL 2	3,2 b	3,6 a	3,4
Rata-rata	1,7	3,1	

BST= bulan setelah tanam; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Hal ini memperkuat dugaan bahwa aksesori kencur di dataran tinggi mengalami cekaman oleh intensitas cahaya (41%) dan suhu (23 °C) yang rendah. Yuanyuan *et al.* (2009) menyatakan bahwa gula berperan sebagai osmoprotektan dan pelindung membran sel dari kerusakan. Tanaman yang tumbuh di dataran tinggi membutuhkan energi yang lebih besar untuk menanggapi cekaman lingkungan, dan untuk mengatasi keadaan tersebut gula akan diakumulasi pada organ *sink* dalam hal ini adalah rimpang sebagai salah satu mekanisme toleransi terhadap cekaman (Ma *et al.* 2015). Kandungan gula yang tinggi di dataran tinggi diduga pula berkaitan dengan peningkatan laju fotosintesis dan kebutuhan organ *sink* seiring dengan penambahan umur aksesori kencur. Laju fotosintesis aksesori kencur cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya umur tanaman dan

menghasilkan fotosintat berupa gula yang selanjutnya ditranslokasikan ke organ *sink* dan digunakan untuk pertumbuhan (Hossain *et al.* 2012; Braun *et al.* 2014).

Kemampuan adaptasi aksesori kencur pada cahaya rendah dapat ditunjukkan dengan cara kemampuannya meningkatkan kandungan gula pada rimpang. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lautt *et al.* (2000) bahwa cahaya rendah menyebabkan kandungan gula (sukrosa) pada daun meningkat. Kandungan gula yang tinggi pada aksesori kencur di cahaya rendah menguntungkan tanaman karena transport fotosintat lebih lancar. Adaptasi aksesori PBG pada intensitas cahaya rendah ditunjukkan dengan tingginya kandungan gula pada rimpang. Hal ini menyebabkan hasil rimpang aksesori PBG lebih tinggi dibandingkan aksesori lainnya, seperti ditunjukkan pada Tabel 10.

4.3 Komponen Hasil dan Mutu

4.3.1 Bobot rimpang segar kencur

Bobot rimpang segar dipengaruhi oleh ketinggian tempat dan aksesori kencur secara terpisah. Secara umum, bobot rimpang segar di dataran rendah lebih tinggi dibandingkan dengan di dataran tinggi masing-masing adalah 1432,4 dan 722,8 g/rumpun. Adapun aksesori yang memiliki bobot rimpang segar tertinggi adalah PBG (1448,7 g/rumpun) dan berbeda nyata dengan varietas pembandingnya (GAL 2) (Tabel 10).

Tabel 10 Bobot rimpang segar (g/rumpun) aksesori tanaman kencur pada umur 12 BST pada ketinggian tempat berbeda

Perlakuan	Bobot rimpang segar (g/rumpun)
Lokasi	
Dataran rendah	1432,4*
Dataran tinggi	722,8
Aksesori	
PBG	1448,7 a
CLP	826,8 ab
PWJ	1401,3 ab
KRA	881,2 ab
PCT	1056,3 ab
MAD	1131,3 ab
GAL 2	797,5 b
Rata-rata	1077,6

*signifikan pada uji *T-independent* ($\alpha = 0,05$); PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Rimpang merupakan hasil utama yang diharapkan dalam budidaya kencur. Tingginya bobot rimpang di dataran rendah diduga terkait dengan kesuburan tanah dan faktor iklim di lokasi tersebut. Air diperlukan pada proses fotosintesis dan pengatur suhu (Taiz dan Zeiger, 2010). Air yang tersedia bagi tanaman bergantung pada tekstur tanah. Tekstur lempung berliat memiliki kisaran penyerapan air paling besar, dibandingkan dengan lempung berdebu, lempung

berpasir, dan berpasir (Eviati dan Sulaeman, 2009). Tanah latosol merah di dataran rendah dengan tekstur tanah lempung berliat dan kandungan C organik tinggi (2,7%) memiliki daya menahan air yang tinggi, sehingga mendukung perkembangan rimpang lebih baik (Setiyono *et al.* 2011). Sementara itu, di dataran tinggi tekstur tanah liat berdebu dengan kandungan C organik rendah (1,7%) (Lampiran 3). Kondisi ini menyebabkan tanah di dataran tinggi memiliki agregasi dan porositas lebih rendah sehingga aerasi tanah kurang baik, rimpang tidak dapat berkembang dan produksipun menjadi rendah. Tanah yang kaya bahan organik memungkinkan pertukaran O_2 dan CO_2 yang penting bagi aktivitas akar. Bahan organik mempunyai kemampuan mengabsorpsi air cukup tinggi (Siringoringo 2014). Untuk memperoleh hasil rimpang yang tinggi, maka kondisi tanah yang baik adalah gembur dengan kandungan bahan organik relatif tinggi, sehingga iklim mikro tanah (kelembapan, suhu, dan aerasi tanah) dapat dipertahankan (Rostiana *et al.* 2009).

Partikel tanah dan bahan organik tanah bermuatan negatif, unsur hara yang tersedia dalam bentuk anion seperti fosfat ($H_2PO_4^-$ atau HPO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}), dan klor (Cl^-) akan mudah tercuci, sehingga tidak tersedia bagi tumbuhan. Nitrogen memang dapat tersedia dalam bentuk ammonium (NH_4^+) tetapi bentuk ini segera teroksidasi menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri di dalam tanah, oleh sebab itu sebagian besar akar membutuhkan NO_3^- untuk memacu pertumbuhannya (Taiz dan Zeiger, 2010).

Ketersediaan air yang cukup juga merangsang proses translokasi fotosintat. Pengaruh tidak langsung dari tersedianya air di dalam tanah terhadap produksi adalah bertambahnya penyerapan hara dari tanah. Tingginya penyerapan unsur hara berbanding lurus dengan laju sintesis bahan kering, sehingga fotosintat yang dihasilkan juga tinggi. Secara langsung kecukupan air meningkatkan laju translokasi fotosintat ke bagian rimpang (Jumin 2002; Ratri *et al.* 2015).

Fase pembentukan rimpang kencur dimulai pada umur 4–6 BST (September–Nopember 2017). Jumlah hari hujan di dataran rendah pada bulan September, Oktober, dan Nopember berturut-turut adalah 21 hari, 19 hari, dan 18 hari dengan rata-rata jumlah curah hujan berturut-turut 284 mm, 192 mm, dan 130 mm (Lampiran 1). Kondisi demikian memengaruhi pertumbuhan rimpang. Peranan air dalam perkembangan rimpang sangat besar, sehingga apabila air tidak tersedia maka perkembangan rimpang akan terhambat. Pertumbuhan rimpang ditentukan oleh tersedianya O_2 , air, dan kandungan unsur organik dalam tanah (Setiyono *et al.* 2011). Apabila defisit air terjadi pada periode pertumbuhan vegetatif, maka akan berpengaruh pada komponen pertumbuhan dan hasil (*Spice Board of India*, 2012). Hasil ini diperkuat oleh beberapa penelitian yang menyatakan bahwa curah hujan yang cukup akan meningkatkan bobot rimpang pada jahe (Djazuli dan Syukur, 2009), temulawak (Setiyono *et al.* 2011), dan lengkuas (Bermawie *et al.* 2012).

Laju fotosintesis dan translokasi fotosintat yang optimal di dataran rendah berpengaruh positif terhadap rimpang yang dihasilkan. Fotosintat yang ditranslokasikan dalam jumlah tinggi menuju organ *sink* (rimbang) dan adanya hubungan yang baik antara *source-sink* akan memengaruhi produksi rimpang aksesori kencur (Sujatha *et al.* 2008; Li *et al.* 2016). Laju fotosintesis dan kandungan gula yang tinggi di dataran tinggi, tidak diikuti dengan bobot rimpang

yang tinggi. Turunnya laju fotosintesis pada umur 4–6 BST diduga memengaruhi perkembangan rimpang.

Fotosintat yang dihasilkan pada umur 4–6 BST diduga tidak mampu memenuhi kebutuhan organ *sink* (rimfang) yang mulai berkembang saat itu. Adapun laju fotosintesis dan fotosintat yang dihasilkan tidak serta merta didistribusikan ke arah perkembangan rimpang sepenuhnya, melainkan digunakan pula untuk melindungi membran sel dari kerusakan akibat kondisi yang kurang menguntungkan seperti suhu rendah. Suhu udara pada 4–6 BST dataran tinggi adalah 23 °C (Lampiran 2), sedangkan untuk tumbuh optimal kencur membutuhkan suhu 25–30 °C (Rostiana *et al.* 2009). Tanaman yang tumbuh di lingkungan ekstrim seperti dataran tinggi membutuhkan karbohidrat (gula) yang cukup untuk menjaga pertumbuhan dan meningkatkan kemampuan bertahan hidup (Pan *et al.* 2011).

Suhu rendah diketahui dapat menghambat proses *phloem-loading*, sehingga translokasi fotosintat ke arah rimpang lebih lambat. Kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan dapat mendorong tanaman mengubah prioritas pertumbuhannya melalui perubahan laju fotosintesis dan organ *sink* (rimfang) yang terbentuk (ukuran dan jumlah). Hal ini akan mengakibatkan perubahan besar pada hubungan *source-sink* tanaman dan memengaruhi fluktuasi hasil (*yield*) tanaman itu sendiri (Roitsch 1999). Hubungan antara *source-sink* yang menentukan hasil tidak bersifat tetap, melainkan dapat berubah oleh faktor lingkungan (Li *et al.* 2016), seperti dilaporkan oleh Setiyono *et al.* (2011) bahwa suhu udara yang rendah dan kenaikan tinggi tempat di atas permukaan laut akan menurunkan bobot rimpang pada temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*).

4.3.2 Bobot kering daun, akar, dan rimpang kencur

Bobot kering merupakan gambaran dari translokasi fotosintat ke seluruh bagian tanaman. Unsur hara yang telah diserap akar memberi kontribusi terhadap pertambahan bobot kering tanaman (Pangaribuan 2010; Suryaningrum *et al.* 2016). Ketinggian tempat memengaruhi bobot kering daun, akar, dan rimpang aksesi kencur. Bobot kering daun, akar, dan rimpang di dataran rendah nyata lebih tinggi dibandingkan dengan di dataran tinggi. Di dataran rendah, bobot kering daun dan rimpang nyata lebih tinggi 18,9% dan 59,3% dibandingkan dengan di dataran tinggi yaitu 15,6% dan 57,2% masing-masing untuk bobot kering daun dan rimpang (Tabel 11).

Tabel 11 Bobot kering aksesi kencur pada umur 12 BST pada ketinggian tempat berbeda

Lokasi	Bobot kering (g/rumpun)			
	Daun	Akar	Rimpang	Rata-rata
Dataran rendah	96,6*	111,9*	303,9*	170,8
Dataran tinggi	34,4	59,9	125,8	73,3
Rata-rata	65,4	85,9	214,8	

*signifikan pada uji T-independent ($\alpha = 0,05$)

Bobot kering tanaman mencerminkan efisiensi penyerapan dan pemanfaatan radiasi matahari yang tersedia disepanjang periode pertumbuhan oleh tajuk tanaman (Gardner *et al.* 2008), dan akumulasi senyawa anorganik yang dapat disintesis tanaman menjadi senyawa organik (Kastono *et al.* 2005). Bobot kering atau simplisia daun, akar, dan rimpang aksesi kencur yang dihasilkan di dataran rendah lebih tinggi dibandingkan dataran tinggi. Hal ini diduga karena jumlah dan luas daun aksesi kencur di dataran rendah lebih banyak dan luas. Daun berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses fotosintesis dan menangkap cahaya matahari (Guritno dan Sitompul, 1995). Jumlah daun yang banyak diduga menyebabkan jumlah cahaya yang diserap aksesi kencur juga banyak, sehingga fotosintat yang dihasilkan tinggi. Jumlah daun mempengaruhi bobot kering tanaman (Rahmania 2014). Bobot kering daun, akar, dan rimpang tanaman kencur di dataran tinggi lebih rendah dibandingkan dataran rendah. Hal ini diduga disebabkan gugurnya daun (senesen) lebih cepat yaitu pada 5 BST (Oktober 2017). Jumlah curah hujan dan hari hujan pada bulan tersebut berturut-turut adalah 129 mm dan 10 hari (Lampiran 2) diduga mengakibatkan daun-daun menguning, kering, dan rontok sehingga mengurangi bobot kering daun, akar, dan rimpang aksesi kencur.

Dugaan lain yang menyebabkan bobot kering pada aksesi kencur di dataran tinggi rendah adalah intensitas cahaya matahari. Intensitas cahaya di dataran tinggi sebenarnya cukup besar (26–70%), namun cahaya sering tertutup awan sehingga tidak maksimal untuk terjadinya proses fotosintesis. Penurunan intensitas cahaya menyebabkan laju fotosintesis menurun (Tabel 7) yang pada akhirnya menyebabkan fotosintat yang dihasilkan juga menurun. Fotosintat yang rendah menyebabkan bobot kering aksesi kencur pada dataran tinggi juga rendah. Gardner *et al.* (1991) menyatakan bahwa bobot kering tanaman budidaya merupakan akibat dari penimbunan hasil bersih asimilasi CO₂ sepanjang musim pertumbuhan. Asimilasi CO₂ merupakan hasil penyerapan energi matahari, sehingga faktor utama yang memengaruhi peningkatan bobot kering adalah intensitas cahaya matahari.

Cahaya memegang peranan penting dalam proses fisiologis tanaman terutama untuk proses fotosintesis, respirasi, dan transpirasi. Intensitas cahaya yang dibutuhkan tanaman cukup beragam, ada tanaman yang membutuhkan cahaya matahari penuh dan ada tanaman yang tidak tahan terhadap cahaya yang berlebihan. Intensitas cahaya rendah menurunkan hasil pada beberapa tanaman seperti jahe (Pamuji dan Saleh, 2010; Wahyuni *et al.* 2013) dan kunyit (Syahid *et al.* 2012). Hal ini sejalan dengan pendapat Harjadi (1991) bahwa, besarnya cahaya yang tertangkap pada proses fotosintesis menunjukkan biomassa, sedangkan

besarnya biomassa dalam jaringan tanaman mencerminkan bobot kering. Oleh karena itu, untuk mendapatkan bobot kering yang maksimal diperlukan intensitas cahaya penuh.

4.3.3 Kandungan fenol total rimpang kencur

Tabel 12 menunjukkan bahwa aksesori memengaruhi kandungan fenol total pada rimpang kencur. Aksesori yang memiliki kandungan fenol terbesar dan terkecil berturut-turut adalah PWJ dan KRA. Aksesori PWJ (26,8 mg GAE/g ekstrak) tidak berbeda dengan PBG, PCT, MAD, dan GAL 2. Sementara itu aksesori KRA (13,7 mg GAE/g ekstrak) berbeda dengan PWJ, PCT, dan GAL 2.

Tabel 12 Kandungan fenol total rimpang aksesori kencur pada umur 12 BST

Aksesori kencur	Fenol total (mg GAE/g ekstrak)
PBG	19,2 a-c
CLP	15,4 bc
PWJ	26,8 a
KRA	13,7 c
PCT	25,6 a
MAD	22,7 a-c
GAL 2	23,8 ab
Rata-rata	21,0

GAE= *gallic acid equivalent*; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; dan GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Fenol merupakan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman sebagai senyawa pertahanan terhadap patogen cendawan, serangga, dan herbivora. Semakin tinggi kadar fenol diharapkan ketahanan tanaman juga semakin tinggi (Bermawie *et al.* 2013). Fenol dalam rimpang kencur didominasi oleh turunan asam sinamat yang bertanggungjawab terhadap rasa dan aroma khas kencur (Tripathi *et al.* 2013). Kandungan fenol total dipengaruhi oleh aksesori kencur dan kandungan tertinggi dijumpai pada aksesori PWJ. Translokasi fotosintat ke arah rimpang pada aksesori PWJ diduga dipengaruhi oleh kemampuan aksesori (faktor genetik) tersebut dalam mendistribusikan fotosintat dengan dukungan banyaknya jumlah daun (16,6 helai) sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis.

Cincin aromatik pada senyawa fenol disintesis melalui jalur asam sikimat dari asam amino fenilalanin sebagai prekursor kemudian dikonversi menjadi asam sinamat yang selanjutnya digunakan sebagai senyawa awal pembentukan turunan fenol (Bhattacharya *et al.* 2010). Kandungan fenol dipengaruhi oleh faktor internal (genetik) dan eksternal (lingkungan tumbuh). Biosintesis fenol terjadi di plastida dengan rangsangan cahaya matahari (Scott dan Fuchigami, 2017), seperti dilaporkan oleh Ghasemzadeh dan Neda (2011) terhadap kandungan fenol pada jahe dan Wu *et al.* (2015) terhadap kandungan curcumin (fenol) pada kunyit, bahwa intensitas cahaya matahari dapat meningkatkan kandungan fenol pada kedua tanaman tersebut.

4.3.4 Kadar dan rendemen minyak atsiri rimpang kencur

Interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori memengaruhi kadar dan rendemen minyak atsiri rimpang kencur (Tabel 13). Minyak atsiri di dataran rendah pada aksesori MAD (3,2%) tidak berbeda dengan GAL 2 (2,3%), sedangkan di dataran tinggi kandungan minyak atsiri tertinggi diperoleh dari aksesori PBG (2,8%) dan berbeda dengan aksesori KRA (1,3%). Sementara itu rendemen minyak atsiri tertinggi di dataran rendah dijumpai pada aksesori MAD (2,7%) berbeda nyata dengan aksesori CLP, PWJ, dan KRA. Rendemen tertinggi di dataran tinggi diperoleh pada aksesori PBG (5,1%) berbeda nyata dengan aksesori lainnya.

Beberapa aksesori dengan kandungan minyak atsiri lebih dari 2 % yang telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 2005) dan Materi Medika Indonesia (Anonim 1997) adalah aksesori MAD dan GAL 2 dari dataran rendah dan aksesori PBG, CLP, PCT, dan MAD dari dataran tinggi yang berkisar antara 2,4-3,9% (Tabel 13). Sudiarto *et al.* (1985) melaporkan bahwa dataran tinggi (1200 m dpl) dapat meningkatkan kadar minyak atsiri rimpang temulawak dan dataran rendah (240 m dpl) meningkatkan produksi rimpangnya.

Tabel 13 Kadar dan rendemen minyak atsiri rimpang aksesori kencur umur 12 BST pada ketinggian tempat berbeda

Lokasi	Aksesori	Minyak atsiri (% v/b*)	Rendemen (% v/b*)
Dataran rendah	PBG	1,40 c-f	1,77 b-d
	CLP	0,98 f	0,53 e
	PWJ	1,06 ef	0,65 e
	KRA	1,17 d-f	0,50 e
	PCT	1,01 f	2,38 bc
	MAD	3,22 a	2,67 b
	GAL 2	2,31 a-e	2,51 bc
	Rata-rata	1,59	1,57
Dataran tinggi	PBG	2,80 ab	5,12 a
	CLP	2,22 a-f	2,16 b-d
	PWJ	1,76 b-f	1,71 cd
	KRA	1,33 c-f	1,25 de
	PCT	2,53 a-c	2,67 b
	MAD	2,37 a-d	2,35 bc
	GAL 2	1,66 b-f	2,11 b-d
	Rata-rata	2,09	2,48

*berdasarkan bobot kering rimpang kencur; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; dan GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Salah satu indikator mutu rimpang kencur adalah tingginya kadar minyak atsiri. Minyak atsiri (*volatile oils*) adalah campuran kompleks antara senyawa *organic volatile* dan *non volatile* dari tanaman yang memiliki bau dan rasa khas (Tisserand dan Young, 2013; Sirousmehr *et al.* 2014). Minyak atsiri merupakan metabolit sekunder yang terbentuk dari faktor genetik dan sistem enzim yang khas (Geissman dan Grout, 1969). Hasil analisis minyak atsiri rimpang kencur pada

ketinggian tempat berbeda diperoleh kadar dan rendemen bervariasi. Rendemen minyak atsiri tertinggi (5,1%) diperoleh dari aksesori PBG di dataran tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Armando (2009), bahwa rendemen minyak atsiri kencur berkisar antara 2,8–5,8%. Beberapa faktor yang memengaruhi kadar dan rendemen minyak atsiri di antaranya adalah kesuburan tanah, ketersediaan air, variasi genetik, lingkungan tumbuh, dan kondisi geografi (Rostiana dan Subaryanti, 2010; Aragaw *et al.* 2011; Kavitha dan Menon, 2013; Bermawie *et al.* 2013; da Costa *et al.* 2014; Preetha *et al.* 2016).

Pengaruh tinggi tempat terutama berkaitan dengan perbedaan laju proses metabolisme tanaman (Baharsyah *et al.* 1985), dimana keadaan cuacanya berbeda. Akibat perbedaan suhu setiap kenaikan 1000 m dpl, suhu turun 5,5–6,2 °C. Radiasi matahari biasanya relatif lebih rendah pada dataran tinggi karena cuaca sering berawan dan lama penyinaran harian berkurang. Hadad *et al.* (1989) melaporkan bahwa ketinggian tempat memengaruhi pertumbuhan dan hasil jahe.

Kadar minyak atsiri dari aksesori MAD (3,2%) di dataran rendah, diduga berhubungan dengan kandungan C organik di lokasi tersebut. Kandungan C organik di dataran rendah (2,7%) lebih tinggi dibandingkan dataran tinggi (1,8%) (Lampiran 3). Yulipriyanto (2010) melaporkan bahwa tersedianya C organik akan meningkatkan populasi mikroorganisme di dalam tanah. Kandungan C organik dalam tanah digunakan untuk mengetahui tingkat pelapukan dan kecepatan penguraian bahan organik serta ketersediaan nutrisi dalam tanah (Backhtiar 2006). Purwoko (2007) menyatakan bahwa mikroorganisme akan berkembang baik jika kandungan bahan organik sebagai sumber makanan tersedia di lingkungannya, sehingga unsur-unsur mikro tanah yang penting untuk proses enzimatik akan berlangsung secara optimal. Ketersediaan unsur hara, terutama kandungan C organik akan meningkatkan kadar minyak atsiri sebagai metabolit sekunder (Widyastuti dan Sugiarso, 2003), dan berkorelasi positif dengan kadar minyak atsiri pada jahe (*Zingiber officinale*) (Suryawati dan Murniyanto, 2011).

Kadar dan rendemen minyak atsiri dari varietas pembandingan GAL 2 di dataran rendah cukup tinggi yaitu berturut-turut adalah 2,3 dan 2,5%, hal ini diduga terkait dengan kondisi iklim dan tingkat kesuburan tanah di lokasi tersebut sehingga menunjang pertumbuhan kencur GAL 2. GAL 2 adalah kencur varietas unggul yang sangat responsif dan lebih stabil terhadap perbedaan lingkungan tumbuhnya. Kencur GAL 2 juga beradaptasi secara spesifik pada lingkungan tumbuh di ketinggian 350–650 m dpl dengan kadar minyak atsiri 2,1–6,6% (Rostiana *et al.* 2006; Rostiana dan Effendi, 2007).

Kadar minyak atsiri yang tinggi di dataran rendah juga dipengaruhi oleh cukupnya jumlah hari hujan (7–28 hari) dan jumlah curah hujan (130–526 mm). Air diserap oleh akar kemudian masuk ke xilem, selanjutnya ditransportasikan ke batang dan daun. Di daun, air digunakan untuk mensintesis senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat, lemak, protein, dan bahan organik lainnya (Taiz dan Zeiger, 2010).

Kadar dan rendemen minyak atsiri yang diperoleh dari aksesori PBG di dataran tinggi diduga terkait dengan faktor genetik, jumlah daun dan faktor lingkungan seperti intensitas cahaya dan suhu udara. Tingginya jumlah daun pada aksesori PBG di dataran tinggi memungkinkan proses fotosintesis berjalan dengan baik karena daun berperan untuk menangkap cahaya dan merupakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Perkembangan jumlah daun juga akan

memengaruhi perkembangan tanaman. Semakin banyak daun dapat diartikan semakin banyak cahaya yang dapat ditangkap sehingga proses fotosintesis akan optimal. Fotosintat yang dihasilkan di daun (*source*) akan didistribusikan ke rimpang (*sink*) (Buntoro *et al.* 2014), karena fotosintat dalam bentuk pati tidak selalu ditranslokasikan untuk pertumbuhan sebagai energi (metabolit primer), tetapi dapat juga dikonversi menjadi metabolit sekunder lainnya seperti minyak atsiri (Widiyanto dan Siarudin, 2013). Rehman *et al.* (2016) menyatakan bahwa tingginya intensitas cahaya akan meningkatkan kadar dan rendemen minyak atsiri. Syahid *et al.* (2012) juga melaporkan bahwa intensitas cahaya sekitar 70% atau ternaungi 30% menghasilkan kadar minyak atsiri tertinggi (4,8%) pada rimpang kunyit (*Curcuma domestica*).

Akresi PBG yang berasal dari Purbalingga Jawa Tengah telah cukup lama dibudidayakan di dataran rendah (100 m dpl) memberikan mekanisme toleransi di wilayah yang lebih tinggi dengan kisaran suhu 21–23 °C. Kemampuan toleransi ini ditunjukkan dengan meningkatkan kandungan minyak atsiri pada rimpang. Peningkatan akumulasi fotosintat pada rimpang diduga sebagai bentuk toleransi tanaman terhadap kondisi lingkungan di dataran tinggi seperti suhu udara yang rendah. Semakin rendah suhu udara harian, maka penggunaan karbohidrat untuk respirasi juga akan lambat. Pada kisaran toleransi, tingginya intensitas cahaya yang cukup lama disertai rendahnya suhu udara, akan dihasilkan fotosintat yang maksimal (Stenström *et al.* 2002; Yonghua *et al.* 2008; Yaqoob dan Nachoo, 2017).

Transport fotosintat yang lancar dapat mengurangi hambatan fotosintesis yang disebabkan oleh penumpukan karbohidrat (pati) di dalam jaringan daun. Karbohidrat hasil fotosintesis digunakan sebagai substrat pembentukan minyak atsiri melalui proses glikolisis yang menghasilkan asam piruvat. Asam piruvat akan mengalami sejumlah reaksi, sehingga dihasilkan geranil pirofosfat sebagai senyawa prekursor dalam pembentukan minyak atsiri (Croteau *et al.* 2000). Kadar dan rendemen minyak atsiri maksimum pada *Porcelia macrocarpa* diperoleh saat suhu udara rendah (da Silva *et al.* 2013).

Pengaruh ketinggian tempat terhadap kadar minyak atsiri telah dipublikasikan dengan baik antara lain terhadap genotipe kencur Kaga-04 (*Kaempferia galanga*) yang ditanam pada ketinggian 350 m dpl menghasilkan minyak atsiri sebesar 7,6% (Rostiana dan Subaryanti, 2010). Genotipe lengkuas merah Alga 013 (*Alpinia galanga*) yang ditanam pada ketinggian 500 m dpl menghasilkan kadar minyak atsiri paling tinggi (0,3–0,5%) (Bermawie *et al.* 2012). Kadar minyak atsiri adas di dataran tinggi relatif lebih besar dibandingkan dataran rendah (Rusmin dan Melati, 2007). Minyak atsiri dalam tanaman berfungsi sebagai alat pertahanan terhadap cekaman lingkungan seperti iklim (Gurusarayanan *et al.* 2010), ketinggian tempat (Verma *et al.* 2014), dan infeksi patogen (Akula dan Ravishankar, 2011). Minyak atsiri bagi manusia berguna untuk kesehatan (aromaterapi), kosmetik, parfum, industri farmasi, industri makanan dan minuman (Sanchez-Gonzales *et al.* 2011).

4.3.5 Kerapatan sel idioblas rimpang kencur

Minyak atsiri merupakan substansi aromatik yang dihasilkan dari sel atau kelenjar yang terspesialisasi dalam tanaman (Bouwmeester *et al.* 2019). Sel atau kelenjar tersebut tersimpan di dalam struktur sekretori yang diklasifikasikan oleh

Fahn (1990) menjadi beberapa macam di antaranya adalah sel idioblas, trikoma kelenjar, rongga sekretori, dan sel minyak. Rimpang pada aksesori kencur memiliki struktur sekretori berupa sel idioblas. Sel idioblas ini dijumpai pada jaringan korteks dan empulur dengan kerapatan bervariasi. Namun kerapatan di jaringan empulur lebih besar dibandingkan pada jaringan korteks.

Kerapatan sel idioblas di dataran rendah dan dataran tinggi berbeda pada aksesori kencur yang diuji. Perbedaan respon ini ditunjukkan dengan adanya interaksi antara ketinggian tempat dan aksesori kencur (Tabel 14). Kerapatan sel idioblas yang berada di jaringan empulur pada dataran rendah berkisar antara 39,6–90,5 sel/mm² dan kerapatan tertinggi dijumpai pada aksesori PCT (90,5 sel/mm²). Kerapatan sel idioblas pada dataran tinggi berkisar antara 38,7–77,1 sel/mm² dan kerapatan tertinggi dijumpai pada aksesori PBG (77,1 sel/mm²). Semakin rapat sel idioblas per satuan luas, maka jumlah sel tersebut semakin banyak dan dengan demikian ukuran sel akan semakin kecil. Seperti dilaporkan oleh Rupa *et al.* (2017) bahwa, ukuran sel idioblas pada umbi *Hyptis capitata* lebih kecil namun kerapatannya lebih tinggi dan antara ukuran dengan kerapatan sel idioblas tidak menunjukkan perbedaan nyata.

Tabel 14 Kerapatan sel idioblas rimpang kencur pada jaringan korteks dan empulur umur 12 BST di ketinggian tempat berbeda

Lokasi	Aksesori	Korteks (sel/mm ²)	Empulur (sel/mm ²)
Dataran rendah	PBG	9,8 gh	77,8 b
	CLP	6,5 i	72,8 c
	PWJ	11,1 g	40,8 j
	KRA	10,5 gh	46,3 h
	PCT	9,3 h	90,5 a
	MAD	17,1 f	48,5 g
	GAL 2	3,8 j	39,6 jk
	Rata-rata	9,7	59,5
Dataran tinggi	PBG	20,2 e	77,1 b
	CLP	29,6 d	59,3 f
	PWJ	31,9 c	45,3 h
	KRA	18,1 f	38,7 k
	PCT	68,3 a	66,3 d
	MAD	59,1 b	62,1 e
	GAL 2	17,7 f	42,8 i
	Rata-rata	34,9	55,9

BST= bulan setelah tanam; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; GAL 2= Galesia 2. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji selang berganda Duncan)

Struktur sekretori menurut Dickison (2000) adalah sel atau jaringan tumbuhan yang berfungsi sebagai tempat sekresi senyawa metabolit seperti minyak esensial, getah, resin, lateks, alkaloid, glikosida, dan garam mineral. Struktur sekretori berdasarkan lokasinya dibedakan menjadi dua yaitu struktur sekretori eksternal dan internal. Struktur sekretori eksternal meliputi trikoma,

nektarium atau kelenjar madu, dan hidatoda, sedangkan struktur sekretori internal berupa idioblas, rongga sekretori, saluran sekretori, dan latisifer. Struktur sekretori yang dijumpai pada rimpang aksesi kencur berupa sel idioblas. Hal demikian juga dapat dijumpai pada beberapa famili Zingiberaceae lainnya seperti *Alpinia zerumbet* (Victorio 2011), *Curcuma zedoaria* (Indriyani 2017), dan *Zingiber officinale* (Mu *et al.* 2015; Liu *et al.* 2020). Sel idioblas adalah sel yang terdapat dalam suatu jaringan yang berbeda bentuk, ukuran, kandungan, maupun fungsinya dari sel-sel di sekitarnya (Matos dan Paiva, 2012). Sel idioblas yang berisi minyak atsiri dapat terbentuk pada lingkungan yang ekstrim sebagai respon adaptasi tanaman. Liu *et al.* (2020) menyatakan bahwa kerapatan sel idioblas tertinggi pada rimpang *Zingiber officinale* dijumpai pada jaringan empulur dan diduga mengandung minyak atsiri. Glas *et al.* (2012) melaporkan bahwa kepadatan trikoma tergantung pada jaringan dan kondisi lingkungan. Peningkatan kadar zingiberene pada trikoma *Tetranychus evansi* terbukti berkorelasi dengan fungsinya sebagai senyawa pengusir serangga.

Sel idioblas dapat menyimpan berbagai senyawa metabolit sekunder dalam jumlah cukup besar seperti minyak, resin, dan tanin. Sel idioblas pada rimpang *Alpinia zerumbet* juga diduga mengandung minyak atsiri (Victorio 2011). Jumlah sel minyak pada rimpang jahe akan meningkat seiring bertambahnya umur tanaman, sehingga rimpang yang sudah dewasa lebih banyak mengandung minyak atsiri daripada rimpang yang masih muda (Mu *et al.* 2015).

Sel idioblas pada rimpang aksesi kencur memiliki bentuk bulat sampai lonjong terdapat di jaringan korteks dan empulur. Nilai kerapatan sel idioblas dari aksesi kencur yang diamati sangat bervariasi namun kerapatan sel idioblas pada jaringan korteks lebih rendah daripada di jaringan empulur, baik di dataran rendah maupun di dataran tinggi. Idioblas adalah sel khusus yang mempunyai fungsi tertentu, sebagai contoh idioblas pada sel-sel daun *Citrus* dan *Begonia* yang berfungsi sebagai tempat menyimpan kristal kalsium oksalat yang berbentuk prisma, empat persegi panjang atau piramida (Fahn 1982), dan idioblas yang menyimpan senyawa lipofil pada *Hyptis capitata* kerapatannya sekitar empat belas kali lebih besar ($271,7 \text{ sel/mm}^2$) dibandingkan *Piper porphyrophyllum* ($18,4 \text{ sel/mm}^2$) (Rupa *et al.* 2017).

Sel idioblas pada rimpang kencur diduga mengandung minyak atsiri dan kerapatannya dikaitkan dengan fungsinya sebagai senyawa pertahanan terhadap cekaman lingkungan seperti iklim (Gurusaravanam *et al.* 2010), ketinggian tempat (Verna *et al.* 2014), dan infeksi patogen seperti nematoda, bakteri *Ralstonia solanacearum* penyebab busuk pada rimpang, *Phyllosticta* sp. penyebab bercak daun, kutu perisai *Aspidiella hartii* penyebab kering pada rimpang, lalat *Mimegralla coeruleifrons* dan *Eumerus figurans* penyebab rimpang menjadi keriput dan busuk (Rostiana dan Effendi, 2007; Rostiana *et al.* 2009). Sedangkan bagi manusia, minyak atsiri dari rimpang kencur berfungsi sebagai antioksidan (Meksee *et al.* 2010), antibakteri (Lakshmanan *et al.* 2011), antifungi, nematisida, dan antiinflamasi (Sahoo *et al.* 2014; Umar *et al.* 2014).

Kerapatan sel idioblas tertinggi di dataran rendah dan dataran tinggi dijumpai masing-masing pada aksesi PBG dan PCT, didukung oleh hasil analisis GC-MS seperti ditunjukkan pada Tabel 15. Senyawa minyak atsiri yang dijumpai pada aksesi PBG dan PCT antara lain *EPMS*, *ethyl cinnamate*, *pentadecane*, *r-muurolene*, *germacrene*, *3-carene*, *1,8-cineole*, *naphthalene*, dan *2-propenoic acid*.

Diduga senyawa-senyawa tersebut diakumulasi di dalam sel idioblas rimpang kencur. Senyawa EPMS dijumpai pada semua aksesori kencur yang diamati dan menjadi senyawa identitas pada rimpang kencur. Jumlah dan kepadatan sel idioblas menurut Sharma *et al.* (1980) sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan.

Faktor lingkungan yang diduga berhubungan dengan kepadatan sel idioblas di dataran rendah adalah intensitas cahaya. Intensitas cahaya di dataran rendah pada 12 BST sebesar 50%, sedangkan di dataran tinggi sebesar 41%. Hal ini diduga menjadi penyebab laju fotosintesis di dataran rendah lebih optimal dibandingkan dataran tinggi. Menurut Pratama dan Laily (2015), bahwa cahaya memengaruhi pembentukan klorofil dan laju fotosintesis.

4.3.6 Senyawa kimia dalam minyak atsiri rimpang kencur hasil GC-MS

Tabel 15 menunjukkan bahwa hasil analisis GC-MS dari minyak atsiri rimpang kencur terdeteksi 15 senyawa di dataran rendah dan 10 senyawa di dataran tinggi. Senyawa utama yang terdeteksi pada rimpang aksesori kencur di dua lokasi adalah EPMS. Di dataran rendah, kadar EPMS berkisar antara 12,5–71,6% dan di dataran tinggi berkisar antara 30,9–74,8%.

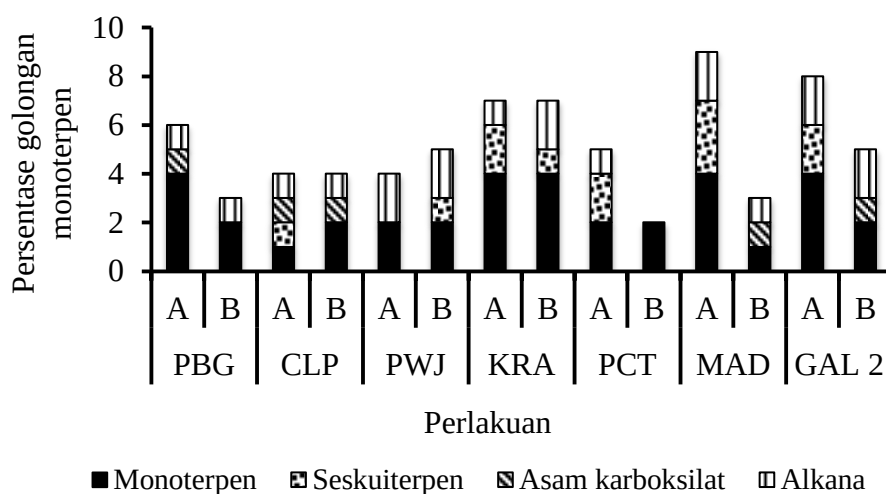
Tabel 15 Komponen penyusun minyak atsiri rimpang aksesori kencur hasil GC-MS pada ketinggian tempat berbeda

Kadar senyawa (%)								
Dataran rendah								
No.	Senyawa	PBG	CLP	PWJ	KRA	PCT	MAD	GAL 2
1	EPMS	27,9	59,9	13,3	12,5	71,6	28,8	38,5
2	<i>Ethyl cinnamate</i>	-	-	8,5	8,9	5,2	9,2	8,2
3	<i>3-carene</i>	3,8	-	-	-	-	3,4	7,9
4	<i>4-tetradecene</i>	-	-	-	-	-	-	-
5	<i>1,8-cineole</i>	1,2	-	-	-	-	1,4	1,3
6	<i>Naphtalene</i>	1,5	-	-	-	-	-	-
7	<i>Cinnamic acid</i>	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Endo-borneole</i>	-	-	-	1,7	-	-	-
9	<i>Trans-geraniol</i>	-	-	-	2,5	-	-	-
10	<i>2-propenoic acid</i>	9,0	7,7	-	-	-	-	-
11	<i>Pentadecane</i>	17,5	8,8	31,7	26,5	26,5	36,9	13,7
12	<i>8-heptadecane</i>	-	-	1,7	-	-	1,8	1,2
13	<i>Patchouli alcohol</i>	-	1,9	-	-	-	2,9	1,5
14	<i>r-muurolene</i>	-	-	-	4,3	4,3	1,2	-
15	<i>Germacrene-B</i>	-	-	-	1,2	1,2	-	-
16	<i>Caryophyllene</i>	-	-	-	-	-	2,1	-
17	<i>α-amorphene</i>	-	-	-	-	-	-	1,2
Rata-rata		10,2	19,6	13,8	8,2	21,8	9,8	9,2
Dataran tinggi								
No.	Senyawa	PBG	CLP	WJ	KRA	PCT	MAD	GAL 2
1	EPMS	74,8	30,9	43,7	54,0	48,4	39,8	43,1
2	<i>Ethyl cinnamate</i>	5,4	-	9,7	4,9	9,4	-	-
3	<i>3-carene</i>	-	2,4	-	9,1	-	-	1,1
4	<i>4-tetradecene</i>	-	-	1,8	1,7	-	-	2,2
5	<i>1,8-cineole</i>	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Naphtalene</i>	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Cinnamic acid</i>	-	-	-	-	-	12,3	11,7
8	<i>Endo-borneole</i>	-	-	-	1,0	-	-	-
9	<i>Trans-geraniol</i>	-	-	-	-	-	-	-
10	<i>2-propenoic acid</i>	-	12,9	-	-	-	-	-
11	<i>Pentadecane</i>	8,1	17,4	17,6	6,8	-	16,9	17,4
12	<i>8-heptadecane</i>	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>Patchouli alcohol</i>	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>r-muurolene</i>	-	-	-	1,8	-	-	-
15	<i>Germacrene-B</i>	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Caryophyllene</i>	-	-	2,7	-	-	-	-
17	<i>α-amorphene</i>	-	-	-	-	-	-	-
Rata-rata		29,4	15,9	15,1	11,3	28,9	23,0	15,1

- = tidak terdeteksi; EPMS= etil-p-metoksisinamat; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; GAL 2= Galesia 2

Karbohidrat hasil fotosintesis digunakan sebagai substrat pembentukan minyak atsiri melalui proses glikolisis akan menghasilkan asam piruvat. Selanjutnya, asam piruvat mengalami sejumlah reaksi dan menghasilkan geranil pirofosfat yang merupakan senyawa prekursor minyak atsiri golongan monoterpen. Minyak atsiri kencur didominasi oleh golongan monoterpen (Tewtrakul *et al.* 2005; Indrayan *et al.* 2007; Bhuiyan *et al.* 2008). Ramak *et al.* (2014) melaporkan bahwa proses fotosintesis menghasilkan karbohidrat sebagai produk utama (jalur metabolisme primer) yang merupakan prekursor untuk menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder seperti minyak atsiri (monoterpen). Fotosintesis akan berjalan baik apabila faktor-faktor yang terlibat di dalamnya tersedia optimal seperti cahaya, air, unsur hara, dan kondisi tanaman itu sendiri (Ariyanti dan Asbur, 2018).

Komponen senyawa kimia yang menyusun minyak atsiri rimpang kencur adalah *pentadecane* (6,8–36,9%), *ethyl cinnamate* (4,9–9,7%), *2-propenoic acid* (7,7–12,9%), *caryophyllene* (2,1–2,7%), *3-carene* (1,1–9,1%), *α -muurolene* (1,2–4,3%), *patchouli alcohol* (1,5–2,9%), dan *1,8-cineole* (1,2–1,4%). Senyawa metabolit tersebut termasuk golongan monoterpen, seskuiterpen, asam karboksilat, dan alkana. Monoterpen adalah golongan terbesar yang menyusun senyawa kimia minyak atsiri rimpang kencur. Persentase golongan monoterpen dari minyak atsiri rimpang kencur disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Persentase golongan monoterpen yang terdeteksi dalam minyak atsiri rimpang kencur pada ketinggian tempat berbeda melalui analisis GC-MS (A= dataran rendah; B= dataran tinggi; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PWJ= aksesori Purworejo; KRA= aksesori Karanganyar; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun; dan GAL 2= Galesia 2)

Komponen kimia dalam minyak atsiri sangat bervariasi dengan struktur alifatik, aromatik, dan terpenoid. Komponen yang mudah menguap terdiri dari golongan terpen aromatik, aldehida, keton, fenol, asam volatil, dan ester (Butnariu dan Sarac, 2018). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa di dalam rimpang kencur terkandung senyawa aromatik EPMS yang cukup signifikan,

senyawa ini dapat difraksinasi dari minyak atsiri (Harapini *et al.* 1996; Tewtrakul *et al.* 2005; Indrayan *et al.* 2007; Tunsaringkarn *et al.* 2007; Bhuiyan *et al.* 2008; Rostiana dan Subaryanti, 2010; Raina dan Abraham, 2015), maupun dari ekstrak metanol rimpang kencur (Chairul 1996; Umar *et al.* 2012; Srivastava *et al.* 2019). Perbedaan komponen kimia dalam minyak atsiri rimpang aksesori kencur yang ditanam pada ketinggian tempat berbeda, karena adanya respon aksesori kencur yang diuji terhadap lingkungannya. Seperti dilaporkan oleh Bettaieb *et al.* (2009) bahwa biosintesis minyak atsiri berhubungan dengan aktivitas enzim yang komponen kimianya dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti ketersediaan air dan unsur hara di dalam tanah.

Kandungan EPMS dalam minyak atsiri rimpang kencur sangat bervariasi dan mengikuti ragam lingkungan. Pada jenis tanaman yang sama, varietas, dan ketinggian tempat berbeda akan berpengaruh terhadap kandungan dan komponen kimia dari minyak atsiri kencur. Hal ini menunjukkan adanya interaksi sifat genetik dari varietas/ekotipe/*landrace* kencur yang dibudidayakan dengan lingkungan tumbuhnya terekspresi pada senyawa kimia dan kandungan bahan aktifnya. EPMS adalah senyawa minyak atsiri golongan monoterpen dari turunan asam sinamat yang berperan sebagai prekursor dalam sintesis senyawa kimia tumbuhan, pemberi rasa, dan aroma khas pada kencur (Tripathi *et al.* 2013; Guzman 2014). Beberapa hasil penelitian tentang komponen mayor (EPMS) dan minor rimpang kencur yang dianalisis dengan GC-MS disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16 menunjukkan bahwa, varietas kencur/ekotipe yang berbeda memberikan ekspresi yang berbeda bergantung kepada ragam lingkungan tumbuhnya. Aksesori PBG dan PCT yang memiliki kadar EPMS tinggi, ternyata kandungan senyawa kimia penyusun minyak atsirinya juga beragam mengikuti ragam lingkungan. Hal ini sejalan dengan kapasitas produksi rimpang masing-masing yang mengikuti ragam lingkungan (Rostiana *et al.* 2006), sehingga aksesori tersebut harus dibudidayakan pada lingkungan tumbuh yang optimal, sesuai dengan peruntukannya (pada spesifik lokasi). Senyawa EPMS berfungsi sebagai media interaksi antar tanaman (alelopati) dengan cara mengubah permeabilitas dinding sel, menghambat asupan nutrisi, menghambat pembelahan, dan pemanjangan sel (Li *et al.* 2010; Jiao *et al.* 2015).

Etil-p-metoksisinamat (EPMS) adalah salah satu senyawa yang digunakan sebagai bahan dasar tabir surya yaitu pelindung kulit dari sengatan matahari. EPMS merupakan senyawa aktif yang ditambahkan pada lotion kulit atau bedak. EPMS merupakan senyawa turunan sinamat, termasuk dalam golongan senyawa ester yang mengandung cincin benzena dan gugus metoksi yang bersifat nonpolar dan juga gugus karbonil yang mengikat etil yang bersifat sedikit polar, sehingga dalam ekstraksinya dapat menggunakan pelarut-pelarut yang mempunyai variasi kepolaran yaitu etanol, etil asetat, metanol, air, dan heksana (Ekowati *et al.* 2017).

EPMS dapat digunakan sebagai prekursor awal dalam mensintesis senyawa turunan asam sinamat lainnya seperti asam-p-metoksisinamat. Jika dilihat dari senyawa aromatik monoterpen dan seskuiterpen yang terdapat dalam rimpang aksesori kencur, dapat diketahui bahwa pola biosintesis dari senyawa tersebut berasal dari asam sikimat dan sebagai prekursor adalah fenilalanin melalui senyawa perantara aktif asam sinamat (Torsell 1983).

Tabel 16 Beberapa hasil penelitian terkait komponen kimia dalam minyak atsiri rimpang kencur yang dianalisis dengan GC-MS

No.	Negara asal	Jumlah komponen kimia	Komponen utama (mayor)	Komponen lain (minor)	Pustaka
1	Malaysia	54 senyawa	EPMS (51,6%)	<i>Ethyl cinnamate, pentadecane, 1,8-cineole, 3-carene, borneol</i>	Wong <i>et al.</i> (1992)
2	India	65 senyawa	EPMS (52,5%)	<i>Ethyl cinnamate, pentadecane, 1,8-cineole, borneol, p-cymene, 3-carene, α-terpineol, α-gurjunene, germacrene, cadinene, caryophyllene</i>	Jirovetz <i>et al.</i> (2001)
3	Thailand	9 senyawa	EPMS (31,8%)	<i>Pinene, camphene, carvone, benzene, eucalyptol, borneol, methyl cinnamate, pentadecane</i>	Tewtrakul <i>et al.</i> (2005)
4	India	45 senyawa	EPMS (35–39%)	<i>Ethyl cinnamate, 1,8-cineole, 3-carene, grmacrene, bisabolol, limonene, carvone, selinene, camphor, caryophyllene</i>	Indrayan <i>et al.</i> (2007)
5	Thailand	27 senyawa	EPMS (18,4%)	<i>Pinene, ethyl cinnamate, pentadecane, 1,8-cineole, limonene, camphene, borneol</i>	Tunsaringkarn <i>et al.</i> (2007)
6	Bangladesh	80 senyawa	3-(4-methoxyphenyl)-ethyl ester	<i>2-propenoic acid, ethyl cinnamate, 4-cyclooctene, caryophyllene, limonene, borneol, cubenol, nerolidyl acetate</i>	Bhuiyan <i>et al.</i> (2008)
7	Thailand	21 senyawa	EPMS (25,9%)	<i>2-propenoic acid, pentadecane, 3-carene, eucalyptol</i>	Sutthanont <i>et al.</i> (2010)
8	Indonesia (Bogor Jawa Barat)	83 senyawa	EPMS (17,9%)	<i>2-propenoic acid, 3-carene, pentadecane, cyperene, 8-heptadecane, eugenol, 1,8-cineole, borneol, ethyl cinnamate, carophyllene</i>	Rostiana dan Subaryanti (2010)
9	India	50 senyawa	EPMS (18,4%)	<i>Ethyl cinnamate, cadinene, 1,8-cineole, 3-carene, borneol, camphene, linoleoyl chloride, α-pinene</i>	Kumar (2014)
10	India	6 senyawa	EPMS (71,8%)	<i>3-carene, eucalyptol, ethyl cinnamate, borneol, pentadecane</i>	Sahoo <i>et al.</i> (2014)
11	India	38 senyawa	EPMS (70,0%)	<i>3-carene, 1,8-cineole, borneol, pentadecane</i>	Raina dan Abraham (2015)
12	Indonesia (Sumatera Selatan)	9 senyawa	EPMS (23,7%)	<i>Ethyl cinnamate, α-pinene, camphene, β-pinene, myrcene</i>	Lely dan Rahmanisah (2017)

Tabel 16 Beberapa hasil penelitian terkait komponen kimia dalam minyak atsiri rimpang kencur yang dianalisis dengan GC-MS (*lanjutan*)

No.	Negara asal	Jumlah komponen kimia	Komponen utama (mayor)	Komponen lain (minor)	Pustaka
13	India	–	EPMS	<i>Ethyl cinnamate, 1,8-cineole, borneol, camphene, linoleoyl, methyl cinnamate, pentadecane</i>	Munda <i>et al.</i> (2018)
14	Cina	25 senyawa	EPMS (75,8%)	<i>Ethyl cinnamate, pinene, camphene, 3-carene, 1,8-cineole, borneol, encarvone, thymol, methyl cinnamate, cubenol, selinonol, α-bisabolol, palmitic acid</i>	Yang <i>et al.</i> (2018)
15	Cina	41 senyawa	EPMS (34,8%)	<i>Ethyl cinnamate, 1,8-cineole, trans-cinnamaldehyde, borneol</i>	Li <i>et al.</i> (2016)
16	India	54 senyawa	EPMS (16,5%)	<i>Pentadecane, 1,8-cineole, 3-carene, borneol, camphene, kaempferol, kaempferid, cinnamaldehyde, ethyl cinnamate, p-methoxy cinnamic acid</i>	Preetha <i>et al.</i> (2016)

Jalur asam shikimat dimulai dari karbohidrat dan dilanjutkan ke asam amino aromatik fenilalanin menjadi asam sinamat dengan eliminasi molekul ammonia. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim fenilalanin amonia-liase (PAL) (Hrazdina 1992). Aktivitas PAL, yang merupakan enzim penting dalam metabolisme sekunder pada tumbuhan, berada di bawah kendali berbagai faktor eksternal dan internal, seperti hormon, kesuburan tanah, cahaya, infeksi jamur dan perlukaan (Ozeker 1999).

4.3.7 Profil metabolit lima aksesori kencur terpilih hasil analisis LC-MS

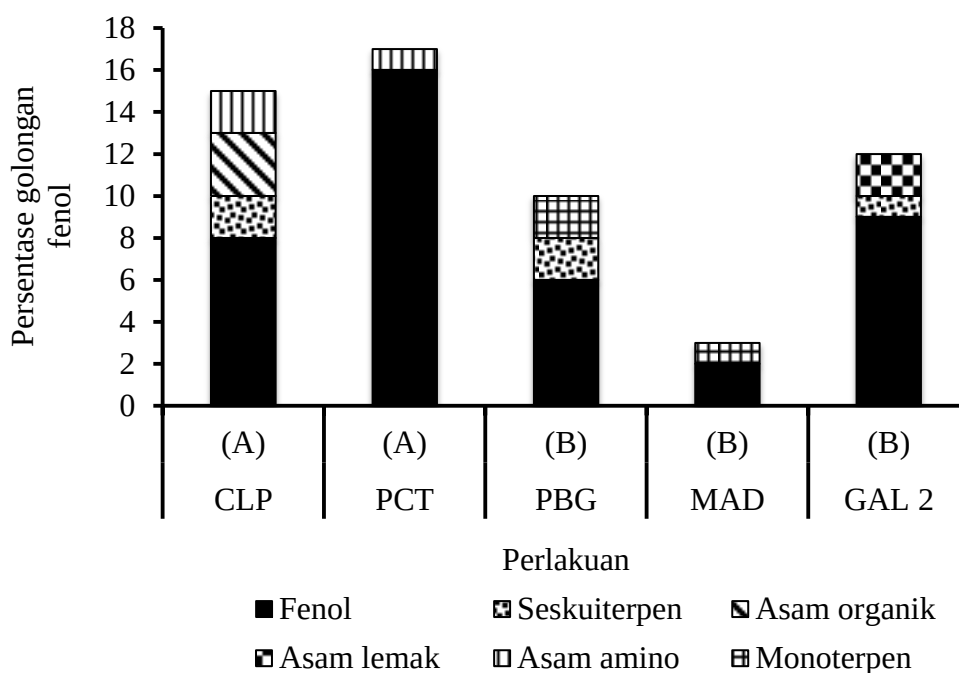
Aksesori kencur terpilih berdasarkan kadar EPMS dilakukan analisis lanjut menggunakan LC-MS untuk diketahui profil senyawa metabolitnya. Aksesori kencur terpilih berjumlah lima antara lain aksesori CLP dan PCT dari dataran rendah, kemudian aksesori PBG, MAD, dan GAL 2 dari dataran tinggi. Hasil analisis LC-MS terdeteksi ada 56 senyawa metabolit (Lampiran 6), yaitu 32 senyawa berada di dataran rendah dan dijumpai pada aksesori CLP dan PCT, dan sebanyak 24 senyawa berada di dataran tinggi dijumpai pada aksesori PBG, MAD, dan GAL 2 (Lampiran 7).

Pada penelitian ini digunakan pendekatan metabolomik untuk menganalisis profil senyawa metabolit aksesori kencur terpilih dari ketinggian tempat berbeda. Metabolomik merupakan studi yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi senyawa-senyawa metabolit pada suatu organisme dalam kondisi tertentu (Arbona *et al.* 2013; Kusano *et al.* 2015). Pendekatan metabolomik telah banyak digunakan sebagai alat bantu untuk mempelajari organisme yang mendapatkan berbagai cekaman biotik maupun abiotik. Aplikasi pendekatan

metabolomik menawarkan analisis yang lebih komprehensif terhadap profil senyawa metabolit pada saat kondisi metabolisme tanaman mengalami perubahan pada kondisi tertentu (Widodo *et al.* 2009).

Berbagai strategi dalam metabolomik digunakan untuk mendeteksi dan mengukur keberadaan senyawa metabolit, salah satunya adalah *Liquid Chromatography-Mass Spectrometry* (LC-MS). Analisis profil senyawa metabolit melalui LC-MS dilakukan pada fase cair dan kemampuan deteksinya yang luas (Obata dan Fernie, 2012). Menurut Sangwan *et al.* (2015), bahwa LC-MS juga mampu mendeteksi kelompok senyawa metabolit sekunder tanaman. Tahap identifikasi berdasarkan *database* secara *online* dan *database* yang disusun secara mandiri. *Database* secara *online* untuk senyawa metabolit pada famili Zingiberaceae mengacu pada *Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes* (KEGG) *Pathway Database* <http://www.genome.jp/kegg/pathway.html>, Pubchem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>), dan *The Human Metabolome Database* (HMDB) (<http://www.hmdb.ca/>). *Database* yang disusun secara mandiri mengacu pada senyawa metabolit yang ditemukan pada famili Zingiberaceae melalui deteksi LC-MS yang telah dilaporkan dalam beberapa publikasi ilmiah dan telah dirangkum pada Lampiran 5 (Rachmawati 2012; Anissa 2012; Han *et al.* 2015; dan Asamenew *et al.* 2019).

Kelompok senyawa metabolit yang terdeteksi di dataran rendah dan dataran tinggi adalah golongan fenol, seskuiterpen, asam organik, asam lemak, asam amino, dan monoterpen. Dari sekian banyak golongan ini, fenol adalah golongan terbesar yang terdeteksi ada 41 senyawa, di antaranya 24 senyawa dari dataran rendah dan 17 senyawa dari dataran tinggi. Golongan fenol dari dataran rendah dijumpai pada aksesori CLP (8 senyawa) dan PCT (16 senyawa), sedangkan dari dataran tinggi dijumpai pada aksesori PBG (6 senyawa), MAD (2 senyawa), dan GAL 2 (9 senyawa) (Gambar 5).



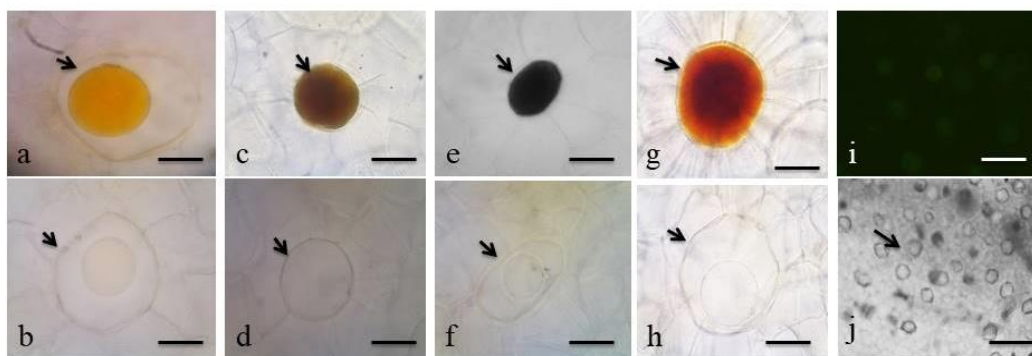
Gambar 5 Persentase golongan fenol yang terdeteksi pada rimpang aksesori kencur di ketinggian tempat berbeda melalui analisis LC-MS (A= dataran rendah; B= dataran tinggi; CLP= aksesori Cilacap; PCT= aksesori Pacitan; PBG= aksesori Purbalingga; MAD= aksesori Madiun; dan GAL 2= Galesia 2)

Keberadaan senyawa fenol diduga terkait dengan kondisi tanah dan iklim. Kondisi tanah yang utama adalah tersedianya unsur N (nitrogen) dan faktor iklim adalah intensitas cahaya matahari. Ketersediaan unsur N di dataran rendah adalah 0,4%, lebih tinggi daripada dataran tinggi yaitu 0,2%. Ketersediaan unsur N diduga memengaruhi sintesis senyawa fenol sebagai aktivator pembentukan prekursor enzim pada jalur asam sikimat yaitu asam amino aromatik *tyrosin*, *tryptophan*, dan *phenylalanin* yang mengandung gugus amin ($-NH_2$) (Ghasemzadeh dan Ghasemzadeh, 2011). Faktor pendukung lainnya yang berkontribusi dalam pembentukan senyawa fenol adalah intensitas cahaya matahari. Intensitas cahaya di dataran tinggi berkisar antara 26–70% sedangkan di dataran rendah berkisar antara 21–64%. Ekspresi senyawa fenol seperti dilaporkan oleh Cheyniar *et al.* (2013) akan dipicu oleh adanya cahaya. Zhang *et al.* (2012) juga melaporkan bahwa meningkatnya senyawa fenolik (antosian) terjadi ketika terekspos oleh cahaya. Cahaya matahari secara nyata meningkatkan kandungan fenol dan flavonoid pada jahe (Ghasemzadeh dan Neda, 2011). Pahaditya (2012) melaporkan bahwa tingginya kandungan fenol (kurkumin) pada kunyit yang ditanam pada ketinggian 550–750 m dpl dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan terutama unsur hara serta cahaya. Biosintesis senyawa fenol terjadi di plastida dan berawal dari jalur asam sikimat. Senyawa ini berperan penting dalam regulasi pertumbuhan (Scott dan Fuchigami, 2017), pembentuk pigmen, transduksi sinyal, transport elektron, media komunikasi, dan senyawa pertahanan (Sanchez *et al.* 2019). Bagi manusia senyawa fenol berguna sebagai antioksidan, anti-penuaan, anti-inflamasi, dan antiseptik (Yuliani *et al.* 2019). Keberadaan

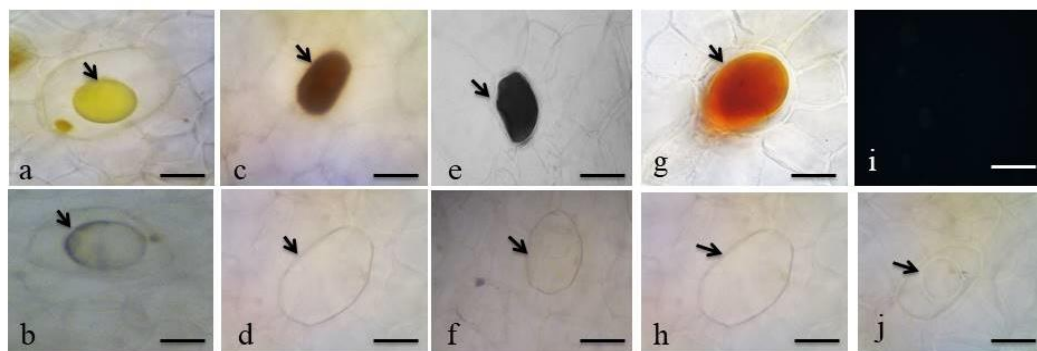
senyawa metabolit sekunder yang terdeteksi dengan LC-MS sejalan dengan hasil uji histokimia yang disajikan pada Gambar 6 dan 7.

4.3.8 Hasil uji histokimia rimpang aksesori kencur

Gambar 6 menampilkan hasil uji histokimia dari rimpang segar aksesori kencur pada potongan melintang dan Gambar 7 pada potongan membujur. Hasilnya menunjukkan bahwa senyawa lipofilik positif ditunjukkan oleh warna kuning sampai jingga dengan penambahan Sudan IV 0,03% (Gambar 6a, 7a), senyawa terpenoid positif ditunjukkan oleh warna kuning kecoklatan dengan penambahan kupri asetat 5% (Gambar 6c, 7c), senyawa fenolik positif ditunjukkan oleh warna hitam dengan penambahan FeCl_3 10% (Gambar 6e, 7e), senyawa alkaloid positif ditunjukkan oleh warna merah kecoklatan dengan penambahan reagen Wagner (Gambar 6g, 7g), hasil negatif untuk senyawa flavonoid karena tidak terdeteksi adanya pendaran cahaya fluoresensi dengan penambahan AlCl_3 5% (Gambar 6i, 7i).



Gambar 6 Hasil uji histokimia rimpang segar aksesori kencur pada potongan melintang. Hasil positif untuk senyawa lipofil (a), kontrol senyawa lipofil (b), hasil positif untuk senyawa terpenoid (c), kontrol senyawa terpenoid (d), hasil positif untuk senyawa fenol (e), kontrol senyawa fenol (f), hasil positif untuk senyawa alkaloid (g), kontrol senyawa alkaloid (h), hasil negatif untuk senyawa flavonoid (i), dan kontrol senyawa flavonoid (j). Tanda panah menunjukkan sel idioblas. Skala = 50 μm



Gambar 7 Uji histokimia rimpang segar aksesi kencur pada potongan membujur. Hasil positif untuk senyawa lipofil (a), kontrol senyawa lipofil (b), hasil positif untuk senyawa terpenoid (c), kontrol senyawa terpenoid (d), hasil positif untuk senyawa fenolik (e), kontrol senyawa fenolik (f), hasil positif untuk senyawa alkaloid (g), kontrol senyawa alkaloid (h), hasil negatif untuk senyawa flavonoid (i), dan kontrol senyawa flavonoid (j). Tanda panah menunjukkan sel idioblas. Skala = 50 μm

Rimpang adalah batang beserta daunnya yang terdapat di dalam tanah, bercabang, tumbuh mendatar, dari ujungnya dapat tumbuh tunas yang nantinya akan menjadi tumbuhan baru (Tjitrosoepomo 2011). Rimpang selain sebagai alat perkembangbiakan juga sebagai tempat penimbunan makanan cadangan. Rimpang merupakan modifikasi dari batang, sehingga struktur anatominya menyerupai batang yaitu adanya epidermis, korteks, endodermis, ikatan pembuluh, dan empulur (Fahn 2000). Untuk mengidentifikasi senyawa metabolit sekunder yang terkandung di dalam jaringan tanaman segar adalah dengan uji histokimia, metode ini bergantung pada reaksi kimia antara reagen dengan senyawa metabolit yang dimaksud (Bancroft 1975). Uji histokimia terhadap famili Zingiberaceae telah dilaporkan oleh Bell (1980) pada *Alpinia speciosa*, Kuntorini *et al.* (2011) pada *Curcuma xanthorrhiza*, dan Girija dan Rema (2014) pada *Alpinia galanga*.

Uji histokimia yang dilakukan terhadap rimpang segar aksesi kencur dimaksudkan untuk mendukung hasil dari analisis LC-MS dari dataran rendah dan dataran tinggi. Uji histokimia yang dihasilkan positif mengandung senyawa lipofilik, terpenoid, fenolik, dan alkaloid. Senyawa lipofilik pada rimpang kencur dinyatakan positif dengan penambahan Sudan IV 0,03% memberikan warna kuning sampai jingga. Senyawa lipofilik adalah senyawa-senyawa yang tidak larut dalam air. Minyak, alkana, lipid, asam amino, dan lemak adalah contoh dari senyawa lipofilik. Senyawa lipofilik yang terdeteksi pada uji histokimia memperkuat hasil analisis GC-MS dan LC-MS bahwa metabolit yang dijumpai pada rimpang aksesi kencur antara lain *pentadecane*, *8-heptadecane*, *4-tetradecyne* (golongan alkana), *isoleucine*, *tryptophan*, *phenylalanine* (golongan asam amino), *oleamide* dan *palmitic acid* (golongan asam lemak).

Lipid adalah senyawa lipofilik sebagai komponen penting tumbuhan yang menyediakan energi untuk proses metabolisme, merupakan komponen struktural membran sel dan sinyal intraseluler (Kim 2020). Lipid dan protein membentuk kompleks untuk menyusun membran sel, nukleus, mitokondria, ribosom, dan lain-lain. Lipid berperan dalam transportasi ion dan molekul melalui membran sel

(Azimova dan Glushenkova, 2012). Jumlah dan komposisi lipid, komponen lipofilik dan minyak atsiri sangat bervariasi dan bergantung pada lokasi, jenis tanaman, lingkungan, dan kesuburan tanah (Shah 2005). Lipid berfungsi sebagai molekul sinyal untuk komunikasi dan pertahanan terhadap cekaman lingkungan (Delude *et al.* 2016)

Uji histokimia terhadap senyawa terpenoid pada rimpang kencur dinyatakan positif dengan terbentuknya warna kuning kecokelatan jika ditambahkan reagen cupri asetat 5%. Senyawa terpenoid adalah kelompok senyawa metabolit sekunder yang larut dalam pelarut organik. Senyawa terpenoid terdiri dari 5 unit karbon seperti hemiterpene (C_5), monoterpen (C_{10}), seskuiterpen (C_{15}), diterpen (C_{20}), sesterpen (C_{25}), triterpen (C_{30}), dan tetraterpen (C_{40} = karotenoid) (Yazaki *et al.* 2017). Uji histokimia terhadap senyawa terpenoid memperkuat hasil analisis GC-MS dan LC-MS yaitu adanya senyawa golongan monoterpen dan seskuiterpen. Senyawa metabolit tersebut antara lain *ethyl cinnamate*, *3-carene*, *1,8-cineole*, *naphthalene*, *EPMS*, *borneol*, *geraniol*, *bornyl acetate*, dan *benzodioxole* (golongan monoterpen), *α -muurolene*, *caryophyllene*, *patchouli alcohol*, *germacrene*, *furanogermenone*, *curdione*, *turmerone*, *curcumadiol*, dan *furanodiene* (golongan seskuiterpen).

Fungsi fisiologi senyawa terpenoid adalah sebagai pertahanan kimia terhadap cekaman biotik maupun abiotik, dan alat komunikasi dengan organisme lainnya (Schilling *et al.* 2015). Senyawa terpenoid yang bersifat volatil dipengaruhi oleh struktur kimia, kelarutan, berat molekul, dan tekanan uap yang juga dipengaruhi oleh suhu, musim, iradiasi matahari, dan interaksi dengan organisme lainnya (Pichersky dan Raguso, 2016). Menurut Kempinski *et al.* (2015) bahwa senyawa terpenoid mempunyai peran fisiologi (fitohormon dan menjaga struktur membran) dan fungsi ekologi (senyawa pertahanan dan atraktan pada serangga atau hewan lainnya).

Uji histokimia pada rimpang aksesori kencur positif mengandung senyawa fenol dengan penambahan feri triklorida 10% memberikan warna hitam pada sel idioblas. Senyawa fenol adalah senyawa aromatik yang memiliki struktur cincin benzene dengan satu atau lebih gugus hidroksil ($-OH$) yang apabila bereaksi dengan $FeCl_3$ akan membentuk kompleks berwarna hijau gelap atau hitam. Senyawa fenol yang terdeteksi pada uji histokimia memperkuat hasil analisis LC-MS pada rimpang aksesori kencur yaitu adanya golongan fenol.

Senyawa metabolit tersebut antara lain *shogaol*, *tangeritin*, *gingerdial*, *paradol*, *tectochrysin*, *curcumin*, *genkwanin*, *rutin*, *gingerenone*, *galangin*, *galanganol*, *ayanin*, *dihydroferulic acid*, *gallic acid*, *caffeic acid*, *retusine*, *kaempferol*, dan *nobiletin*. Hasil ini juga mendukung data pada analisis kandungan fenol total dari rimpang aksesori kencur dimana kadar fenol total dari tujuh aksesori yang diamati sangat bervariasi dan beberapa aksesori dijumpai memiliki kandungan fenol total lebih dari 20,0 mg GAE/g ekstrak, di antaranya yaitu aksesori PWJ, PCT, MAD, dan GAL 2 (Tabel 12).

Senyawa fenol pada tanaman berfungsi sebagai senyawa pertahanan terhadap cekaman biotik maupun abiotik, berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Bhattacharya *et al.* 2010). Senyawa fenol disintesis tanaman sebagai respon terhadap cekaman lingkungan (Volf *et al.* 2014). Keberadaan senyawa fenol di dalam sel idioblas rimpang Zingiberaceae diduga berfungsi sebagai senyawa pertahanan terhadap mikroba patogen tanah (Uma *et al.*

2014). Senyawa fenol dalam tumbuhan terdapat di organ yang berbeda, bisa di daun, buah yang belum masak, kulit biji, dan jaringan yang terserang penyakit. Senyawa fenol juga berfungsi sebagai pelindung terhadap dehidrasi, pembusukan, dan perusakan oleh hewan. Secara komersial, senyawa fenol seperti tanin digunakan pada industri penyamakan kulit (Mulyani dan Toga, 2011).

Uji histokimia untuk senyawa alkaloid pada rimpang aksesi kencur dinyatakan positif terbentuk warna merah kecokelatan dengan penambahan pereaksi Wagner. Alkaloid adalah senyawa kimia biologis aktif dan heterosiklik yang mengandung nitrogen dan digunakan sebagai obat (Aniszewski 2015). Alkaloid dan beberapa metabolit sekunder lainnya terakumulasi di daun dan kulit batang *Cinchona ledgeriana*, struktur sel seperti epidermis dan jaringan mesofil palisade juga ditemukan mengakumulasi beberapa metabolit sekunder. Alkaloid banyak terdapat pada sel mesofil dan idioblas (Pratiwi *et al.* 2020). Biosintesis alkaloid terjadi melalui jalur asam sikimat (*shikimate pathways*) dengan prekursor asam amino *phenylalanin* dan *tyrosin* (Taiz dan Zeiger, 2010). Hasil analisis GC-MS dan LC-MS tidak terdeteksi senyawa alkaloid secara khusus, namun diduga asam amino yang terdeteksi berfungsi sebagai prekursor pembentukan senyawa tersebut, dan ini masih perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

Senyawa alkaloid diduga sebagai produk limbah dari proses metabolisme tumbuhan. Konsentrasi alkaloid dilaporkan meningkat sesaat sebelum pembentukan tunas, kemudian akan menurun ketika tunas telah berkembang sempurna. Senyawa alkaloid berfungsi melindungi tanaman dari herbivor dan pengatur pertumbuhan (Matsuura dan Fett-Neto, 2015; Roy 2017). Proses meminimalisir toksin sebagai senyawa pertahanan berada di dalam ruang apoplastik (*apoplastic compartment*) dan selanjutnya akan dikeluarkan pada proses metabolisme (Mithofer dan Boland, 2012).

Uji histokimia terhadap senyawa flavonoid pada rimpang aksesi kencur dinyatakan negatif karena tidak terdeteksi adanya pendaran terhadap sinar UV (*fluorescence microscopy*). Senyawa flavonoid dibagi dalam beberapa kelas di antaranya adalah auron, dihidrokalkon, flavanol, isoflavon, flavon, flavonol, antosianin, dan protoantosianin. Senyawa flavonoid merupakan golongan terbesar dari senyawa fenol pada tumbuhan (Rafi *et al.* 2012).

Identifikasi senyawa flavonoid pada uji histokimia sebenarnya terkait dengan hasil analisis LC-MS, yang didominasi oleh golongan fenol (polifenol) dan senyawa flavonoid termasuk di dalamnya. Metabolit yang terdeteksi sebagai senyawa flavonoid antara lain *tangeritin*, *ayanin*, *genkwanin*, *rutin*, *retusine*, dan *nobiletin* (Lampiran 7). Hasil negatif senyawa flavonoid pada uji histokimia diduga bahwa senyawa tersebut memiliki kadar yang sangat kecil sehingga tidak terdeteksi secara kualitatif pada uji histokimia.

Flavonoid pada tumbuhan berperan dalam proses fotosintesis, anti mikroba, dan antivirus (Rahmat 2009). Senyawa flavonoid berperan dalam proteksi tanaman terhadap cekaman biotik (herbivor dan patogen) dan abiotik (radiasi UV dan panas) (Mierziak *et al.* 2014). Kandungan flavonoid yang besar menunjukkan potensi yang besar pula untuk pengobatan (Trimanto *et al.* 2018). Tetapi, uji histokimia untuk senyawa flavonoid pada rimpang kencur masih sangat terbatas, dan metode lain yang sering digunakan adalah penapisan fitokimia. Penapisan fitokimia pada rimpang kencur positif mengandung senyawa flavonoid, sterol, triterpen, resin, alkaloid, protein, saponin, tanin, fenol, asam amino, karbohidrat,

dan kolesterol (Rajendra *et al.* 2011; Rao dan Kaladhar, 2014; Sani *et al.* 2019). Untuk mendukung hasil uji histokimia rimpang aksesori kencur maka beberapa literatur digunakan sebagai pembandingan (Tabel 17).

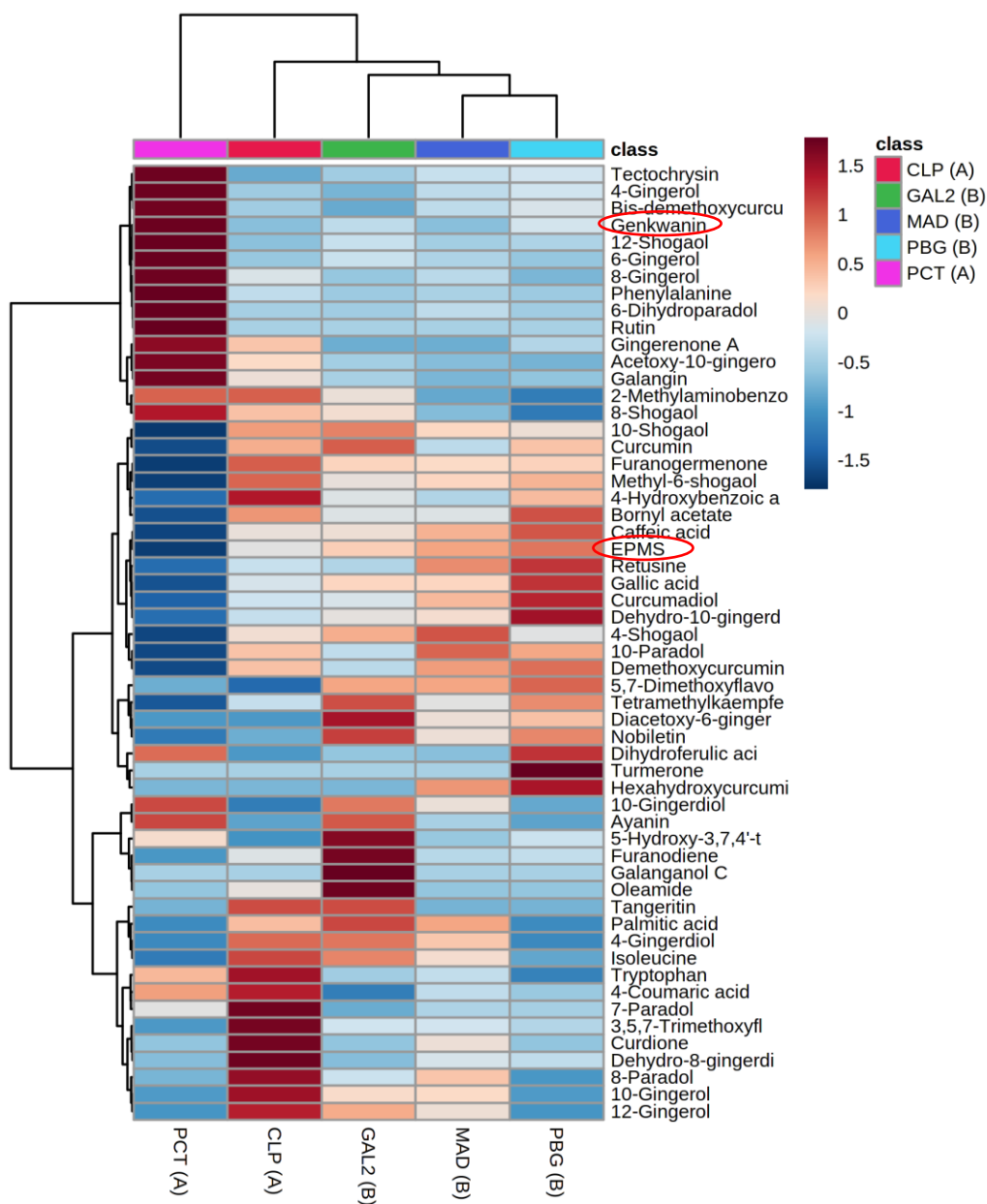
Tabel 17 Hasil uji histokimia pada beberapa spesies dari famili Zingiberaceae

No.	Nama spesies	Nama organ	Senyawa yang ditemukan	Pustaka
1	<i>Kaempferia galanga</i>	Rimpang	Minyak atsiri, oleoresin, dan butir pati di dalam sel idioblas	Tunsaringkarn <i>et al.</i> (2007)
2	<i>Curcuma xanthorrhiza</i>	Rimpang	Minyak atsiri, pati, dan curcumin di dalam sel idioblas	Kuntorini <i>et al.</i> (2011)
3	<i>Alpinia zerumbet</i>	Rimpang	Minyak atsiri di dalam sel idioblas tersebar di jaringan korteks dan empulur	Victorio (2011); Jezler <i>et al.</i> (2013)
4	<i>Alpinia sp.</i>	Rimpang	Minyak atsiri, pati, oleoresin, dan Kristal Ca-oksalat di dalam sel idioblas	Girija dan Rema (2014)
5	<i>Curcuma neilgherrensis</i>	Rimpang	Alkaloid, terpenoid, lipofilik, fenol, flavonoid, lignin, pectin, selulosa, dan pati di dalam sel idioblas	Reshi dan Gowda (2014)
6	<i>Curcuma domestica</i>	Rimpang	Alkaloid, flavonoid, lipid, dan tanin di dalam sel idioblas	Dini (2016)
7	<i>Curcuma heyneana</i>	Rimpang	Protein dan pati di dalam sel idioblas	Dini (2016)
8	<i>Curcuma zedoaria</i>	Rimpang	Minyak atsiri, pati, dan protein di dalam sel idioblas	Indriyani (2017)
9	<i>Curcuma longa</i> dan <i>Curcuma aeruginosa</i>	Rimpang	Alkaloid, flavonoid, tanin, lipid, amilum, dan protein di dalam sel idioblas	Trimanto <i>et al.</i> (2018)

4.3.9 Profil metabolit rimpang kencur aksesori terpilih hasil analisis LC-MS

Tingkat keragaman 5 aksesori kencur terpilih dari ketinggian tempat berbeda dianalisis menggunakan *heatmap* yang dikombinasi dengan *cluster analysis*. Hasilnya menunjukkan bahwa 5 aksesori tersebut terbagi menjadi dua kelompok berdasarkan jumlah senyawa metabolitnya. Kelompok I terdiri dari satu aksesori yaitu PCT dari dataran rendah. Kelompok II terdiri dari 2 sub kelompok, sub 1 terdiri dari satu aksesori yaitu CLP dari dataran rendah dan sub 2 terdiri dari tiga aksesori yaitu PBG, MAD, dan GAL 2 dari dataran tinggi. Jumlah senyawa

metabolit pada kelompok I ada 18 dan pada kelompok II ada 26 senyawa (sub 1 ada 8 senyawa, dan sub 2 ada 18 senyawa) (Gambar 8).



Gambar 8 Profil *heatmap* yang dikombinasi dengan *cluster analysis* berhierarki pada senyawa metabolit rimpang aksesori kencur terpilih di ketinggian tempat berbeda hasil analisis LC-MS (A= dataran rendah; B= dataran tinggi; PBG= aksesori Purbalingga; CLP= aksesori Cilacap; PCT= aksesori Pacitan; MAD= aksesori Madiun, dan GAL 2= Galesia 2)

Komposisi senyawa metabolit pada kelompok I adalah *tectochrysin*, *4-gingerol*, *bis-demetoksicurcumin*, *genkwanin*, *12-shogaol*, *6-gingerol*, *8-gingerol*, *2-methylaminobenzoyl*, *8-shogaol*, *dihydroferulic acid*, *10-gingerdiol*, *ayanin*, *4-*

coumaric acid, *fenilalanin*, *6-dihidroparadol*, *rutin*, *galangin*, dan *gingerenone*. Metabolit penanda dari kelompok I pada aksesori PCT diduga adalah *genkwanin*.

Komposisi senyawa metabolit pada kelompok II adalah *hydroxybenzoic acid*, *tryptophan*, *coumaric acid*, *paradol*, *trimethoxyflavonol*, *curdione*, *gingerdiol*, *gingerol*, *bornyl acetate*, *caffeic acid*, *EPMS*, *retusine*, *gallic acid*, *curcumadiol*, *dihydroxyferulic acid*, *hexahydroxycurcumin*, *shogaol*, *kaempferol*, *nobiletin*, *furanodiene*, *galanganol*, dan *oleamide*. Metabolit penanda dari kelompok II diduga adalah senyawa *curdione* (aksesori CLP), *EPMS* dan *turmerone* (aksesori PBG), *galanganol* dan *oleamide* (GAL 2).

Genkwanin (5,4'-dihydroxy-7-methoxy flavone) diketahui sebagai senyawa flavonoid yang diisolasi dari bunga genkwa (*Daphne Genkwa*-Thymelaceae), rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), daun *Cistus laurifolius* L., *Callicarpa americana* (Lamiaceae) (Porrás *et al.* 2019), rimpang *Kaempferia parviflora* dan *Zingiber officinale* (Zingiberaceae) (Azuma *et al.* 2008; Asamenew *et al.* 2018). Di dalam tumbuhan, *genkwanin* berfungsi sebagai senyawa pertahanan terhadap faktor lingkungan (Chen dan Sang, 2016). Sedangkan bagi manusia, *Genkwanin* memiliki berbagai efek farmakologis seperti *hepatoprotective* (Chaipech *et al.* 2012), *antitusif*, *expectorant*, *anti-inflammatory* (Gao *et al.* 2014), antibakteri, anti-tumor (Wang *et al.* 2015), antikanker (Li *et al.* 2017), dan *antiskin inflammatory* (Lee *et al.* 2018).

Keberadaan senyawa *genkwanin* (flavonoid) pada aksesori PCT di dataran rendah diduga terkait dengan faktor lingkungan terutama intensitas cahaya. Intensitas cahaya di dataran rendah berkisar antara 21–61% lebih rendah dari dataran tinggi yang berkisar antara 26–70%. Sintesis isoflavon dan beberapa flavonoid lainnya diinduksi ketika tanaman di bawah kondisi cahaya rendah (Ruiz *et al.* 2003). Biosintesis flavonoid sangat bergantung pada intensitas cahaya (Xie *et al.* 2006). Namun demikian, setiap tanaman memiliki respons berbeda terhadap perubahan intensitas cahaya yang berakibat pada kandungan flavonoidnya, seperti dilaporkan oleh Ghasemzadeh *et al.* (2010) bahwa intensitas cahaya rendah meningkatkan flavonoid total pada rimpang jahe.

Penggunaan analisis *heatmap* ini dapat memberikan visualisasi secara global yang sangat baik untuk mengetahui tingkat konsentrasi senyawa metabolit yang dihasilkan berkaitan dengan perlakuan yang diberikan (Widodo *et al.* 2009). Pendekatan tersebut dinilai sebagai sebuah pendekatan yang telah berhasil dalam mengungkap perubahan-perubahan metabolik yang berasosiasi dengan berbagai kondisi sampel, baik tumbuhan maupun organisme lainnya (Chiu *et al.* 2016; Olawode *et al.* 2017; Gupta dan De, 2017). Selain itu, pendekatan tersebut telah berhasil menemukan penanda metabolit (*metabolite marker*) pada tanaman terkait kondisi lingkungannya (Gupta dan De, 2017).

Tanaman sebagai organisme hidup tidak dapat menghindari dengan cara berpindah tempat dari adanya perubahan lingkungan dan musim yang berdampak pada perkembangan dan pertumbuhan yang kurang baik (Jorge *et al.* 2016). Kemampuan tanaman untuk bertahan pada kondisi tersebut bergantung pada tingkat adaptasi yang melibatkan proses sensor cekaman (*sensing stress*), sinyal transduksi, dan aktivasi sejumlah gen serta metabolit terkait cekaman. Senyawa metabolit penanda yang ditemukan diindikasikan mempunyai hubungan dengan kondisi di lokasi tersebut.

Interaksi berbagai senyawa metabolit di dalam berbagai proses metabolisme diperlukan untuk kelangsungan hidup suatu organisme. Sebagai organisme yang tidak mampu berpindah tempat, tanaman memiliki berbagai mekanisme untuk bertahan dari kondisi yang kurang menguntungkan baik berupa cekaman biotik maupun abiotik. Senyawa metabolit yang dihasilkan melalui proses metabolisme di dalam suatu tanaman mampu menggambarkan sifat genetiknya (Hill dan Roessner, 2013). Konsentrasi suatu senyawa metabolit tersebut bergantung pada sifat genetik dan pengaruh lingkungan sekitar (Hall dan Hardy, 2012). Aplikasi pendekatan metabolomik menawarkan analisis yang lebih komprehensif terhadap profil senyawa metabolit pada saat kondisi metabolisme tanaman mengalami perubahan pada kondisi tertentu (Widodo *et al.* 2009). Septaningsih *et al.* (2018) melaporkan bahwa hasil analisis LC-MS terhadap rimpang *Curcuma aeruginosa* terdeteksi ada 175 senyawa metabolit dengan golongan terbesar adalah seskuiterpen. Hasil ini membagi 2 kelompok berdasarkan aktivitas antioksidannya.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah (1) dataran rendah memengaruhi karakter fisiologi aksesori kencur berupa luas daun, laju fotosintesis, laju transpirasi, dan konduktansi stomata, sedangkan dataran tinggi memengaruhi kandungan klorofil total dan kadar gula rimpang, (2) dataran rendah meningkatkan produksi rimpang segar, namun menurunkan kadar dan rendemen minyak atsiri serta EPMS, (3) dataran rendah meningkatkan jumlah metabolit sekunder. Profil metabolit sekunder terbagi dua kelompok, kelompok I dari dataran rendah ada 18 senyawa dengan genkwanin sebagai senyawa penciri (aksesi PCT), kelompok II dari dataran rendah ada 8 senyawa dengan curdion sebagai senyawa penciri (aksesi CLP), dari dataran tinggi ada 18 senyawa dengan EPMS dan turmeron sebagai senyawa penciri (aksesi PBG), serta galanganol dan oleamide pada GAL 2, dan (4) dataran rendah meningkatkan kerapatan sel idioblas dengan lokasi metabolit sekunder berada di jaringan empulur. Direkomendasikan bahwa aksesori PBG dengan produksi rimpang dan kadar EPMS tinggi dapat dijadikan aksesori unggul.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini dapat membuka peluang untuk dilakukan penelitian-penelitian lebih lanjut terkait hasil dan mutu kencur terutama aksesori PBG dan PCT pada lokasi penelitian lain dengan musim tanam yang berulang, sehingga aksesori tersebut dapat dijadikan sebagai varietas baru yang unggul.

DAFTAR PUSTAKA

- Aarti PD, R. Tanaka and A. Tanaka. 2007. High-light inhibit chlorophyll biosynthesis at the level of 5-aminolevulinate synthesis during deetiolation in cucumber (*Cucumis sativus*) cotyledons. *Photochem Photobiol.* 83(1): 171–176. doi:10.1562/2006-03-06-RA-835.
- Abenavoli M, Lupini A, Olivia S, Sorgona A. 2010. Allelochemical effects on net nitrate uptake and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize seedlings. *Biol Plant.* 54:149–153. doi:10.1007/s10535-010-0024-0.
- Aimura G-I, Ozawa R, Kugimiya S, Takabayashi J, Bohlmann J. 2004. Herbivore-induced defense response in a model legume. Two-spotted spidermites induce emission of (E)- β -ocimene and transcript accumulation of (E)- β -ocimene synthase in *Lotus japonicus*. *Plant Physiol.* 135:1976–1983. doi:10.1104/pp.104.042929.
- Akula R, Ravishankar GA. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav.* (6):1720–1731. doi: 10.4161/psb.6.11.17613.
- Albert A, Sareedenchai V, Heller W, Scidlitz HK, Zidorn C. 2009. Temperature is the key to altitudinal variation of phenolics in *Arnica Montana* L. *Oecologia.* 160:1–8. doi: 10.1007/s10886-007-9407-x.
- Alemanno L, Ramos T, Gargadenec A, Andary C, Ferriere N. 2003. Localization and identification of phenolic compounds in *Theobroma cacao* L. somatic embryogenesis. *Ann Bot.* 92:613–622. doi:10.1093/aob/mcg177.
- Alonso-Amelot ME, Oliveros BA, Calcagno PMP. 2007. Phenolics and condensed tannins of high altitude *Pteridium arachnoideum* in relation to sunlight exposure, elevation and rain regime. *J Biochem Syst Ecol.* 35:1–10. doi:10.1016/j.bse.2006.04.013.
- Anggraito YU, Susanti R, Iswari RS, Yuniastuti A, Lisdiana, Nugrahaningsih WH, Habibah NA, Bintari SH. 2018. *Metabolit Sekunder dari Tanaman: Aplikasi Produksi*. Semarang: UNS Pr. ISBN: 978-602-5728-05-1.
- Anissa. 2012. Kajian Metabolomik Rimpang Kunyit Menggunakan Kromatografi Cair-Spektroskopi Massa (LC-MS) [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Anizewski T. 2015. *Alkaloids: Chemistry, Biology, Ecology, and Applications*. 2nd ed. Elsevier. ISBN: 9780444594624.
- Anonim. 1997. *Materia Medika Indonesia*. Jilid 1. Jakarta: Depkes RI.
- Anonim. 2001. *Inventaris Tanaman Obat Indonesia (I)*. Jilid 2. Jakarta: Depkes RI.
- Anonim. 2004. *Monografi Ekstrak Tumbuhan Obat Indonesia*. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia.
- Anonim. 2007. *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Tanaman Obat*. Ed ke-2. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Anonim. 2008. *Farmakope Herbal Indonesia*. Ed ke-1. Jakarta: Depkes RI.
- Anonim. 2011. *Farmakope Herbal Indonesia*. Supl 1. Ed ke-1. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

- Anonim. 2014. *Kesiapan Pasokan Bahan Baku Dalam Menunjang Industri Obat Tradisional Menghadapi Masyarakat Ekonomi Asean*. Semarang: Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jawa Tengah.
- Anni IA, Endang S, Sri H. 2013. Pengaruh naungan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman bawang daun (*Allium fistulosum* L.) di Bandungan Jawa Tengah. *JAB*. 2(3):31–40. e-ISSN:2621-9824.
- Aragaw M, Alamerew S, Michael GH, Tesfaye A. 2011. Variability of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) accessions for morphological and some quality traits in Ethiopia. *Intern J Agric Res*. 6(6):444–457. doi: 10.3923/ijar.2011.444.457.
- Arbona V, Manzi M, de Ollas C, Gómez-Cadenas A. 2013. Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. *Intern J Mol Sci*. 14:4885–4911. doi: 10.3390/ijms14034885.
- Arimura GI, Ozawa R, Kugimiya S, Takabayashi J, Bohlmann J. 2004. Herbivore-induced defense response in a model legume. Two-spotted spidermites induce emission of (E)- β -ocimene and transcript accumulation of (E)- β -ocimene synthase in *Lotus japonicus*. *Plant Physiol*. 135:1976–1983. doi:10.1104/pp.104.042929.
- Ariyanti M, Asbur Y. 2018. Cendana (*Santalum album* L.) sebagai tanaman penghasil minyak atsiri. *J Kultiv*. 17 (1):558–567. Doi: 10.24198/kultivasi.v17i1.15804.
- Armando R. 2009. *Memproduksi Minyak Atsiri Berkualitas*. Jakarta: Penebar Swadaya. ISBN: 9789790023635.
- Arniputri RB, Sakya AT, Rahayu M. 2007. Identifikasi komponen utama minyak atsiri temu kunci (*Kaempferia pandurata* Roxb.) pada ketinggian tempat yang berbeda. *Biodiversitas*. 8 (2):135–137. ISSN: 1412-033X.
- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*. 24:1–15. doi:10.1104/pp.24.1.1.
- Asamenew G, Kim HW, Lee MK, Lee SH, Young Jin Kim YJ, Cha YS, Yoo SM, Kim JB. 2019. Characterization of phenolic compounds from normal ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) and black ginger (*Kaempferia parviflora* Wall.) using UPLC–DAD–QToF–MS. *European Food Res Technol*. 245:653–665. doi:10.1007/s00217-018-3188-z.
- Azimova SS, Glushenkova AI. 2012. *Lipids, Lipophilic, Components and Essential Oils from Plant Sources*. New York (NY): Springer. ISBN: 978-0-85729-323-7. doi: 10.1007/978-0-85729-323-7.
- Azuma T, Tanaka Y, Kikuzaki H. 2008. Phenolic glycosides from *Kaempferia parviflora*. *Phytochemistry*. 69(15):2743–2748. doi: 10.1016/j.phytochem.2008.09.001.
- Baas P, Gregory M. 1985. A survey of oil cells in the dicotyledons with comments on their replacement by and joint occurrence with mucilage cells. *Israel J Bot*. 34:167–186. doi:10.1080/0021213X.
- Babu KN, Ravindran PN. 2004. *Ginger: The Genus Zingiber. Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles*. Washington DC: CRC Pr. ISBN 9780415324687.
- Baharsjah JS, Suardi D, Irsal I. 1985. Hubungan iklim dengan pertumbuhan kedelai. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor: 87–102.

- Bancroft JD. 1975. *Histochemical Techniques*. 2nd ed. London: Butterworth-Heinemann. ISBN: 9780407000339.
- Bell A. 1980. The vascular pattern of a rhizomatous ginger (*Alpinia speciosa* L.): The aerial axis and its development. *Ann Bot.* 46(2):203–212. doi:10.1093/OXFORDJOURNALS.AOB.A085908.
- Bermawie N, Purwiyanti S, Melati, Meilawati NLW. 2012. Karakter morfologi, hasil, dan mutu enam genotip lengkuas pada tiga agroekologi. *Bul Littro.* 23(2):125–135. ISSN: 0215-0824, E-ISSN: 2527-4414.
- Bermawie N, Syahid SF, Ajijah N, Purwiyanti S, Martono B. 2013. Stabilitas hasil dan mutu enam genotipe harapan jahe putih kecil (*Zingiber officinale* Rosc.var *amarum*) pada beberapa agroekologi. *J Littri.* 19(2):58–65. ISSN: 0853-8212, e-ISSN: 2528-6870.
- Bettaieb I, Zakhama N, Wanner WA, Kchouk ME, Marzouk B. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acid and essential oils composition. *Scien Hortic.* 120:271–275. doi:10.1016/j.scienta.2008.10.016.
- Bhattacharya A, Sood P, Citovsky V. 2010. The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection. *Mol Plant Pathol.* 11(5):705–719. doi: 10.1111/j.1364-3703.2010.00625.x.
- Bhosale KS, Shinde BP. 2011. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on proline and chlorophyll content in *Zingiber officinale* Rosc. grown under water stress. *Indian J Fundament Appl Life Sci.* [diakses 2020 Des 02]. <http://www.abtech.org/jls>.
- Bhuiyan NI, Begum J, Anwar MN. 2008. Essential oils of leaves and rhizomes of *Kaempferia galanga* Linn. *Chittagong Univ JBSci.* 3(1–2):65–76. doi:10.3329/cujbs.v3i1.13407.
- Bilska-Kos A, Grzybowski M, Jończyk M, Sowiński P. 2016. In situ localization and changes in the expression level of transcripts related to intercellular transport and phloem loading in leaves of maize (*Zea mays* L.) treated with low temperature. *Acta Physiol Plant.* 38:1–10. doi:10.1007/s11738-016-2151-5.
- Boix YF, Victotio CP, Defaver ACA, Arruda RDCDO, Sato A, Lage CLS. 2011. Glandular trichomes of *Rosmarinus officinalis* L.: Anatomical and phytochemical analysis of leaf volatiles. *Plant Biosyst.* 145(4):848–856. doi:10.1080/11263504.2011.584075.
- Bouwmeester H, Schuurink CR, Bleeker PM, Schiestl F. 2019. The role of volatiles in plant communication. *Plant J.* 100:892–907. doi: 10.1111/tpj.14496.
- Borg KAK, Valterov I, Nilsson LA. 1993. Volatile compounds from flowers of six species in the family Apiaceae: bouquets for different pollinators? *Phytochemistry.* 35:111–119. doi:10.1016/S0031-9422(00)90518-1.
- Borges LL, Alves SF, Sampaio BL, Conceição EC, Bara MTF, Paula JR. 2015. Environmental factors affecting the concentration of phenolic compounds in *Myrcia tomentosa* leaves. *Brazilian J Pharmacog.* 23(2):230–238. doi: 10.1590/S0102-695X2013005000019.
- Boyce AN, Mohamed MAH. 1987. Photosynthetic and respiratory characteristics of malayan sun and shade ferns. *New Phytol.* 105:81–88. doi:10.1111/j.1469-8137.1987.tb00112.x.

- Boz H. 2015. p-Coumaric acid in cereals: Presence, antioxidant and antimicrobial effects. *Intern J Food Sci Technol*. 50(11):2323–2328. doi:10.1111/ijfs.12898.
- [BPS]. 2019. *Statistik Tanaman Biofarmaka Indonesia*. Jakarta: Subdirektorat Statistik Hortikultura. 71p. ISSN:2339-0956.
- Bramantyo J, Samanhudi, Rahayu M. 2013. The effect of shading and watering stress on growth and yield of purwoceng (*Pimpinella pruatjan* Molk.) in Tawangmangu. *J Agron Res*. 2(5):53–64. ISSN:2302 – 8226.
- Braun DM, Wang L, Ruan Y. 2014. Understanding and manipulating sucrose phloem loading, unloading, metabolism, and signalling to enhance crop yield and food security. *J Exp Bot*. 65(7):1713–1735. doi:10.1093/jxb/ert416.
- Bridgemohan P. 2011. Production and partitioning of dry matter in leren [*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl]. *J Agric Univ PR*. 95:35–44. doi:10.46429/jaupr.v95i1-2.2545.
- Bubna GA, Lima RB, Zanardo DYL, dos Santos WD, Ferrarese MLL. 2011. Exogenous caffeic acid inhibits the growth and enhances the lignification of the roots of soybean (*Glycine max*). *J Plant Physiol*. 168:1627–1633. doi: 10.1016/j.jplph.2011.03.005.
- Buntoro BH, Rogomulyo R, Trisnowati S. 2014. Pengaruh takaran pupuk kandang dan intensitas cahaya terhadap pertumbuhan dan hasil temuputih (*Curcuma zedoaria* L.). *Vegetalika*. 3(4):29–39. doi:10.22146/veg.5759.
- Burhanuddin, Yudarfis, Idris H. 2016. Pengaruh pemberian kapur dan kompos terhadap pertumbuhan dan produksi jahe putih besar pada tanah podsolik merah kuning. *Bul Littro*. 27(1):47–53. ISSN:0215-0824, e-ISSN:2527-4414.
- Burkill IH. 1935. *A Dictionary of The Economic Products of The Malay Peninsula*. Malaysia: The Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Butnariu M, Sarac I. 2018. Essential oil from plants. *J Biotech Biomed Sci*. 1(4): 35–43. doi:10.14302/issn.2576-6694.jbbs-18-2489.
- Chaipech S, Morikawa T, Ninomiya K, Yoshikawa M, Pongpiriyadacha Y, Hayakawa T, Muraoka O. 2012. Structures of two new phenolic glycosides, Kaempferiaosides A and B, and hepatoprotective constituents from the rhizome of *Kaempferia parviflora*. *Chem Pharm Bull*. 60(1):62–69. doi:10.1248/cpb.60.62.
- Chairul. 1996. Analisis kandungan kimia ekstrak metanol rimpang kencur dengan GC-MS. *Warta TOI*. 3:34–36. ISSN: 0853-6929.
- Chalker-Scott L, Fuchigami LH. 2017. *The Role of Phenolic Compounds In Plant Stress Responses*. Boca Raton (FL): CRC Pr. eBook ISBN:9781351074186.
- Cheang KS, Sullivan S, Kazzem M, Franklin L, Swastika S, Marnilar N, Mitchell L, Harsha S, Samiuela L. 2014. The Liquid Chromatographic determination of chlorogenic and caffeic acids in Xu duan (*Dipsacus asperoides*) raw herb. *Intern Schol Res*. 6:3203–3210. doi:10.1155/2014/968314.
- Cheniclet C, Carde JP. 1985. Presence of leucoplast in secretory cells and of monoterpenes in the essential oil: A correlative study. *Israel J Bot*. 34:219–238. doi:10.1080/0021213X.
- Chen HC, Song J, Williams CM, Shuford CM, Liu J. 2013. Monolignol pathway 4-coumaric acid: Coenzyme A ligases in *Populus trichocarpa*: novel specificity, metabolic regulation, and simulation of coenzyme-A ligation fluxes. *Plant Physiol*. 161:1501–1516. doi:10.1104/pp.112.210971.

- Chen H, Shang M. 2016. Flavones and flavonoids from wild *Aquilaria sinensis* leaves: In vitro bioactivities and in vivo regulation against impairment of the plant. *J Pharmacog Nat Prod.* 2(3):1–8. ISSN: 2472-0992.
- Cheynier V, Comte G, Davies KM, Lattanzio V, Martens S. 2013. Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics and ecophysiology. *Plant Physiol Biochem.* 72:1–20. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009.
- Chidburee A, Bundittaya W, Suwanthada C, Norikuni O, Sueyoshi K, Ohyama T, Ruamrungsri S. 2007. Effects of red light on growth, photosynthesis, and food reserves in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. *Thai J Agric Sci.* 40:57–63.
- Chiu C-Y, Yeh K-W, Lin G, Chiang M-H, Yang S-C, Chao W-J, Yao T-C, Tsai M-H, Hua M-C, Liao S-L, Lai S-H, Cheng M-L, Huang J-L. 2016. Metabolomics reveals dynamic metabolic changes associated with age in early childhood. *PLoS ONE.* 11(2):e0149823. doi: 10.1371/journal.pone.0149823.
- Choirina Y, Sudadi, Widiyanto H. 2013. The effect of bio-natural fertilizer on phosphorus absorption and peanut growth in alfisol, entisol, and vertisol soils. *J Soil Sci Agroclim.* 10(2):113–121.
- Condori B, Mamani P, Botello R, Patino F, Devaux A, Ledent JF. 2008. Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isano (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosum*). *European J Agr.* 28:526–540. doi: 10.1016/j.eja.2007.12.002.
- Cotton S. 2010. *1,8-cineole: A koala's Favourite Food*. Uppingham School Rutland: CRC Pr. doi:10.6084/m9.figshare.5255194.
- Cramer GR, Urano K, Delrot S, Pezzotti, Shinozaki K. 2011. Effects of abiotic stress on plants: A systems biology perspective. *BMC Plant Biol.* 11:1–14. doi:10.1186/1471-2229-11-163.
- Croteau R, Kutchan TM, Lewis NG. 2000. Natural products (Secondary metabolites). *Biochem Mol Biol Plants.* 24:1250–1319. doi: 10.4236/pp.2013.43A003.
- da Costa OB, del Menezzi CHS, Benedito LEC, Resck IS, Vieira RF, Bizzo HR. 2014. Essential oil constituents and yields from leaves of *Blepharocalyx salicifolius* (Kunt) O. Berg and *Myracrodruon urundeuva* (Allemão) collected during daytime. *Intern J Forest Res.* 1–6. doi:10.1155/2014/982576.
- Dallagnol LJ, Rodrigues FA, Chaves ARM, Vale FXR, DaMatta FM. 2013. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. *Plant Pathol.* 62: 120–129. doi:10.1111/j.1365-3059.2012.02606.x.
- Danesi EDG, Carvalho JCM, Rangel-Yagui CO, Sato S. 2004. Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. *Biomass Bioenergy.* 26:329–335. doi:10.1016/S0961-9534(03)00127-2.
- Darmawan. 2008. Pertumbuhan dan laju fotosintesis bibit tanaman jarak pada tingkat perendaman air dan pemupukan nitrogen berbeda. *J Agrivigor.* 7 (3): 293–299. ISSN:1412-2286.

- Darmawan ARB. 2010. Pengaruh kadar krom limbah lumpur industri penyamakan kulit terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi. *MKKP*. 26(1):33–41. p-ISSN 1829-6971 e-ISSN:2460-4461.
- da Silva E, Soares M, Mariane B, Vallim M, Pascon R, Sartorelli P, Lago J. 2013. The seasonal variation of the chemical composition of essential oils from *Porcelia macrocarpa* R.E. Fries (Annonaceae) and their antimicrobial activity. *Molecules*. 18:13547–13587. doi: 10.3390/molecules181113574.
- Delude C, Moussu S, Joubès J, Ingram G, Domergue F. 2016. *Plant Surface Lipids and Epidermis Development. Subcell Biochemistry*. Switzerland: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-25979-6_12.
- de Padua LS, Bunyapraphatsara N, Lemmens RHMJ. 1999. *Plant Resources of South-East Asia: Medicinal and Poisonous Plants 1*. Prosea. 12(1):331–335. doi:10.1021/np990726c.
- Derwich E, Benziane Z, Chabir R. 2011. Aromatic and medicinal plants of Morocco: Chemical composition of essential oils of *Rosmarinus officinalis* and *Juniperus phoenicea*. *Internas J Appl Biol Pharm Technol*. 2 (1):145–153. ISSN: 0976-4550.
- De Schepper V, De Swaef T, Bauweraerts I, Steppe K. 2013. Phloem transport: a review of mechanisms and controls. *J Exp Bot*. 64:4839–4850. doi: 10.1093/jxb/ert302.
- Devi U, Devi Th I, Singh TC. 2016. Phytochemical screening on three traditional medicinal plants against piles. *Intern J Res Granthaalayah*. 4(5):1–7. ISSN: 2350-0530(O), ISSN: 2394-3629(P).
- Devkota A, Jha PK. 2010. Effect of different light levels on the growth traits and yield of *Centella asiatica*. *Middle-East J Scient Res*. 5(4):226–230. ISSN:1990-9233.
- Dickison WC. 2000. *Integrative Plant Anatomy*. California (CA): Academic Pr. ISBN: 9780122151705, eBook ISBN: 9780080508917.
- Ding J, Sun Y, Xiao CL, Shi K, Zhou YH. 2007. Physiological basis of different allelopathic reactions of cucumber and fig leaf gourd plants to cinnamic acid. *J Exp Bot*. 58:3765–3773. doi: 10.1093/jxb/erm227.
- Dini D. 2016. Anatomi dan Uji Histokimia Sepuluh Jenis Rimpang Tanaman Familia Zingiberaceae Koleksi Kebun Raya Purwodadi-Pasuruan [skripsi]. Malang:Universitas Brawijaya. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/155032>.
- Dixon RA, Strack D. 2003. Phytochemistry meets genome analysis, and beyond. *Phytochemistry*. 62:815–816. doi: 10.1016/s0031-9422(02)00712-4.
- Djazuli M, Syukur C. 2009. Pengaruh pupuk N dan populasi tanaman terhadap pertumbuhan dan produksi jahe pada lingkungan tumbuh yang berbeda. *Bul Littro*. 20(2):121–130. doi:10.21082/bullittro.v20n2.
- Djuariah D, Handayani T, Sofiari E. 2017. Toleransi tanaman kentang (*Solanum tuberosum*) terhadap suhu tinggi berdasarkan kemampuan berproduksi di dataran medium. *J Hort*. 27(1):1–10. doi:10.21082/jhort.v27n1.
- Dovrat A. 1993. *Development in Crop Science 24: Irrigated Forage Production*. Faculty of Agriculture, The Hebrew University of Jerusalem Revohot. Amsterdam: Elsevier. ISBN: 0 444 88300.

- Duan Z, Homma A, Kobayashi M, Nagata N, Kaneko Y, Fujiki Y, Nishida I. 2014. Photoassimilation, assimilate translocation, and plasmodesmal biogenesis in the source leaves of *Arabidopsis thaliana* grown under an increased atmospheric CO₂ concentration. *Plant Cell Physiol.* 55:358–369. doi: 10.1093/pcp/pcu004.
- Dwivedi SL, Sahrawat KL, Upadhyaya HD, Mengonix A, Galardinix M, Bazzicalupox M, Biondi EG, Hungriaaj M, Kaschuk G, Blair MW, Ortiz R. 2015. Advances in host plant and rhizobium genomics to enhance symbiotic nitrogen fixation in grain legumes. *Adv Agron.* 129:1–116. doi:10.3390/plants9081011.
- Ekowati J, Rudyanto, Sasaki, Budiati S, Sukardiman T, Hermawan A, Meiyanto E. 2010. Structure modification of ethyl p-methoxycinnamate isolated from *Kaempferia galanga* Linn. and citotoxicity assay of the products on cells. *Indones J Canc Chemoprev.* 1(1):12–18. doi:10.14499/indonesianjcanchemoprev1iss1pp12-18.
- Ekowati J, Widowati R, Isadiartuti D. 2017. Preparation of an inclusion complex system of ethyl-p-methoxycinnamate hydroxypropyl- β -cyclodextrin: characterization and solubility evaluation. *RJPBCS-Res J Pharmaceut, Biol Chem Sci.* 8(1):1486–1494. ISSN: 0975-8585.
- Eviati, Sulaeman. 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk: Petunjuk Teknis.* Ed ke-2. Prasetyo BH, Santoso D, Retno LE, editor. Bogor: Balittan Deptan. ISBN: 978-602-8039-21-5.
- Fahn A. 1979. *Secretory Tissues in Plants.* London: Academic Pr. doi:10.1111/j.1469-8137.1988.tb04159.x.
- Fahn A. 1991. *Plant Anatomy.* Oxford: Pergamon Pr. ISBN: 9789794201886.
- Fatchurrozak, Susanto, Sugiyarto. 2015. Pengaruh ketinggian tempat terhadap kandungan vitamin C dan zat antioksidan pada buah *Carica pubescens* di dataran tinggi Dieng. *El-Vivo.* 1(1):24–31. ISSN:2339-1901.
- Fiehn O. 2002. Metabolomics-the link between genotypes and phenotypes. *Plant Mol Biol.* 48(1–2):155–171. doi:10.1023/A:1013713905833.
- Finlay KW, Wilkinson GN. 1993. The analysis of adaptation in plant breeding programme. *Aust J Agric Res.* 14:742–754. doi:10.1071/AR9630742.
- Friend AD, Woodward FI. 1990. Evolutionary and ecophysiological responses of mountain plants to the growing season environment. Di dalam: Begon M, Fitter A, Macfadyen A, editor. *Adv Ecol Res.* Volume 20. Ed ke-1. London: Academic Pr. hlm 59–124. doi:10.1111/j.1469-8137.1990.tb03914.x.
- Fujimura S, Shi P, Iwama K, Zhang X, Gopal J, Jitsuyama Y. 2010. Effect of altitude on the response of net photosynthetic rate to carbon dioxide increase by spring wheat. *Plant Prod Sci.* 13:141–149. doi:10.1626/pps.13.141.
- Furr Y, Mahlberg PG. 1981. Histochemical analysis of laticifers and glandular trichomes in *Cannabis sativa*. *J Nat Prod.* 44(2):153–159. doi:10.1139/cjb-2020-0060.
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchel RL. 1991. *Physiology of Crop Plants.* Iowa Univ Pr. ISBN: 0-8247-0546-7.
- Geissman TA, Grout DHG. 1969. *Terpineol Compounds. Organic Chemistry of Secondary Plant Metabolism.* USA: Freeman Cooper. ISBN:13978-0877352013, ISBN:10 0877352011.

- Ghasemzadeh A, Jaafar HZE, Rahmat A. 2010. Synthesis of phenolics and flavonoids in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and their effects on photosynthesis rate. *Intern J Mol Sci.* 11:4539–4555. doi: 10.3390/ijms11114539.
- Ghasemzadeh A, Ghasemzadeh N. 2011. Flavonoids and phenolic acids : Role and biochemical activity in plants and human. *J Med Plants Res.* 5(31): 6697–6703. doi: 10.5897/JMPR11.1404.
- Ghasemzadeh A, Neda G. 2011. Effect of shading on synthesis and accumulation of polyphenolic compounds in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe.) varieties. *J Med Plants Res.* 5(11):2435–2442. ISSN:1996-0875.
- Ghasemzadeh A, Jafaar HZE. 2011. Effect of CO₂ enrichment on synthesis of some primary and secondary metabolites in ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *Intern J Mol Sci.* 12:1101–1114. ISSN:1996-0875.
- Giannakoula AE, Ilias IF, Maksimovic JJD, Maksimovic VM, Zivanovic BD. 2012. The effects of plant growth regulators on growth, yield, and phenolic profile of lentil plants. *J Food Composit Anal.* 28:46–53. doi:10.1016/j.jfca.2012.06.005.
- Girija TP, Rema SAB. 2014. Comparative anatomical and histochemical characterization of the source plants of the ayurvedic drug rasna. *Intern J Herb Med.* 2 (2):38–4. ISSN:2321-2187.
- Glas JJ, Schimmel BCJ, Alba JM, Escobar-Bravo R, Schuurink RC, Kant MR. 2012. Plant glandular trichomes as targets for breeding or engineering of resistance to herbivores. *Intern J Mol Sci.* 13:170077–17103. doi: 10.3390/ijms131217077.
- Gomez KA, Gomez AA. 1995. *Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian*. Jakarta: UI Pr. 698p. ISSN: 9794561398.
- Gowda V, Kress WJ, Htun T. 2012. Two new species of ginger (Zingiberaceae) from Myanmar. *Phytokeys.* 13:5–14. doi:10.3897/phytokeys.13.2670.
- Guerin HP, Delaveau PG, Paris RR. 1971. Localizations histochimiques: procédés simples de localisation de pigments flavoniques. Application á quelques phanéogrammes. *Bull Soc Bot Fr.* 118:29–36. doi:10.33474/j.sa.v1i1.1132.
- Guimaraes PJF, Rana NT, Martins AB. 1999. Morphology of trichomes in *Tibouchina* sect. *Pleroma* (D-Don) Cogn. (Melastomataceae). *Brazilian Archiv Biol Technol.* 42:485–493. doi:10.1590/S1516-89131999000400015.
- Gupta P, De B. 2017. Metabolomics analysis of rice responses to salinity stress revealed elevation of serotonin, and gentisic acid levels in leaves of tolerant varieties. *Plant Signal Behav.* 12(7):e1335845. doi: 10.1080/15592324.2017.1335845.
- Guritno B, Sitompul SM. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta: UGM Pr. ISBN:979-420-374-2.
- Gurusaravanan P, Pandiyarajan V, Jayabalan N. 2010. Effect of the seaweed liquid fertilizer on growth and productivity of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Green Farm.* 1(2):138–140. ISSN: 0976-3031.
- Guzman JD. 2014. Natural cinnamic acid, synthetic derivatives and hybrids with antimicrobial activity. *Molecules.* 19:19292–19349. doi: 10.3390/molecules191219292.

- Hadad MEA, Pribadi ER, Taryono. 1989. Pengaruh beberapa unsur iklim terhadap pertumbuhan temulawak. *Agromet J Perhim Met Pert Indones*. 5(1):225–238. ISBN: 978-979-8943-25-6.
- Hall DR. 2006. Plant metabolomics: from holistic hope, to hype, to hot topic. *New Phytol*. 169(3):453–468. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01632.x.
- Hall DR, Hardy NW. 2012. *Plant Metabolomics: Methods and Protocol*. New York (NY): Humana Pr. doi:10.1007/978-1-61779-594-7.
- Han JS, Lee S, Kim HY, Lee CH. 2015. MS-based metabolite profiling of aboveground and root components of *Zingiber mioga* and *Zingiber officinale*. *Molecules*. 20:16170–16185. doi: 10.3390/molecules200916170.
- Hanin NNF, Pratiwi R. 2017. Kandungan fenolik, flavonoid, dan aktivitas antioksidan ekstrak daun paku laut (*Acrostichum aureum* L.) fertil dan steril. *J Trop Biodiv Biotech*. 2:51–56. doi:10.22146/jtbb.29819.
- Harapini M, Rahayu, Chairul. 1996. Pemeriksaan komponen minyak atsiri rimpang kencur (*K. galangal* L.). *Warta TOI*. 3:19–20. ISSN: 0853-6929.
- Harborne JB. 1987. *Metode Fitokimia: Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*. Padmawinata K, Soediro I, penerjemah; Niksolihin S, editor. Bandung: ITB Pr. ISBN: 9798001141.
- Hardjo PH, Susanto DPS, Savitri WD, Purwanto MGM. 2019. Shoot multiplication of *Pogostemon cablin* var. Sidikalang and patchouli oil profile. *Nusan Biosci*. 11(2):123–127. Doi:10.13057/nusbiosci/n110202.
- Harit J, Barapatre A, Prajapatri M, Aadil KR, Senapati S. 2013. Antimicrobial activity of rhizome of selected curcuma variety. *IJLBPR*. 2(3):1–7. ISSN: 2250-3137.
- Hatem MH, El-Ebaby FG, Badawy EM, Emam RH. 2007. External shading for greenhouse on growth and quality of some ornamental plants. *J Misr Agric Eng*. 24:630–647. doi:10.3390/en12244716.
- Hill CB, Roessner U. 2013. *The Handbook of Plant Metabolomics*, 1st ed. Weckwerth W, Kahl G, editor. Weinheim: Wiley. doi: 10.4161/psb.21517.
- Holland N, Richardson AD. 2009. Stomatal length correlates with elevation of growth in four temperate species changes in stomatal traits with increasing elevation. *J Sustain Forest*. 28:63–73. Doi:10.1080/10549810802626142.
- Holopainen JK, Gershenzon J. 2010. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. *Trends Plant Sci*. 15:176–184. doi: 10.1016/j.tplants.2010.01.006.
- Hong-Bo S, Li-Ye C, Jaleel CA, Chang-Xing Z. 2008. *Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants*. CR Biologies. 331:215–225. doi: 10.1016/j.crv.2008.01.002.
- Horvath DP, Anderson JV, Chao WS, Foley ME. 2003. Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. *Trends Plant Sci*. 8(11):534–540. doi: 10.1016/j.tplants.2003.09.013.
- Hossain MD, Hanafi MM, Saleh G, Foroughi M, Behmaram R, Noori Z. 2012. Growth, photosynthesis, and biomass allocation of different kenaf (*Hibiscus annabinus* L.) accessions grown on sandy soil. *Aust J Crop Sci*. 6:480–487. ISSN:1835-2707.
- Hu ZH. 2012. *Plant Secretory Structure Anatomy*. Shanghai: Shanghai Pr. doi:10.1515/hf-2019-0241.

- Indrayan AK, Kurian A, Tyagi PK, Shatru A, Rathi AK. 2007. Comparative chemical study of two varieties of attractive medicinal plant *Kaempferia galanga* L. *Nat Prod Rad.* 6(4):327–333.
- Indriyani S. 2017. Secretory structure and histochemistry test of some Zingiberaceae plants. 8th *International Conference on Global Resource Concervation*. AIP. doi:10.1063/1.5012722.
- Jan IIU, Rabbani MA, Shinwari K. 2012. Estimation of genetic variability in turmeric (*Curcuma longa* L.) germplasm using agromorphological traits. *Pak J Bot.* 44:231–238. ISSN : 0556-3321.
- Januwati NM, Nurdjanah N, Hasanah M. 1989. Pengaruh faktor iklim terhadap produksi dan mutu jahe badak di KP Sukamulya Sukabumi. *Agromet.* 5(1): 217–224. ISSN:1412-8004.
- Jezler CN, Batista RS, Alves PB, Silva DC, Costa LCB. 2013. Histochemistry, content and chemical composition of essential oil in different organs of *Alpinia zerumbet*. *Ciencia Rural.* 43(10):1811–1816. doi:10.1177/1934578X1701200842.
- Jiao Y, Ouyang HL, Jiang YJ, Kong XZ, He W, Liu WX, Yang B, Xu FL. 2015. Toxic effects of ethyl cinnamate on the photosynthesis and physiological characteristics of *Chlorella vulgaris* based on chlorophyll fluorescence and flow cytometry analysis. *Sci World J.* 1–13. doi:10.1155/2015/107823.
- Jirovetz L, Buchbauer G, Shafi PM, Abraham GT. 2001. Analysis of the essential oil of the roots of the medicinal plant *Kaempferia galanga* L. (Zingiberaceae) from South-India. *Acta Pharm Turcica.* 63(2):107–110. ISSN:1300-638X.
- Johansen DA. 1940. *Plant Microtechnique*. New York (NY): McGraw-Hill. doi:10.1038/147222b0.
- Johnston M, Onwueme IC. 1998. Effect of shade on photosynthetic pigments in the tropical root crops: yam, taro, tannia, cassava, and sweet potato. *Exp Agric.* 34:301–312. doi:10.1017/S0014479798343033.
- Jorge TF, Rodrigues JA, Caldana C, Schmidt R, van Dongen JT, Thomas-Oates J, Antonio C. 2016. Mass spectrometry-based plant metabolomics: metabolite response to abiotic stress. *Mass Spec Rev.* 35:620–649. doi: 10.1002/mas.21449.
- Joshi SC, Chandra S, Palni LMS. 2007. Differences in photosynthetic characteristics and accumulation of osmoprotectants in saplings of evergreen plants grown inside and outside a glasshouse during the winter season. *Photosynthetica.* 45:594–600. ISSN:0300-3604.
- Kalariya KA, Singh AL, Goswami N, Mehta D, Mahatma MK, Ajay BC, Chakraborty K, Zala PV, Chaudhary V, Patel CB. 2015. Photosynthetic characteristics of peanut genotypes under excess and deficit irrigation during summer. *Physiol Mol Biol Plants.* Springer: 1–12. doi: 10.1007/s12298-015-0300-8.
- Kavitha PR, Menon MV. 2013. Effect of potassium and secondary nutrients on the essential oil and oleoresin contents in Kacholam (*K. galanga* L.). *J Trop Agric.* 51(1–2):105–110. ISSN:0971-636X; eISSN 0973-5399.
- Kazemi SY, Nabavi J, Zali H, Ghorbani J. 2017. Effect of altitude and soil on the essential oils composition of *Juniperus communis*. *J Ess Oils Bear Plants.* 20(5):1380–1390. doi:10.1080/0972060X.2017.1387080.

- Kempinski C, Zuodong J, Bell, Stephen CJ. 2015. Metabolic engineering of higher plants and Algae for isoprenoid production. *Adv Biochem Eng Biotechnol.* 148:161–199. doi: 10.1007/10_2014_290.
- Khan S, Al-Qurainy F, Ranu M, Ahmad S, Abdin MZ. 2010. Phyllanthin biosynthesis in *Phyllanthus amarus*: Schum and Thonn growing at different altitudes. *J Medic Plants Res.* 4 (1):041–048. doi:10.5897/JMPR09.369.
- Khandaker MM, Rasdi MZ, Naeimah NN, Mat N. 2017. Effects of naphtalene acetic acid (NAA) on the plant growth and sugar effects on the cut flowers Mokara Chark Kuan orchid. *Biosci J.* 33(1):19–30. doi:10.14393/BJ-v33n1a2017-34908.
- Kiernan JA. 2015. *Histological and Histochemical Methods: Theory and Practice.* Ed ke-5. Banbury (GB): Scion. doi: 10.5603/FHC.a2016.0007.
- Kim EJ, Kwon J, Park SH, Park C, Seo YB, Shin HK, Kim HK, Lee KS, Choi SY, Ryu DH, Hwang GS. 2011. Metabolite profiling of *Angelica gigas* from different geographical origin using H-NMR and UPLC-MS analysis. *J Agric Food Chem.* 59: 8806–8815. doi:10.1021/jf2016286.
- Kim HU. 2020. Lipid metabolism in plants. *Plants.* 9(871):1–4. doi:10.3390/plants9070871.
- Komala I, Supandi, Nurhasni, Betha OS, Putri E, Mufidah S, Awaludin MF, Fahmi M, Reza M, Indriyani NP. 2018. Structure-activity relationship study on the ethyl-p-methoxycinnamate as an anti-inflammatory agent. *Indones J Chem.* 18(1):60–65. doi:10.22146/ijc.26162.
- Komatsu S, Kobayashi Y, Nishizawa K, Nanjo Y, Furukawa K. 2010. Comparative proteomics analysis of differentially expressed proteins in soybean cell wall during flooding stress. *Amino Acids.* 39:1435–1449. doi: 10.1007/s00726-010-0608-1.
- Kostopoulou P, Karatassiou M. 2016. Photosynthetic response of *Bromus inermis* in grasslands of different altitudes. *Turk J Agric For.* 40:642–653. doi:10.3906/tar-1602-50.
- Kristian H, Samanhudi, Sumiyati. 2016. Pengaruh tingkat naungan dan cekaman air pada pertumbuhan dan hasil dari jahe (*Zingiber officinale* var. *amarum*). *J Agr Res.* 5(1):1–5. ISSN: 2442-7314.
- Kulbat K. 2016. The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnol Food Sci.* 80(2):97–108. doi:10.1155/2012/217037. 26.
- Kumar A. 2014. Chemical composition of essential oil isolated from the rhizome of *Kaempferia galanga* L. *Intern J Pharm Bio Sci.* 5(1):225–231. ISSN:0975-6299.
- Kumar N, Pruthi V. 2014. Potential applications of ferulic acid from natural source. *Biotech Rep.* 4:86–93. doi: 10.1016/j.btre.2014.09.002.
- Kuntorini EM, Astuti MD, Milina N. 2011. Struktur anatomi dan kerapatan sel sekresi serta aktivitas antioksidan ekstrak etanol rimpang temulawak asal kecamatan Pengaron kabupaten Banjar Kalimantan Selatan. *J Biosci.* 8(1): 28–37. ISSN:1693-4792.
- Kusano M, Yang Z, Okazaki Y, Nakabayashi R, Fukushima A, Saito K. 2015. Using metabolomic approaches to explore chemical diversity in rice. *Mol Plant.* 8:58–67. doi:10.1016/j.molp.2014.11.010.

- Laily AN, Suranto, Sugiyarto. 2012. Characteristics of *Carica pubescens* of Dieng Plateau, Central Java according to its morphology, antioxidant, and protein pattern. *Nusan Biosci.* 4(1):16–21. doi:10.13057/nusbiosci/n040104.
- Lambers H, Chapin FS III, Pons TL. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Ed ke-2. New York (NY): Springer. ISBN:978-0-387-78341-3.
- Lautt BS, Chozin MA, Sopandie D, Darusman LK. 2000. Perimbangan pati-sukrosa dan aktivitas enzim sukrosa fosfat sintase pada padi gogo yang toleran dan peka terhadap naungan. *Hayati.* 7:31–34. doi: 10.24831/jai.v43i1.9580.
- Lee Y, Chen F, Gallego-Giraldo L, Dixon RA, Voit EO. 2011. Integrative analysis of transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.) suggests new metabolic control mechanisms for monolignol biosynthesis. *PLOS Comput Biol.* 7: e1002047. PubMed: 21625579. doi: 10.1371/journal.pcbi.1002047.
- Lee YL, Ding P. 2016. Physiological production of essential oil in plants-ontogeny, secretory structures, and seasonal variations. *PJSRR.* 2(1):1–10. doi: 10.3390/medicines3040025.
- Lee M-h, Han Ah-R, Jang M, Choi Hyo-K, Lee S-Y, Kim K-T, Lim T-G. 2018. Antiskin inflammatory activity of black ginger (*Kaempferia parviflora*) through antioxidative activity. *Hindawi J Oxid Med Cell Long.* 1–11. Doi:10.1155/2018/5967150.
- Lely N, Rahmanisah D. 2017. Uji daya hambat minyak atsiri rimpang kencur (*Kaempferia galanga* Linn.) terhadap *Trichophyton mentagrophytes* dan *T. rubrum*. *J Penel Sains.* 19(2):94–99. doi:10.26554/JPS.V19I2.480.
- Levitt J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stress*. New York (NY): Academic Pr. doi:10.1126/science.177.4051.786.
- Li ZH, Wang Q, Ruan X, Pan CD, Jiang DA. 2010. Phenolics and plant allelopathy. *Molecules.* 15:8933–8952. doi: 10.3390/molecules15128933.
- Li T, Heuvelink E, Marcelis LFM. 2015. Quantifying the source-sink balance and carbohydrate content in three tomato cultivars. *Front Plant Sci.* 6:1–10. doi:10.3389/fpls.2015.00416.
- Li W, Xiong B, Wang S, Deng X, Yin L, Li H. 2016. Regulation effects of water and nitrogen on the source-sink relationship in potato during the tuber bulking stage. *PLoS ONE.* 11:1–18. doi: 10.1371/journal.pone.0146877.
- Li YC, Ji H, Li XH, Zhang HX, Li HT. 2016. Isolation of nematicidal constituents from essential oil of *Kaempferia galanga* L. rhizome and their activity against *Heterodera avenae* Wollenweber. *Trop J Pharm Res.* 16(1):59–65. doi:10.4314/tjpr.v16i1.8.
- Lin MT, Occhialini A, Andralojc PJ, Parry MAJ, Hanson MR. 2014. A faster rubisco with potential to increase photosynthesis in crops. *Nature.* 513:547–550. doi:10.1038/nature13776.
- Liu G, Li Y, Alva AK. 2012. Water potential vs. pressure in relation to water movement transpiration in plants. *Intern J Agron Plant Prod.* 3:369–373. doi: 10.3389/fpls.2018.00467.
- Liu XC, Liang Y, Shi WP, Liu QZ, Zhou L, Liu AZL. 2014. Repellent and insecticidal effects of the essential oil of *Kaempferia galanga* rhizomes to *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelidae). *J Econ Entomol.* 107(4):1706–1712. doi: 10.1603/ec13491.

- Liu H, Specht CD, Zhao T, Liao J. 2020. Morphological anatomy of leaf and rhizome in *Zingiber officinale* Roscoe with emphasis on secretory structures. *Hortic Sci.* 55(2):204–207. doi:10.21273/HORTSCI14555-19.
- Lommen WJM, Bouwmeester HJ, Schenk E, Verstappen FWA, Elzinga S, Struik PC. 2008. Modelling processes determining and limiting the production of secondary metabolites during crop growth: the example of antimalarial artemisin produced in *Artemisia annua*. *Acta Hort.* 765:87–94. doi:10.17660/ActaHortic.2008.765.10.
- Loreto F, Schnitzler JP. 2010. Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends Plant Sci.* 15:154–166. doi:10.1016/j.tplants.2009.12.006.
- Loreto F, Dicke M, Schnitzler JP, Turlings TCJ. 2014. Plant volatiles and the environment. *Plant Cell Environ.* 37:1905–1908. doi:10.1111/pce.12369.
- Lucas WJ, Groover A, Lichtenberger R, Furuta K, Yadav SR, Helariutta Y, He XQ, Fukuda H, Kang J, Brady SM, Patrick JW, Sperry J, Yoshida A, López-Millán AF, Grusak MA, Kachroo P. 2013. The plant vascular system: evolution, development and functions. *J Integrat Plant Biol.* 55:294–388. doi:10.1111/jipb.12041.
- Luo X, Huang Q. 2011. Relationships between leaf and stem soluble sugar content and tuberous root starch accumulation in cassava. *J Agr Sci.* 3:64–72. doi:10.5539/JAS.V3N2P64.
- Luo W, Jiang Y, Lu X, Wang X, Li MH, Bai E, Han X. 2013. Patterns of plant biomass allocation in temperate grassland across a 2500 km transect in Northern China. *PloSOne.* 8(8):1–8. doi:10.1371/journal.pone.0071749.
- Ma L, Sun X, Kong X, Galvan JV, Li X, Yang S, Yang Y, Hu X. 2015. Physiological, biochemical, and proteomics analysis reveals the adaptation strategies of the alpine plant *Potentilla saundersiana* at altitude gradient of the Northwestern Tibetan Plateau. *J Prot.* 112:63–82. Doi:10.1016/j.jprot.2014.08.009.
- Maillard A, Diquelou S, Billard V, Laine P, Garnica M, Prudent M, Garcia-Mina J, Yvin J, Ourry A. 2015. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. *Front Plant Sci.* 6:1–15. doi:10.3389/fpls.2015.00317.
- Malik W, Ahmed D, Izhar S. 2017. Tyrosinase inhibitory activities of *Carissa opaca* Stapf ex haines roots extracts and their phytochemical analysis. *Pharmacog Mag.* 13:544–548. doi:10.4103/pm.pm_561_16.
- Mangesha D, Belew D, Gebreselassie W, Sori W. 2012. Growth and yield performance of anchote [*Coccinia abyssinica* (Lam.) Cogn.] in response to contrasting environment. *Asian J Plant Sci.* 11:172–181. ISSN:1812-5697.
- Ma Q, Fan XD, Liu XC, Qiu TA, Jiang JG. 2015. Ultrasound-enhanced subcritical water extraction of essential oils from *Kaempferia galanga* L. and their comparative antioxidant activities. *Separ Purific Technol.* 150:73–79. doi:10.1080/01496395.2019.1650768.
- Marcelis LFM. 1996. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *J Exp Bot.* 47:1281–1291. doi:10.1093/jxb/47.special_issue.1281.

- Martins DL, Schietti J, Feldpausch TR. 2014. Soil-induced impacts on forest structure drive coarse woody debris stocks across central Amazonia. *J Plant Ecol Divers*. UK:Taylor Francis. 1–32. doi:10.1080/17550874.2013.879942.
- Matsuura HN, Fett-Neto AG. 2013. The major indole alkaloid, D-glucopyranosyl vincosamide from leaves of *Psychotria leiocarpa* Cham. & Schltdl. is not an antifeedant but shows broad antioxidant activity. *Nat Prod Res*. 27:402–411. doi:10.1080/14786419.2012.715293.
- Mathew S, Abraham TE. 2004. Ferulic acid: An antioxidant found naturally in plant cell walls and feruloyl esterases involved in its release and their applications. *Crit Rev Biotechnol*. 24(2–3):59–83. doi:10.1080/07388550490491467.
- Matos EC, Paiva EAS. 2012. Structure, function and secretory products of the peltate glands of *Centrolobium tomentosum* (Fabaceae, Faboideae). *Aust J Bot*. 60:301–309. doi:10.1071/BT12009.
- Mattjik AA, Sumertajaya IM. 2002. *Perancangan Percobaan: dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. Jilid I. Ed ke-2. Bogor: IPB Pr. ISBN/ISSN:979493075x.
- McCormick AJ, Cramer MD, Watt DA. 2006. Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. *New Phytol*. 171:759–770. doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01785.x.
- Meena RK, Jangra S, Wadhwa Z, Monika, Wati L. 2017. Role of plant volatiles in defense and communication. *Intern J Curr Microbiol App Sci*. 6(4):300–313. ISSN: 2319-7706.
- Mierziak J, Kostyn K, Kulma A. 2014. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. *Molecules*. 19:16240–16265. doi:10.3390/molecules191016240.
- Mithofer A, Boland W. 2012. Plant defence against herbivores: chemical aspects. *Annu Rev Plant Biol*. 63:431–450. doi:10.1146/annurev-arplant-042110-103854.
- Moghaddam M, Mehdizadeh L. 2017. Chemistry of essential oils and factors influencing their constituents. Chapter 13. *Res Gate*. 1–42. doi:10.1016/B978-0-12-811412-4.00013-8.
- Monteiro WR, Fahn A, Caldeira W, Castro MD. 1999. Ultrastructural observation on the foliar secretory cavities of *Porophyllum lanceolatum* DC. (Asteraceae). *Flora*. 194:113–126. doi:10.1111/j.1756-1051.1995.tb00124.x.
- Mu N, Liu HF, Kuang YF, Zou P, Liao JP. 2015. Developmental processes of rhizome and ultrastructure of secretory cavities in *Zingiber officinale* Roscoe. *J Trop Subtrop Bot*. 23:151–159. doi:10.21273/HORTSCI14555-19.
- Muangphrom P, Hikaru S, Seiya M, Nishiwaki M, Fukushima EO, Muranaka T. 2018. Identification and characterization of a novel sesquiterpene synthase, 4-amorphen-11-ol synthase, from *Artemisia maritima*. *Plant Biol*. 35:1–9. doi:10.5511/plantbiotechnology.18.0324a.
- Mulyani S, Toga L. 2011. Analisis flavonoid dan tanin dengan metode mikroskopi-mikrokimia. *Majal Obat Trad*. 16(3):109–114. ISSN:1410-5918.
- Munda S, Saikia P, Lal M. 2018. Chemical composition and biological activity of essential oil of *Kaempferia galanga*: A review. *J Essent Oil Res*. 30:303–308. doi:10.1080/10412905.2018.1486240.

- Nag S, Mandal S. 2015. Importance of ekangi (*Kaempferia galanga* L.) as medicinal plants-A Review. *Intern J Innov Res Rev.* 3(1):99–106. ISSN: 2347 – 4424.
- Nautiyal CS. 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiol Lett.* 170:265–270. doi:10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x.
- Ncube B, Finnie JF, Staden JV. 2012. Quality from the field: The impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. *South Afr J Bot.* 82:11–20. doi:10.1016/j.sajb.2012.05.009.
- Nihayati E, Wardiyati T, Soemarno, Retnowati R. 2013. Rhizome yield of temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) at N, P, K various level and N, K combination. *J Agriv.* 35(1):1–11. doi:10.17503/agrivita.v35i1.263.
- Nindyawati DL, Indriyani S. 2017. Struktur sel sekretori dan uji mikroskopi mikrokimiawi metabolit sekunder pada daun dari tujuh taksa tanaman obat antihipertensi. *J Biotrop.* 5(2):59–67. doi:10.21776/ub.biotropika.2017.005.02.4.
- Nogues I, Loreto F. 2013. Regulation of Isoprene and Monoterpene Emission. Di dalam: Thomas JB, Michel R, editor. *Isoprenoid synthesis in plants and microorganisms*. New York (NY): Springer. doi:10.1007/978-1-4614-4063-5_10.
- Obata T, Fernie AR. 2012. The use of metabolomics to dissect plant responses to abiotic stresses. *Cell Mol Life Sci.* 69:3225–3243. doi:10.1007/s00018-012-1091-5.
- Ogundare AO. 2007. Antimicrobial effect of *Tithonia diversifolia* and *Jatropha gossypifolia* leaf extracts. *Sci Res.* 2(2):145–150. doi:10.3923/tasr.2007.145.150.
- Olawode EO, Tandlich R, Cambray G. 2017. ¹H-NMR profiling and chemometric analysis of selected honeys from south Africa, Zambia, and Slovakia. *Molecules.* 23(578):1–19. doi: 10.3390/molecules23030578.
- Olayemi RF. 2017. The role of monoterpenoids and sesquiterpenoids as defense chemicals in plants—a Review. *Nigerian Res J Chem Sci.* 3:1–15. doi:10.1111/j.1461-0248.2012.01835.x. 12.
- Omar MN, Hasali NHM, Alfarra HY, Yarmo MA, Zuberdi AM. 2014. Antimicrobial activity and microbial transformation of ethyl-p-methoxycinnamate extracted from *Kaempferia galanga* L. *Oriental J Chem.* 30(3):1037–1043. doi:10.13005/ojc/300315.
- Oriz R, Thretowan R, Ferrara GO, Iwanaga M, Dodds JH, Crouh JH, Crossa J, Braun HJ. 2007. High yield potential, shuttle breeding, genetic diversity and a new international wheat improvement strategy. *Eupytia.* 157:365–384. doi:10.1007/s10681-007-9375-9.
- Osorio S, Ruan YL, Fernie AR. 2014. An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Front Plant Sci.* 5:1–11. doi:10.3389/fpls.2014.00516.
- Pacheco FV, de Oliveira Silveira HR, Alvarenga AA, Alvarenga ICA, Pinto JE BP, Lira JMS. 2013. Gas exchange and production of photosynthetic pigments of *Piper aduncum* L. grown at different irradiances. *America J Plant Sci.* 4: 114–121. doi:10.4236/ajps.2014.510163.

- Paiva EAS. 2016. How do secretory products cross the plant cell wall to be released? A new hypothesis involving cyclic mechanical actions of the protoplast. *Ann Bot.* 117:533–540. doi:10.1093/aob/mcw012.
- Pamuji S, Saleh B. 2010. Pengaruh intensitas naungan buatan dan dosis pupuk K terhadap pertumbuhan dan hasil jahe gajah. *Akta Agro.* 13(1):62–69. ISSN:1410-3354.
- Pan H, Tian Y, Wang S, Du Z, Liu X, Li M. 2011. Responses of the non-structural carbohydrates in *Fargesia nitida* to elevation in Wolong Nature Reserve. Di dalam: Lin S, Huang X, editor. *Advances in Computer Science, Environment, Ecoinformatics, and Education, Part II. International Conference on Computer Science, Environment, Ecoinformatics, and Education, CSEE 21-22 Agu 2011; Wuhan, China.* Wuhan: Springer. hlm 380–385. doi:10.1007/978-3-642-23324-1_61.
- Pandey G, Khatoon S, Pandey MM, Rawat AKS. 2018. Altitudinal variation of berberine, total phenolics and flavonoid content in *Thalictrum foliolosum* and their correlation with antimicrobial and antioxidant activities. *J Ayurveda Integrat Med.* 9(3):169–176. doi: 10.1016/j.jaim.2017.02.010.
- Pangaribuan HD. 2010. Analisis pertumbuhan tomat pada berbagai jenis pupuk kandang. *Pros Sem Nas Sains dan Tek III.* 18 -19 Oktober 2010. Lampung: Univ Lampung. ISBN: 978–979-8510-20-5.
- Paul MJ, Foyer CH. 2001. Sink regulation of photosynthesis. *J Exp Bot.* 52:1383–1400. doi: 10.1093/jexbot/52.360.1383.
- Pavarini DP, Pavarini SP, Niehues M, Lopes NP. 2012. Exogenous influences on plant secondary metabolite levels. *Anim Feed Sci Tech.* 176:5–16. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.07.002.
- Pavlović IP, Tarkowski T, Prebeg H, Lepeduš B, Salopek-Sondi. 2019. Green spathe of peace lily (*Spathiphyllum wallisii*): An assimilate source for developing fruit. *South Afric J Bot.* 124:54–62. doi:10.1016/j.sajb.2019.04.014.
- Peksen E. 2007. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Sci Hort.* 113:322–328. doi:10.1016/j.scienta.2007.04.003.
- Pertamawati. 2010. Pengaruh fotosintesis terhadap pertumbuhan tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) dalam lingkungan fotoautotrof secara in vitro. *J Sains Tek Indones.* 12(1):31–37. doi:10.29122/jsti.v12i1.848.
- Pichersky E, Raguso RA. 2016. Why do plants produce so many terpenoid compounds? *New Phytol.* 1-12. doi: 10.1111/nph.14178.
- Pluskal T, Castillo S, Villar-Briones A, Oresic M. 2010. MZmine 2: modular framework for processing, visualizing, and analyzing mass spectrometry based molecular profile data. *BMC Bioinform.* 11:395. doi: 10.1186/1471-2105-11-395.
- Policegoudra RS, Aradhya SM. 2007. Biochemical changes and antioxidant activity of mango ginger (*Curcuma amada* Roxb.) rhizomes during postharvest storage at different temperatures. *Postharv Biol Technol.* 46(2): 189–194. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.04.012.
- Porrás G, Bacsá J, Tang H, Quave CL. 2019. Characterization and structural analysis of genkwanin, a natural product from *Callicarpa americana*. *Crystals.* 9(491):1–12. doi:10.3390/cryst9100491.

- Pralupi AN. 2012. Studi Metabolomik Rimpang Temulawak dari Berbagai Daerah Menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS) [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pratama AJ, Laily AN. 2015. Analisis kandungan klorofil gandasuli (*Hedychium gardnerianum*) pada tiga daerah perkembangan daun yang berbeda. Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam. 13 Januari 2015. Pendidikan Biologi, Pendidikan Geografi, dan Pendidikan Sains PKLH FKIP UNS. 216–219. Surakarta: UNS. ISBN:978-602-71497-1-7.
- Pratiwi DR, Sulistyaningsih YC, Ratnadewi D. 2020. Localization of alkaloid and other secondary metabolites in *Cinchona ledgeriana* Moens: Anatomical and histochemical studies on fresh tissues and cultured cell. *Hayati J Biosci.* 27(1):1–7. doi:10.4308/hjb.27.1.1.
- Preetha TS, Hemanthakumar AS, Krishnan PN. 2016. A comprehensive review of *Kaempferia galanga* L. (Zingiberaceae): A high sought medicinal plant in Tropical Asia. *J Med Plants Studies.* 4(3):270–276. ISSN: 2320-3862.
- Pujiasmanto B. 2016. Strategi Pengembangan Budidaya Tumbuhan Obat dalam Menunjang Pertanian Berkelanjutan. [diakses 2019 Nop 05] <http://library.uns.ac.id/strategi-pengembangan-budidaya-tumbuhan-obat-dalam-menunjang-pertanian-berkelanjutan>.
- Purnomo D, Damanhuri, Winarno W. 2018. Respon pertumbuhan dan hasil tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) terhadap pemberian naungan dan pupuk kieserite di dataran medium. *Agriprima.* 2(1):67–78. doi:10.25047/agriprima.v2i1.72.
- Purwadi E. 2011. Pengujian ketahanan benih terhadap cekaman lingkungan. [diakses 2019 Okt 21]. <http://www.masbied.com>
- Purwoko T. 2007. *Fisiologi Mikroba*. Jakarta: Bumi Aksara. ISBN:979-010-011-6.
- Putri EIK, Rifin A, Novindra, Daryanto HK, Hastuti, Istiqomah A. 2014. Tangible value biodiversitas herbal dan meningkatkan daya saing produk herbal Indonesia dalam menghadapi Masyarakat Ekonomi Asean 2015. *JIPI.* 19(2):118–124. p-ISSN:0853-4217 e-ISSN: 2443-3462
- Quamruzzaman Md, Rahman MdJ, Uddain J, Sarkar MdD, Subramaniam S. 2018. Leaf gas exchange, reproductive development, physiological and nutritional changes of peanut as influenced by boron. *J Plant Interact.* 13(1):306–314. doi:10.1080/17429145.2018.1475021.
- Rachmawati S. 2012. Kajian Metabolomik Rimpang Temulawak Menggunakan Kromatografi Cair-Spektroskopi Massa (LC-MS) [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rahardjo M, Rosita SMD. 2003. Agroekosistem tanaman obat. *J BAI.* 2(3):89–95. ISSN:1412-2855.
- Rahardjo M. 2012. Pengaruh stress air, intensitas cahaya, konsentrasi CO₂ dan salinitas terhadap parameter fisiologis dan morfologis tanaman jahe (*Zingiber officinale* Rosc.). *Status Tek Hasil Penel Jahe*. Bogor: Balitro. 36–48. ISBN: 978-979-548-049-5.

- Rahman W, Kurniawati F, Iskandar AP, Hidayat IW, Widyatmoko D, Ariati SR. 2012. Survivorship and growth of eight native tree species during their early stage at a restored land within Gede Pangrango National Park, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional "Konservasi Tumbuhan Tropika: Kondisi Terkini dan Tantangan ke Depan"*. UPT BKT Kebun Raya Cibodas-LIPI bekerjasama dengan Perhimpunan Biologi Indonesia, Balai Besar Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, dan SEAMEO BIOTROP. Cibodas, 7 April 2012. hlm 500–505. ISSN: 2527-533X.
- Raina AP, Abraham Z. 2015. Chemical profiling of essential oil of *Kaempferia galanga* L. germplasm from India. *J Essent Oil Res.* (1):29–34. doi:10.1080/10412905.2015.1077165.
- Raina AP, Abraham Z, Sivaraj N. 2015. Diversity analysis of *Kaempferia galanga* L. germplasm from South India using DIVA-GIS approach. *Indus Crops Prod.* 69:433–439. doi:10.1016/j.indcrop.2015.02.052.
- Rajendra CE, Gopal SM, Mahaboob AN, Yashoda SV, Manjula M. 2011. Phytochemical screening of the rhizome of *Kaempferia galanga*. *Intern J Pharmacog Phytochem Res.* 3(3):61–63. ISSN: 0975 4873.
- Ramak P, Osaloo SK, Sharifi M, Ebrahimzadeh H, Behmanesh M. 2014. Biosynthesis, regulation, and properties of plant monoterpenoids. *J Medic Plant Res.* 8(29):983–991. doi:10.5897/JMPR2012.387.
- Ramakrishna A, Ravishankar GA. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Sign Behav.* 6(11):1720–1731. doi:10.4161/psb.6.11.17613.
- Rao VN, Kaladhar DSVGK. 2014. Biochemical and phytochemical analysis of the medicinal plant, *Kaempferia Galanga* rhizome extracts. *IJSR.* 3(1):18–20. doi:10.36106/ijrsr.
- Ratri ADYS, Pujiasmanto B, Yunus A. 2015. Efek naungan dan cekaman air terhadap pertumbuhan dan hasil kunyit di Kismantoro Wonogiri. *J Sustain Agric.* 30(1):1–6. doi:10.20961/carakatani.v30i1.11826.
- Rehman R, Hanif MA, Mushtaq Z, Al-Sadi AM. 2016. Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: a review. *Food Rev Int.* 32(2):117–160. doi:10.1080/87559129.2015.1057841.
- Rehman R, Hanif MA, Mushtaq Z, Mochona B, Qi X. 2016. Biosynthetic factories of essential oils: The aromatic plants. *Nat Prod Chem Res.* 4(4):1–11. doi:10.4172/2329-6836.1000227.
- Reshi N, Gowda GC. 2014. Histochemical studies of *Curcuma neilgherrensis* an antidiabetic herb. *World J Pharm Res.* 3(9):731–741. ISSN:2277-7105.
- Rezende WP, Leonardo LB, Santos DL, Alves NM, Paula JR. 2015. Effect of environmental factors on phenolic compounds in leaves of *Syzygium jambos* (L.) Alston (Myrtaceae). *Mod Chem Appl.* 3(2):1–6. doi:10.4172/2329-6798.1000157.
- Riaz U, Muhammad AK, Murtaza G, Zaman Q, Javaid S, Malik HA, Aziz H, Abbas Z. 2019. Prospective roles and mechanisms of caffeic acid in counter plant stress: A Mini review. *Pakistan J Agric Res.* 32(1):1–13. doi:10.17582/journal.pjar/2019/32.1.8.19.
- Roemantyo, Somaatmadja G. 1996. Analisis terhadap keanekaragaman dan konservasi kencur di Jawa. *Warta TOI.* 3(2):17–18. ISSN: 0853-6929.

- Roitsch T. 1999. Source-sink regulation by sugar and stress. *Curr Opin Plant Biol.* 2 (3):198–206. doi:10.1016/S1369-5266(99)80036-3.
- Rong-hua LI, Pei-pol GUO, Baumz M, Grand S, Ceccarelli S. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *J Agric Sci China.* 5(10):751–757. doi:10.3923/ajps.2010.368.374.
- Rostiana O, Haryudin W, Rosita SMD. 2006. Stabilitas hasil lima nomor harapan kencur. *J Littri.* 12(4):140–145. ISSN: 0853 – 8212.
- Rostiana O, Effendi DS. 2007. *Teknologi Unggulan Kencur: Perbenihan dan Budidaya Pendukung Varietas Unggul*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor: Puslitbangbun. ISBN:978-979-8451-61-4.
- Rostiana O, Rosita SMD, Rahardjo M. 2009. Standar Prosedur Operasional Budidaya Kencur. *Circular.* 16:13–24.
- Rostiana O, Subaryanti. 2010. Yield and quality of five galanga (*Kaempferia galanga* L.) promising lines at different growth environment. *Indones J Nat Prod.* 7(2):68–71. ISSN:1412-2855.
- Roy A. 2017. A Review on the alkaloids an important therapeutic compound from plants. *Intern J Plant Biotechnol.* 3(2):1–9. eISSN: 2456-0162.
- Rupa D, Sulistyaningsih YC, Dorly, Ratnadewi D. 2017. Identification of secretory structure, histochemistry and phytochemical compounds of medicinal plant *Hyptis capitata* Jacq. *Biotropia.* 24(2):94–103. doi:10.11598/btb.2017.24.2.499.
- Rusmin D, Melati. 2007. Adas tanaman yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan obat alami. *Warta Puslitbangbun.* 13(2):1–10. doi:10.21082/bullitro.v21n1.
- Saadi AI, Amal K, Mondal. 2012. Distribution of calcium oxalate crystal containing idioblasts in the leaves of *Aglaonema commutatum* Schott. *IJSN Intern J Sains Nat.* 3(2):286–292. ISSN: 2229 – 6441.
- Sahoo S, Parida R, Singh S, Padhy RN, Nayak S. 2014. Evaluation of yield, quality and antioxidant activity of essential oil of in vitro propagated *Kaempferia galanga* Linn. *J Acute Dis.* 124–130. doi:10.1016/S2221-6189(14)60028-7.
- Saikia SP, Bhau BS, Rabha A, Dutta SP, Choudhari RK, Chetia M, Mishra BP, Kanjilal PB. 2009. Study of accession source variation in morpho-physiological parameters and growth performance of *Jatropha curcas* Linn. *Curr Sci.* 96:1631–1636. doi: 10.13140/2.1.4414.1760.
- Salim Z, Munadi E. 2017. *Info Komoditi Tanaman Obat*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Pengembangan Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. 94p. doi:10.20961/carakatani.v33i2.20782.
- Salvador VG, Lima RB, dos Santos WD, Soares AR, Bohm PAF, Marchiosi R, Ferrareae MLL, Filho OF. 2013. Cinnamic acid increases lignin production and inhibits soybean root growth. *J PlosOne.* 8(7):1–10. doi: 10.1371/journal.pone.0069105.
- Samanta A, Das G, Das SK. 2011. Roles of flavonoids in plants. *Intern J Pharm Sci Technol.* 6:12–35. doi:10.1017/jns.2016.41.

- Sanchez NFS, Coronado RS, Carlos BH, Canongo CV. 2019. *Shikimic Acid Pathway in Biosynthesis of Phenolic Compounds: Plant Physiological Aspect of Phenolic Compounds*. Res Gate. UK: London. 1–16. doi:10.5772/intechopen.83815.
- Sangwan NS, Mishra SK, Tiwari P, Yadav R. 2015. Plant Metabolomics: An Overview of Technology Platforms for Applications in Metabolism. *Phenomix: Technologies and Applications in Plant and Agriculture*. Barh D, Khan MS, Eric D, editors. Springer: 257–298. doi:443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-81-322-2172-2_9.
- Sani SA, Mohd Faik AA, Abdulla R, Kunasekaran S. 2019. Phytochemical, antioxidant and antibacterial activities of two kinds of Sabah Zingiberaceae. *J Physics*. doi:10.1088/1742-6596/1358/1/012012.
- Schilling JV, Schillheim B, Mahr S, Reufer Y, Sanjoyo S, Conrath U. 2015. Oxygen transfer rate identifies priming compounds in parsley cells. *BMC Plant Biol*. 15:282. doi:10.1186/s12870-015-0666-3.
- Scott LC, Fuchigami LH. 2017. The role of phenolic compounds in plant stress responses. *Res Gate*. 1–16. doi:10.1201/9781351074186-6.
- Seeman JR. 1989. Light adaptation/acclimation of photosynthesis and the regulation of ribulose1,5-biphosphate carboxylase activity in sun and shade plants. *Plant Physiol*. 91:379–386. doi:10.1104/pp.91.1.379.
- Sendall KM, Vourlitis GL, Lobo FA. 2009. Seasonal variation in the maximum rate of leaf gas exchange of canopy and understory tree species in an Amazonian semi-deciduous forest. *Braz J Plant Physiol*. 21:65–74. doi:10.1590/S1677-04202009000100008.
- Septaningsih DA, Darusman LK, Afendi FM, Heryanto R. 2018. Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) fingerprint combined with chemometrics for identification of metabolites content and biological activities of *Curcuma aeruginosa*. *Indones J Chem*. 18(1):43–52. doi:10.22146/ijc.25456.
- Setiyono RT, Ajijah N, Bermawie N. 2011. Uji adaptasi nomor harapan temulawak pada tiga agroekologi. *Bul Littri*. 22(1):1–12. doi:10.21082/bullitro.v22n1.2011.
- Setyorini, Dwi S, Yusnawan E. 2016. Peningkatan kandungan metabolit sekunder tanaman aneka kacang sebagai respon cekaman biotik. *J Iptek Tan Pangan*. 11(2):167–175. ISSN:1907-4263.
- Shah J. 2005. Lipids, lipases, and lipid-modifying enzymes in plant disease resistance. *Annu Rev Phytopathol*. 43:229–260. doi:10.1146/annurev.phyto.43.040204.135951.
- Sharma GK, Chandler C, Salemi L. 1980. Environmental pollution and leaf cuticular variation in Kudzu (*Pueraria lobata* Willd). *Ann Bot*. 45:77– 80. doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a085802.
- Shebis Y, ILuz D, Tahan YK, Dubinsky Z, Yehoshua Y. 2013. Natural antioxidant: function and sources. *Food Nutrit Sci*. 4:634–649. doi:10.4236/fns.2013.46083.
- Shetu HJ, Trisha KT, Sikta SA, Anwar R, Rashed SS, Dash PR. 2018. Pharmacological importance of *Kaempferia galanga* (Zingiberaceae): A mini review. *Intern J Res Pharm Pharmaceut Sci*. 3(3):32–39. ISSN: 2455-698X.

- Shi Z, Haworth M, Feng Q, Cheng R, 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*. 7: 1–14. doi:10.1093/aobpla/plv115.
- Simon J, Gleadow RM, Woodrow LE. 2010. Allocation of nitrogen to chemical defence and plant functional traits is constrained by soil N. *Tree Physiol*. 30: 1111–1117. doi:10.1093/treephys/tpq049.
- Sirait J. 2006. Dinamika nitrogen dan produksi rumput benggala (*Panicum maximum*) pada tiga taraf naungan dan pemupukan. *J Nas Teknol Pet Vet*. 1(1):958–966. ISBN:978-979-3660-42-4.
- Siringoringo HH. 2014. Peranan penting pengelolaan penyerapan karbon dalam tanah. *J Anal Kebijakan Kehut*. 11(2):175–192. doi: 10.20886/jakk.2014.11.2.175-192.
- Sisa M, Bonnet SL, Ferreira D, van der Westhuizen JH. 2010. Photochemistry of flavonoids. *Molecules*. 15:5196–5245. doi:10.3390/molecules15085196.
- Smith VC, Ennos AR. 2003. The effects of air flow and stem flexure on the mechanical and hydraulic properties of the stem of sunflowers *Helianthus annuus* L. *J Exp Bot*. 54(383): 845–849. doi:10.1093/jxb/erg068.
- [SNI]. 2005. Standar Nasional Indonesia. *Standar Simplisia Kencur*. SNI 01-7085-2005.
- Sónia S, Freire, Carmen S, Domingues R, Rosário M, Silvestre M, Armando J, Pascoal D, Carlos N. 2011. Characterization of phenolic components in polar extracts of *Eucalyptus globulus* Labill. bark by High-Performance Liquid Chromatography–Mass Spectrometry. *J Agric Food Chem*. 59 (17): 9386–9393. doi:10.1021/jf201801q.
- Spice Board of India. 2012. *Spice Product*. Ministry Commerce Industry. Government India.
- Srivastava N, Ranjana, Singh S, Gupta AC, Shanker K, Bawankule DU, Luqman S. 2019. Aromatic ginger (*Kaempferia galangal* L.) extracts with ameliorative and protective potential as a functional food, beyond its flavor and nutritional benefits. *Toxicol Rep*. 6:521–528. doi: 10.1016/j.toxrep.2019.05.014.
- Steenackers W, Houari IE, Baekelandt A, Witvrouw K, Dhondt S, Leroux O, Gonzales N, Corneillie S, Cesarino I, Inze D, Boerjan W, Vonholme B. 2019. Cis-cinnamic acid is a natural plant growth-promoting compound. *J Exp Bot*. 70(21):6293–6304. doi: 10.1093/jxb/erz392.
- Stenström A, Jónsdóttir IS, Augner M. 2002. Genetic and environmental effects on morphology in clonal sedges in the Eurasian Artic. *American J Bot*. 89: 1410–1421. doi: 10.3732/ajb.89.9.1410.
- Subaryanti. 2005. Karakteristik Komponen Hasil dan Mutu Kencur (*Kaempferia galanga* L.) pada Lingkungan Tumbuh yang Berbeda [tesis]. Program Pascasarjana. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sujatha KB, Uprety DC, Rao DN, Rao PR, Dwivedi N. 2008. Up-regulation of photosynthesis and sucrose-P synthase in rice under elevated carbon dioxide and temperature conditions. *Plant Soil Environ*. 54:155–162. ISSN:1214-1178.
- Suhertini E, Lukman W. 2010. Teknik pembibitan tanaman garut dari rimpang. *Bul Tek Pertan*. 8:11–14. ISBN:978-602-440-958-6.

- Sukendro A, Sugiarto E. 2012. Respon pertumbuhan anakan *Shorea leprosula* Miq, *Shorea selanica* Ridlex, *Shorea ovali* (Korth) Blume, dan *Shorea selania* (DC) Blume terhadap tingkat intensitas cahaya matahari. *Silvikul Trop.* 03(01):22–27. ISSN: 2086-8227.
- Suryaningrum R, Purwanto E, Sumiyati. 2016. Analisis pertumbuhan beberapa varietas kedelai pada perbedaan intensitas cekaman kekeringan. *Agrosains.* 18(2):33–37. doi:10.20961/agsjpa.v18i2.18686.
- Suryawati S, Murniyanto E. 2011. Hubungan sifat tanah Madura dengan kandungan minyak atsiri dan tingkat kelarutannya pada jahe (*Zingiber officinale* L.). *Agrovigor.* 4(2):99–104. doi:10.21107/agrovigor.v4i2.299.
- Susanto GWA, Sundari T. 2011. Perubahan karakter agronomi aksesori plasma nutfah kedelai di lingkungan ternaungi. *J Agron Indones.* 39(1):1–6. doi:10.24831/jai.v39i1.13180.
- Sutthanont N, Choochote W, Tuetun B, Junkum A, Jitpakdi A, Chaithong U, Riyong D, Pitasawat B. 2010. Chemical composition and larvicidal activity of edible plant-derived essential oils against the pyrethroid-susceptible and -resistant strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Vect Ecol.* 35(1): 106–115. doi:10.1111/j.1948-7134.2010.00036.x.
- Syahid, Fatimah S, Kristin NN, Seswita D. 2010. Pengaruh komposisi media terhadap pertumbuhan kalus dan kadar tannin dari daun jati belanda (*Guazuma ulmifolia* Lamk) secara in vitro. *J Littri.* 16(1):1–5. ISSN:0853 – 8212.
- Syahid SF, Syukur C, Kristina NN, Pitono J. 2012. Adaptasi delapan nomor harapan kunyit (*Curcuma domestica* Vahl.) toleran naungan. *Bul Littro.* 23(2):115–124. doi:10.21082/bullittro.v23n2.2012.
- Syukur C, Yusron M, Trisilawati O. 2015. Keragaan karakter morfologi, hasil dan mutu enam aksesori jahe putih kecil di tiga agroekologi berbeda. *Bul Littro.* 26(1):1–10. doi:10.21082/bullittro.v26n1.2015.1-10.
- Svoboda KP, Svoboda TG, Syred AD, Syred PM. 2000. *Secretory structures of aromatic and medicinal plants: A review and atlas of micrograph.* Knighton: Microscopix. 30p. ISBN : 0953846105.
- Svoboda KP, Svoboda TG, Syred A. 2001. Secretory structures of aromatic and medicinal plants. *J American Bot Counc.* 53:34–43. ISBN:0953846105.
- Taiz L, Zeiger E. 2010. *Plant Physiology.* Fifth Ed. Sunderland: Sinauer Assoc. ISBN/ISSN:978-0878938667.
- Tavares WS, Freitas SS, Grazioti GH, Parente LML, Liao LM, Zanuncio JC. 2013. Ar-tumerone from *Curcuma longa* (Zingiberaceae) rhizomes and effects on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Indus Crop Prod.* 46:158–164. ISSN: 0926-6690.
- Tavera HL. 1999. *Monoterpenes in Essential Oils: Biosynthesis and Properties.* Plant Bioengineering. New York (NY): Plenum. 464:49-62. doi: 10.1007/978-1-4615-4729-7_5.
- Techaprasan J, Klinbunga S, Ngamriabsakul C, Jenjittikul T. 2010. Genetic variation of *Kaempferia* (Zingiberaceae) in Thailand based on chloroplast DNA sequences. *Genet Mol Res.* 9:1957–1973. doi:10.4238/vol9-4gmr873.

- Tewtrakul S, Yuenyongsawad S, Kummee S, Atsawajaruwan L. 2005. Chemical components and biological activities of volatile oil of *Kaempferia galanga* Linn. *Songklanakarin J Sci Technol.* 27(2):503–507. ISSN:0125-3395.
- Tjitrosoepomo G. 2011. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: UGM Pr. ISBN:978-602-386-819-3.
- Trimanto, Dwiyanti D, Indriyani S. 2018. Morfologi, anatomi dan uji histokimia rimpang *Curcuma aeruginosa* Roxb., *Curcuma longa* L. dan *Curcuma heyneana* Valetton dan Zijp. *Berita Biol.* 17(2):123–133. doi:10.14203/beritabiologi.v17i2.3086.
- Tripathi M, Chawla P, Upadhyay R, Trivedi S. 2013. Essential oils from family Zingiberaceae for antimicrobial activity-A Review. *Intern J Pharm Bio Sci.* 4(4):149–162. ISSN: 0975-6299.
- Tunsaringkarn T, Chanida P, Anusom R, Somchai I, Niran V, Anchalee C, Nijisiri R. 2007. Pharmacognostic specification of *Kaempferia galanga* rhizome in Thailand. *J Health Res.* 21(3):207–214. ISSN: 0857-4421.
- Uma E, Muthukumar T. 2014. Comparative root morphological anatomy of Zingiberaceae. *Sys Biodiv.* 12:195–199. doi:10.1080/14772000.2014.894593.
- Umar MD, Asmawi I, Sadikun ZB, Altaf A, Iqbal R. 2011. Phytochemistry and medicinal properties of *Kaempferia galanga* L. (Zingiberaceae) extracts. *Afr J Pharm Pharmacol.* 5:1638–1674. doi:10.1016/j.toxrep.2019.05.014.
- Umar MI, Asmawi MZ, Sadikun A, Atangwho IJ, Yam MF, Altaf R, Ahmed A. 2012. Bioactivity-guide isolation of EPMC an anti-inflammatory constituent from *K. galanga* L. extracts. *Molecules.* 17:8720–8734. doi:10.3390/molecules17078720.
- Unal BT, Guvensen U, Dereboylu AE, Ozturk M. 2013. Variation in the proline and total protein contents in *Origanum sipyleum* L. from different altitudes of spil mountain Turkey. *Pakistan J Bot.* 45(S1):571–576. doi:10.1080/0972060X.2016.1233831.
- Unsicker SB, Kunert G, Gershenzon J. 2009. Protective perfumes: the role of vegetative volatiles in plant defense against herbivores. *Curr Opin Plant Biol.* 12:479–485. doi:10.1016/j.pbi.2009.04.001.
- Velayudhan KC, Dikshit N, Nizar NA. 2012. Ethnobotany of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Indian J Trad Know.* 11(4):607–614. ISSN: 0975-1068.
- Verma RS, Padalia RC, Chauhan A. 2014. Chemical composition variability of essential oil during ontogenesis of *Daucus carota* L. subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang. *Ind Crop Prod.* 52:809–814. doi:10.1080/10496475.2017.1296053.
- Verma N, Shukla S. 2015. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *J Appl Res Med Aroma Plants.* 2(4):105–113. doi:10.1016/j.jarmap.2015.09.002.
- Verpoorte R, Alfermann AW. 2000. *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*. Springer. ISBN: 978-0-7923-6360-6.
- Victorio CP. 2011. Therapeutic value of the genus *Alpinia*, Zingiberaceae. *Brazilian J Pharmacog.* 21(1):194–201. doi:10.1590/S0102-695X2011005000025.
- Volf I, Ignatius I, Neamtu M, Popa VI. 2014. Thermal stability, antioxidant activity, and photo-oxidation of natural polyphenols. *Chem Pap.* 68(1):121–129. doi:10.2478/s11696-013-0417-6.

- Wahyuni L, Barus A, Syukri. 2013. Respon pertumbuhan jahe merah (*Zingiber officinale* Rosc.) terhadap pemberian naungan dan beberapa teknik bertanam. *J Agrotek*. 1(4):1171–1182. doi:10.32734/jaet.v1i4.4394.
- Wang L, Wang J, Fang L, Zheng Z, Zhi D, Wang S, Li S, Ho CT, Zhao H. 2014. Anticancer activities of Citrus peel polymethoxyflavones related to angiogenesis and others. *Biomed Res Intern*. 1–10. doi: 10.1155/2014/453972.
- White AC, Rogers A, Rees M, Osborne CP. 2016. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. *J Exp Bot*. 67:31–45. doi: 10.1093/jxb/erv447.
- Widiyanto A, Siarudin M. 2013. Karakteristik daun dan rendemen minyak atsiri lima jenis tumbuhan kayuputih. *J Penel Hasil Hutan*. 31(4):235–241. doi:10.20886/jphh.2013.31.4.235-241.
- Widiastuti L, Tohari, Sulistyaningsih E. 2004. Pengaruh intensitas cahaya dan kadar dominosida terhadap iklim mikro dan pertumbuhan tanaman krisan dalam pot. *J Ilmu Pertanian*. 11 (2):35–42. ISSN: 0126-4214.
- Widodo, Patterson JH, Newbiggin E, Tester M, Bacic A, Roessner U. 2009. Metabolic responses to salt stress of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars, Sahara and Clipper, which differ in salinity tolerance. *J Exp Bot*. 60(14): 4089–4103. doi:10.1093/jxb/erp243.
- Widyastuti Y, Sugiarso S. 2003. Pengaruh beberapa tingkat dosis pupuk organik dan tiga jenis tanah pada pertumbuhan dan kandungan minyak atsiri ketumbar (*Coriandrum sativum* L.). *J BAI*. 2:105–108. ISSN: 1412-2855.
- Windholz M. 1983. *The Merk Index*. Ed ke-11. New York (NY): Merc Rahway. doi:10.1002/jps.2600730651.
- Windono T, Jany, Suratni W. 1997. Aktivitas tabir matahari yang diisolasi dari rimpang kencur (*Kaempferia galanga* L.). *Warta TOI*. 3:38–40. ISSN: 0853-6929.
- Wong KC, Ong KS, Lim CL. 1992. Composition of the essential oil of rhizome of *Kaempferia galanga* L. *Flav Frag J*. 7(5):263–266. doi:10.1002/ffj.2730070506.
- Wu G, Liu X, Chen T, Xu G, Wang W, Zeng X, Zhang X. 2015. Elevation-dependent variations of tree growth and intrinsic water-use efficiency in schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) in the western Tianshan Mountains, China. *Front Plant Sci*. 6(309):1–12. doi:10.3389/fpls.2015.00309.
- Wulandari DD. 2017. Kualitas madu (keasaman, kadar air, dan kadar gula pereduksi) berdasarkan perbedaan suhu penyimpanan. *J Kim Ris*. 2(1):16–22. doi:10.20473/jkr.v2i1.3768.
- Xia J, Wishart DS. 2016. Using MetaboAnalyst 3.0 for UNIT 14.10 Comprehensive metabolomics data analysis. *Curr Protoc Bioinform*. 55:14.10.1–14.10.91. doi:10.1002/cpbi.11.
- Xie S, Luo X. 2003. Effect of leaf position and age on anatomical structure, photosynthesis, stomatal conductance, and transpiration of Asian pear. *Bot Bull Acad Sin*. 44:297–303. ISSN: 0006-8063.
- Xu Z, Zhou G. 2008. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *J Expt Bot*. 59(12):3317–3325. doi:10.1093/jxb/ern185.

- Xu H, Liu Q, Yao T, Fu X. 2014. Shedding light on integrative GA signaling. *Curr Opin Plant Biol.* 21: 89–95. doi:10.1016/j.pbi.2014.06.010.
- Yaqoob U, Nachoo IA. 2017. Impact of habitat variability and altitude on growth dynamics and reproductive allocation in *Ferula jaeschkeana* Vatke. *J King Saud Univ Sci.* 29:19–27. doi:10.1016/j.jksus.2015.10.002 2.
- Yamori W, Hikosaka K, Way DA. 2013. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: Temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosyn Res.* 119:101–117. doi:10.1007/s11120-013-9874-6.
- Yang H, Li J, Yang J, Wang H, Zou J, He J. 2014. Effects of nitrogen application rate and leaf age on the distribution pattern of leaf SPAD readings in the rice canopy. *PLoS ONE.* 9(2):1–7. doi:10.1371/journal.pone.0088421.
- Yang Y, Tian S, Wang F, Li Z, Liu L, Yang X, Bao Y, Wu Y, Huang Y, Sun L, Yu C, Li Y. 2018. Chemical composition and antibacterial activity of *Kaempferia galanga* essential oil. *Intern J Agric Biol.* 20(2):457–462. doi:10.17957/IJAB/15.0560.
- Yao CS, Lin M, Liu X, Wang YH. 2005. Stilbene derivatives from *Gnetum cleistostachyum*. *J Asian Nat Prod Res.* 7 (2):131–137. doi:10.1080/10286020310001625102.
- Yasutake D, Kitano M, Araki T, Nagasuga K, Kawano T, Hamakoga M. 2001. Stomatal response to wind on abaxial and adaxial surfaces of cucumber leaf under different humidity conditions. *Biotronics.* 30:103–114. doi:10.2525/ecb.45.223.
- Yavari A, Nazeria V, Sefidkonb F, Hassani ME. 2010. Influence of some environmental factors on the essential oil variability of *Thymus migricus*. *Nat Prod Commun.* 5(6):943–948. doi:10.1177/2156587217700772.
- Yazaki K, Arimura G-I, Ohnishi T. 2017. Hidden terpenoids in plants: Their biosynthesis, localization and ecological roles. *Plant Cell Physiol.* 58(10): 1615–1621. doi: 10.1093/pcp/pcx123.
- Yonghua L, Tiangxiang L, Qi L. 2008. Plant height as a simple predictor of root to shoot ratio: Evidence from Alpine grasslands on the Tibetan Plateau. *J Veget Sci.* 2: 245–252. doi:10.3170/2007-8-18365.
- Yuanyuan M, Yali Z, Jiang L, Hongbo S. 2009. Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *African J Biotech.* 8(10):2004–2010. eISSN:1684-5315.
- Yudthavorasit S, Wongravee K, Leepipatpiboon N. 2019. Characteristic fingerprint based on gingerol derivative analysis for discrimination of ginger (*Zingiber officinale*) according to geographical origin using HPLC-DAD combined with chemometrics. *Food Chem.* 158:101–111. doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.086.
- Yuliani S, Harimurti N, Yuliani SS. 2019. Pengaruh laju alir umpan dan suhu inlet *spray drying* pada karakteristik mikrokapsul oleoresin jahe. *J Penel Pascapan Pert.* 4(1):18–26. doi:10.21082/jpasca.v4n1.2007.18-26.
- Zhang AL, Xue CC, Fong HHS. 2011. Integration of herbal medicine into evidence-based clinical practices: current status and issues. Di dalam: *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects*. Benzi IFF, Galor SW, editors. 2nd ed. 453–464p. Boca Raton (FL): CRC Pr. doi:10.1177/153473540200100313.

Zhang ZZ, Li XX, Chu YN, Zhang MX, Wen YQ, Duan CQ. 2012. Three types of ultraviolet irradiation differentially promote expression of shikimate pathway genes and production of anthocyanins in grape berries. *Plant Physiol Biochem.* 57:74–83. doi:10.1016/j.plaphy.2012.05.005.