

Pemanfaatan kandungan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman pada cekaman biotik

Utilization of secondary metabolite content produced by plants in biotic stress

Yusfachri Perangin-Angin¹, Yayuk Purwaningrum^{2*}, Yenni Asbur², Murni Sari Rahayu², Nurhayati²

¹Mahasiswa Magister Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Sumatera Utara, Jl. Karya Wisata Gedung Johor, Medan 20144, Indonesia

²Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Sumatera Utara, Jl. Karya Wisata Gedung Johor, Medan 20144, Indonesia

*Corresponding Author: yayuk.purwaningrum@fp.uisu.ac.id

Abstract

Plants evolved in various ways to withstand various stresses, one of which is by producing toxic secondary metabolites. Secondary metabolite compounds in plants have several functions, including as an attractant (attracting pollinating insects), protecting against environmental stress, protection from pests and diseases (phytoalexin), protection from ultraviolet rays, as a growth regulator, competing with other plants (allelopathy), and is a compound capable of inducing the formation of certain compounds in response to plant defense. Among them are secondary metabolites elicitor produced by several types of plants that can trigger physiological, morphological responses, and phytoalexin accumulation.

Keywords: Stress, secondary metabolites, elicitors

Abstrak

Tumbuhan berevolusi dengan berbagai cara untuk bertahan dari berbagai tekanan, salah satunya dengan menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat toksik. Senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan memiliki beberapa fungsi antara lain sebagai atraktan (menarik serangga penyerbuk), melindungi dari stres lingkungan, perlindungan dari hama dan penyakit (phytoalexin), perlindungan dari sinar ultraviolet, sebagai pengatur tumbuh, bersaing dengan tanaman lain (alelopati), dan merupakan senyawa yang mampu menginduksi pembentukan senyawa tertentu sebagai respon pertahanan tanaman. Diantaranya adalah metabolit sekunder elicitor yang dihasilkan oleh beberapa jenis tanaman dapat memicu respons fisiologis, morfologis, dan akumulasi phytoalexin.

Kata Kunci: Cekaman, metabolit sekunder, elicitors

Pendahuluan

Tumbuhan memiliki dua jenis senyawa metabolit, yaitu metabolit primer dan sekunder. Metabolit primer digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan, sedangkan metabolit sekunder tidak berperan langsung dalam pertumbuhan tanaman, tetapi diproduksi oleh tanaman dalam jumlah tertentu dalam kondisi cekaman. Contoh metabolit sekunder termasuk antibiotik, pigmen, racun, efektor kompetisi ekologi dan simbiosis, feromon,

inhibitor enzim, agen imunomodulasi, antagonis reseptor dan agonis, pestisida, agen antitumor, dan stimulan untuk pertumbuhan tanaman (Nofiani, 2008).

Setiap jenis senyawa metabolit sekunder memiliki fungsi yang berbeda. Senyawa ini tidak esensial untuk kelangsungan hidup tanaman, tetapi memberikan beberapa manfaat. Metabolit sekunder berfungsi sebagai mekanisme pertahanan tumbuhan, baik dari cekaman biotik maupun abiotik. Selain sebagai mekanisme pertahanan, senyawa ini juga

berfungsi sebagai atraktan. Senyawa metabolit sekunder tertentu dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai antioksidan atau bahan baku obat (Einhellig, 1996). Produksi metabolit sekunder dipicu oleh cekaman pada tanaman. Peningkatan radiasi dan suhu udara rendah mempengaruhi metabolit sekunder (Dewi, 2010). Cekaman biotik juga berperan dalam aktivitas metabolisme tanaman.

Senyawa metabolit sekunder dapat dihasilkan oleh berbagai jenis tumbuhan, termasuk berbagai macam kacang-kacangan seperti kedelai, kacang hijau, kacang tanah, dan kacang potensial lainnya seperti kacang tunggak dan gude yang telah diidentifikasi mengandung antioksidan fenolik (Dewi, 2010). Berbagai tanaman kacang memiliki peran penting sebagai sumber makanan. Dengan adanya antioksidan, berbagai jenis kacang-kacangan merupakan sumber pangan fungsional yang potensial untuk dikembangkan.

Berdasarkan hal tersebut maka tulisan ini membahas tentang manfaat metabolit sekunder bagi tumbuhan dan manusia, pengaruh cekaman biotik terhadap produksi metabolit sekunder dan perkembangannya pada berbagai jenis tanaman.

Bahan dan Metode

Tulisan ini merupakan review dari berbagai artikel ilmiah sehingga bahan dan metode tidak dijelaskan.

Hasil dan Pembahasan

Metabolit Sekunder pada Tanaman

Tanaman menghasilkan berbagai senyawa organik yang sebagian besar tidak berperan langsung dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Metabolit diklasifikasikan menjadi dua, yaitu metabolit primer dan metabolit sekunder. Metabolit primer yang terbentuk dalam jumlah terbatas merupakan faktor penting bagi pertumbuhan dan kehidupan makhluk

hidup. Metabolit sekunder tidak digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan diproduksi lebih banyak ketika tanaman dalam keadaan cekaman (Nofiani, 2008). Senyawa ini diproduksi secara terbatas dalam kelompok taksonomi tertentu (Croteau *et al.*, 2000).

Tumbuhan berevolusi dengan berbagai cara untuk bertahan dari berbagai cekaman, salah satunya dengan menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat toksik. Metabolit toksik umumnya terakumulasi dalam vakuola, rongga ekstraseluler trikoma, atau disekresikan dalam sel ekstra (Dewi, 2010).

Glikosilasi merupakan modifikasi penting yang terjadi pada berbagai metabolit sekunder. Berdasarkan asal usul biosintesis, produk metabolit tumbuhan alami dibedakan menjadi tiga kelompok utama yaitu terpenoid, alkaloid, dan fenilpropanoid serta kelompok senyawa antioksidan fenolik (Croteau *et al.*, 2000).

Sumber antioksidan terdapat dua kelompok, yaitu antioksidan sintetik (antioksidan yang diperoleh dari sintesis reaksi kimia) dan antioksidan alami (antioksidan yang diekstrak dari bahan alami atau yang terkandung dalam bahan alami). Antioksidan alami berasal dari senyawa fenolik seperti golongan flavonoid. Flavonoid adalah kelas metabolit sekunder yang diproduksi oleh tumbuhan (Saija *et al.*, 1995). Senyawa ini bisa menjadi racun bagi organisme lain, bekerja dengan cara mengganggu fungsi protein sel. Beberapa metabolit berinteraksi dengan molekul yang memiliki fungsi seluler fundamental, seperti DNA dan protein yang terlibat dalam pembelahan sel (Sirikantaramas *et al.*, 2008). Nofiani (2008) menyatakan bahwa pembentukan metabolit sekunder diatur oleh nutrisi, penurunan laju pertumbuhan, kontrol umpan balik, inaktivasi enzim, dan induksi enzim.

Mekanisme Produksi Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder hanya dapat ditemukan pada satu spesies atau kelompok spesies tertentu, sedangkan

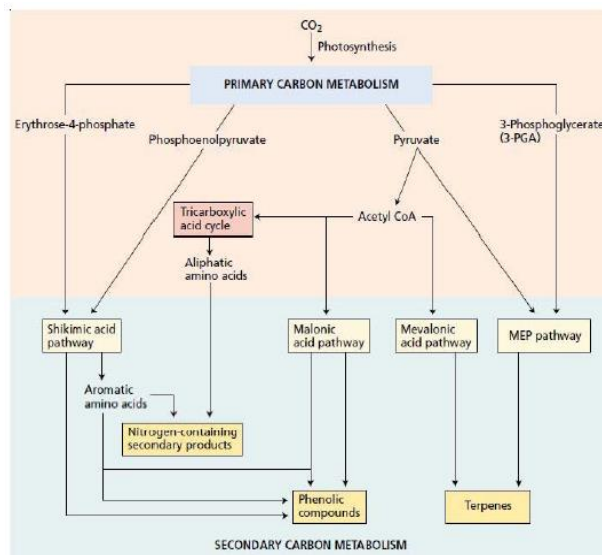
metabolit primer (asam amino, nukleotida, gula, lipid) terdapat pada hampir semua tumbuhan. Metabolit sekunder adalah produk sampingan atau produk antara dari metabolisme primer. Secara umum metabolit sekunder dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu terpene, senyawa fenolik

dan produk sekunder yang mengandung nitrogen (Gambar 1) (Taiz and Zeiger, 2002). Pengelompokan tersebut didasarkan pada jalur pembentukan masing-masing senyawa.

Tabel 1. Jalur pembentukan metabolit sekunder dan jenis senyawa yang dihasilkan

Jalur Pembentukan Metabolit Sekunder	Senyawa Metabolit yang Dihasilkan
Jalur Asam Malonat	Asam lemak (laurat, miristat, palmitat, Stearat, oleat, linoleat, linolenic), Gliserida, poliasetilen, fosfolipida, dan Glikolipida
Jalur Asam Mevalonat	<i>Essential oil</i> , squalent, monoterpenoid, menthol, korosinoid, steroid, terpenoid, saponin, geraniol, ABA, dan GA3
Jalur Asam Shikimat	Asam sinamat, fenol asam benzoic, lignin, kumarin, tanin, asam amino, benzoic dan quinon

Sumber: Mariska (2013)



Gambar 1. Jalur utama biosintesis metabolit sekunder dan hubungannya dengan metabolisme primer (Lincoln and Eduardo, 2002)

Mariska (2013) menyatakan bahwa produksi metabolit sekunder berbeda dengan metabolit primer. Produksi metabolit sekunder terjadi melalui jalur di luar biosintesis karbohidrat dan protein. Terdapat tiga jalur utama dalam proses pembentukan metabolit sekunder, yaitu jalur asam malonat, asam mevalonat, dan jalur asam shikimat.

Metabolit sekunder dari gugus fenolik diperoleh dari fenilalanin dengan menghilangkan molekul amonia dari asam sinamat. Reaksi ini dikatalisis oleh fenilalanin amonia lyase (PAL), enzim yang paling banyak dipelajari dalam metabolit sekunder tanaman. Fenilalanin berada pada titik percabangan antara metabolisme primer dan sekunder, sehingga reaksi ini merupakan langkah penting dalam pembentukan banyak senyawa fenolik [16]. Biosintesis terpene dapat terjadi dengan dua cara, yaitu jalur asam mevalonat dan jalur metileritritol fosfat (MEP) (Lincoln and Eduardo, 2002).

Biosintesis terpenoid pada tumbuhan melalui jalur deoksiselulosa. Jalur biosintetik untuk terpenoid dimulai dengan pembentukan isopentenil pyropospate (IPP) atau diamethylalyl pyropospate (DMAPP), yaitu isoprena yang mengikat dua fosfat kemudian bergabung satu sama lain dari ujung ke basa untuk membentuk monoterpen, seskuiterpen, terpene, triterpen dan sebagainya. di. Isoprena adalah bahan penyusun terpenoid, tetapi bukan bahan paling awal. Isoprena harus mengikat fosfat karena meskipun DMAPP dan IPP memiliki ikatan rangkap, elektron

tidak terlalu aktif untuk dapat bereaksi dengan molekul serupa (Saifudin, 2014).

Salah satu contoh turunan dari kelompok terpen adalah azadirachtin yang sering digunakan sebagai biopestisida. Walaupun biosintesis azadirachtin tidak dapat ditentukan secara penuh dan pasti, secara umum biosintesisnya dapat dilacak pada proses pembentukan triterpenoid melalui jalur mevalonate acetate dengan prekursor utama berupa squalene (Samsudin, 2011).

Metabolit Sekunder pada Berbagai Jenis Tanaman Kacangan

Seiring dengan perkembangan jaman, kedelai dewasa ini tidak hanya digunakan sebagai sumber protein, tetapi juga berperan sebagai pangan fungsional yang dapat mencegah penyakit degenerative, seperti penuaan dini, jantung koroner, dan hipertensi. Beragamnya penggunaan kedelai menjadi pemicu peningkatan konsumsi komoditas ini (Ginting et al. 2009). Beberapa antikarsinogen pada kedelai, termasuk asam fenolat, flavonoid, dan isoflavonoid, juga telah diidentifikasi (Taie 2008, Xu and Chang 2008). Salah satu senyawa bioaktif utama yang terdapat pada kedelai dan bersifat sebagai antioksidan adalah isoflavon (Saija et al. 1995).

Hasil penelitian Kim et al. (2013) menyebutkan bahwa 30 jenis senyawa fenolik, termasuk 11 flavonoid, 16 asam fenolik, pirogalol, resveratrol dan vanili, terdeteksi dalam sampel kacang hijau, di antaranya asam caffeic, asam galat, hesperetin, asam homogentisat, dan kadar asam m-coumaric. Tiga genotipe kacang tanah yang berbeda menghasilkan fitoaleksin stilbene dan asam fenolat yang sama. Hal yang paling menarik dalam penelitian ini adalah getah kacang tanah menghasilkan konsentrasi stilbenoid yang sangat tinggi (Sobolev 2006).

Senyawa metabolit sekunder juga ditemukan pada berbagai jenis kacang lain. Kacang tunggak dan kacang gude juga memiliki kandungan fenolik dan

antioksidan, meskipun tidak setara dengan kedelai (Dewi 2010, Yulistian et al. 2015). Kacang tunggak mengandung sejumlah senyawa dari golongan fenolik (asam galat, asam ferulat, dan asam p-kumarat) serta flavonoid dari kelas flavonol (kuersetin dan mirsetin) dan antosianidin (sianidin dan delfinidin) yang dapat dimanfaatkan sebagai antioksidan untuk menangkal radikal bebas (Ningsih 2007). Kandungan fenolat dan tanin juga ditemukan pada biji Cicer arietinum (kacang arab) dan Pisum sativum (kapri) (Nithiyantham 2012).

Manfaat Metabolit Sekunder untuk Tanaman

Fungsi senyawa metabolit sekunder banyak yang belum diketahui. (Croteau et al. 2000). Mariska (2013) menyebutkan bahwa senyawa metabolit sekunder pada tanaman memiliki beberapa fungsi, di antaranya sebagai atraktan (menarik serangga penyerbuk), melindungi dari stress lingkungan, pelindung dari serangan hama/penyakit (fitoaleksin), pelindung dari sinar ultra violet, sebagai zat pengatur tumbuh dan untuk bersaing dengan tanaman lain (alelopati). Metabolit sekunder terutama berfungsi untuk ketahanan terhadap predator dan patogen (Croteau et al. 2000, Leiss et al. 2011).

Tanaman memiliki mekanisme yang berbeda untuk menghilangkan atau memodifikasi senyawa beracun, di antaranya: ekskresi senyawa beracun ke bagian ekstraseluler, mengisolasi senyawa beracun ke vakuola, biosintesis senyawa beracun dalam bagian ekstraseluler dan modifikasi senyawa beracun ke dalam bentuk tidak aktif (Sirikantaramas et al. 2008).

Senyawa alkaloid berfungsi melindungi tanaman dari berbagai hewan herbivora. Tanin, lignin, flavonoid, dan beberapa senyawa fenolik sederhana juga berfungsi sebagai pertahanan terhadap herbivora dan patogen. Selain itu, lignin berfungsi memperkuat dinding sel mekanis, dan banyak pigmen flavonoid yang berperan sebagai penarik bagi penyerbuk

dan penyebar biji. Beberapa senyawa fenolik memiliki aktivitas alelopati dan dapat mempengaruhi serta merugikan tanaman yang tumbuh berdampingan (Croteau et al. 2000, Junaedi et al. 2006, Mariska 2013). Metabolit primer tertentu juga memiliki peran dalam alelopati, seperti asam palmitat dan stearat, tetapi umumnya senyawa alelopati termasuk ke dalam golongan metabolit sekunder.

Ada beberapa hipotesis tentang fungsi metabolit sekunder bagi penghasil metabolit sekunder, misalnya dalam mempertahankan hidup dari infeksi bakteri, fungi, insekta, dan hewan melalui produksi antibiotik (Gudbjarnason 1999). Metabolit sekunder juga berperan dalam memperbaiki kehidupan mikroba penghasil metabolit pada saat berkompetisi dengan spesies lain (Tabarez 2005).

Tanaman yang mampu menghasilkan senyawa metabolit sekunder berpotensi dijadikan sebagai sumber gen tahan terhadap hama atau penyakit tertentu, serta berpeluang dikembangkan sebagai biopestisida (Croteau et al. 2000, Leiss et al. 2011). Ekstrak fenolik dari tanaman tahan menunjukkan aktivitas penghambatan pertumbuhan pada *Sclerotinia ascospores* yang lebih kuat daripada tanaman rentan (Prats et al. 2003). Kadar tanin yang tinggi pada kedelai varietas Mutiara menyebabkan tanaman lebih tahan terhadap serangan lalat bibit *Ophiomyia phaseoli* (Muliani 2013).

Penelitian Rubiyo dan Amariya (2013) menyebutkan bahwa kakao klon tahan mempunyai kandungan senyawa fenolat yang lebih tinggi daripada klon moderat dan rentan pascainfeksi. Namun, Lygin et al. (2009) tidak menemukan peran yang signifikan dari kuersetin dan kamferol sebagai senyawa yang melindungi tanaman kedelai dari penyakit karat. Hal ini dapat dilihat dari kenaikan senyawa ini tidak berkorelasi dengan ketahanan karat. Meskipun demikian, secara umum senyawa metabolit sekunder bermanfaat bagi tanaman, namun manfaat tersebut bergantung pada jenis bahan aktifnya.

Cekaman Biotik pada Tanaman

Umumnya cekaman biotik maupun abiotik pada tanaman cenderung meningkatkan produksi senyawa metabolit sekunder (Einhellig 1996). Ketersediaan nutrisi yang terbatas pada mikroba laut menyebabkan penggunaan karbon dalam metabolisme selular tidak digunakan untuk pertumbuhan sel, melainkan untuk produksi metabolit sekunder (Nofiani 2008). Biosintesis metabolit sekunder seperti antibiotik juga dipengaruhi oleh ketersediaan fosfat (Martin 2004).

Pada saat tanaman berinteraksi dengan patogen, hama atau cekaman biotik dan abiotik, tanaman akan mengaktifkan berbagai mekanisme pertahanan, termasuk induksi biosintesis metabolit sekunder. Salah satunya adalah pembentukan fitoaleksin sebagai respon hipersensitif dan penebalan lignin yang terbentuk pada dinding sel sebagai pertahanan mekanik (Vasconsuelo and Baoland 2007, Namdeo 2007). Flavonoid salah satunya berfungsi melindungi tanaman dari berbagai cekaman biotik maupun abiotik (Pourcel et al. 2007).

Senyawa lain yang dihasilkan akibat adanya cekaman biotik dan abiotik adalah asam absisat (Atkinson and Urwin 2012), dan etilen (Dreher and Callis 2007), dan asam jasmonat pada tumbuhan tingkat tinggi (Creelman and Mullet 1995). Infeksi patogen dapat memicu produksi metabolit sekunder. Induksi mekanisme ketahanan tanaman oleh strain *Trichoderma* yang berbeda terbukti mampu meningkatkan produksi metabolit sekunder dalam kaitannya dengan pertahanan kimiawi pada tanaman, seperti pengaktifan pembentukan enzim yang terlibat biosintesis fitoaleksin atau dalam respon terhadap cekaman oksidatif (Harman 2000, Vinale et al. 2008, Yedidia 2003).

Peningkatan metabolit sekunder tanaman juga terjadi karena infeksi *Phakopsora pachyrhizi*. Hasil penelitian Lygin et al. (2009) menunjukkan terjadi akumulasi peningkatan isoflavonoid genistein dan daidzein di hampir semua

daun kedelai setelah terinfeksi *P. Pachyrhizi* (Gambar 2 dan 3). Hal ini membuktikan patogen tanaman mampu memacu peningkatan pembentukan metabolit sekunder.

Peningkatan Senyawa Metabolit Sekunder dengan Elicitors

Elisitor adalah senyawa yang mampu menginduksi pembentukan senyawa tertentu sebagai respon pertahanan tanaman (Angelova et al. 2006). Elisitor juga didefinisikan sebagai zat yang ketika

diintroduksi dalam konsentrasi kecil pada sistem sel hidup, dapat meningkatkan biosintesis senyawa tertentu (Radman

2003). Elisitor dapat dianggap sebagai molekul yang mengaktifkan sinyal transduksi dan menyebabkan aktivasi dan ekspresi gen yang terkait dengan biosintesis senyawa metabolit sekunder (Zhao et al. 2005).

Tabel 2. Pengaruh elicitor berbeda yang ditambahkan ke media cair MSBs pada biomassa sel dan produksi 9-hydroxycanthin-6-one dan 9-methoxycanthin-6-one dari sel *E. longifolia* (13 hari setelah kultur)

Konsentrasi elicitor (mg/L)	Bobot segar sel (g) n=6	Bobot kering sel (g) n=6	% w/w of-9-hydroxycanthin-6-one	% w/w of-9-methoxycanthin-6-one
chitosan				
0	1,47 ± 0,18	0,14 ± 0,03	0,08 ± 0,05	0,08 ± 0,04
10	0,56 ± 0,04	0,06 ± 0,01	0,39 ± 0,02	-
25	0,88 ± 0,30	0,07 ± 0,02	0,34 ± 0,01	-
50	1,70 ± 0,28	0,17 ± 0,03	0,28 ± 0,04	-
100	2,83 ± 0,25	0,26 ± 0,03	0,25 ± 0,01	-
150	1,07 ± 0,32	0,07 ± 0,01	0,44 ± 0,07	-
NaH ₂ PO ₄				
0	0,66 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,01
2	3,10 ± 0,44	0,22 ± 0,05	0,34 ± 0,01	0,94 ± 0,00
5	1,20 ± 0,35	0,18 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,01
10	1,29 ± 0,55	0,11 ± 0,02	0,40 ± 0,11	0,16 ± 0,04
15	1,56 ± 0,48	0,13 ± 0,03	0,39 ± 0,01	0,10 ± 0,02
20	1,53 ± 0,17	0,13 ± 0,02	0,75 ± 0,06	0,41 ± 0,02
Na ₂ CO ₃				
0	0,50 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,02
2	0,50 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,22 ± 0,02
4	0,46 ± 0,04	0,04 ± 0,01	0,31 ± 0,02	0,24 ± 0,11
6	0,57 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,32 ± 0,01	0,27 ± 0,06
8	0,60 ± 0,01	0,06 ± 0,00	0,23 ± 0,00	0,12 ± 0,01
10	0,43 ± 0,07	0,04 ± 0,00	0,31 ± 0,02	0,24 ± 0,07
Polyvinylprolidone				
0	0,50 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,03
10	0,44 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,28 ± 0,01	0,31 ± 0,01
100	0,37 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,38 ± 0,01	0,22 ± 0,01
500	0,43 ± 0,02	0,04 ± 0,00	0,55 ± 0,04	0,28 ± 0,02
1000	0,48 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,26 ± 0,04	0,03 ± 0,01
1500	0,43 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,50 ± 0,00	0,14 ± 0,02

Sumber: Keng et al. [44]

Elisitor dapat memicu respon fisiologis, morfologis, dan akumulasi fitoaleksin (Namdeo 2007). Elisitor juga dapat merangsang sistem pertahanan antioksidan sel tumbuhan (De Gara et al. 2003). Elisitor dapat digunakan untuk

meningkatkan sintesis matabolit sekunder tanaman (Angelova et al. 2006, Yu et al. 2002). Elisitasi pembentukan metabolit sekunder pada kultur jaringan tanaman dapat dilakukan dengan menggunakan molekul biotik atau abiotik. Ion logam dan senyawa anorganik termasuk sebagai

elisitor abiotik, sedangkan elisitor biotik berasal dari jamur, bakteri atau herbivora (Nambeo 2007).

Banyak senyawa yang telah diidentifikasi dapat meningkatkan produksi metabolit sekunder, yang dapat dimanfaatkan dalam budi daya tanaman. Secara umum, elisitor diklasifikasikan berdasarkan asal dan struktur molekulnya. Keberhasilan proses elisitasi bergantung pada interaksi elisitor-tanaman. Elisitor dapat berupa biotik atau abiotik. Elisitor biotik berasal dari patogen atau tanaman itu sendiri, kadang-kadang disebut elisitor endogen (Vasconsuelo et al. 2007). Terdapat dua kelompok elisitor berdasarkan interaksi antara tanaman dengan elisitor, yaitu 'elisitor umum' yang mampu memicu respon pertahanan pada tanaman inang dan noninang, dan 'elisitor khusus' yang menginduksi respon yang mengarah ke resistensi terhadap penyakit yang hanya terjadi pada inang tertentu (Staskawicz 1995, Vasconsuelo et al. 2007).

Kultur sel sambiloto dapat menghasilkan senyawa bioaktif andrografolid. Hasil uji kandungan andrografolid menunjukkan bahwa penambahan asam jasmonik 10 μ M meningkatkan kandungan andrografolid terbesar, yaitu 1,8 kali lipat perlakuan kontrol (Habibah 2009). Kadar komponen fenolik dan aktivitas antioksidan kunir putih yang telah dilakukan blanching meningkat secara nyata dibanding kunir putih segar yang diekstrak dengan enam jenis pelarut (Pujimulyani et al. 2010).

Aktivitas antioksidan yang lebih tinggi diperoleh dari ekstrak kedelai dengan perlakuan pelukaan dan elisitor, dibandingkan dengan ekstrak kontrol tanpa pelukaan. Selain itu, ekstrak kedelai dengan perlakuan pelukaan dan elisitor menunjukkan kandungan fenolik dan isoflavon yang lebih tinggi (Bou'e 2008). Hasil penelitian Keng et al. (2010) menunjukkan elisitor tertentu mempengaruhi biomassa sel dan produksi alkaloid dari *Eurycoma longifolia* (Tabel 2).

Informasi tentang jenis, konsentrasi, dan waktu aplikasi elisitor masih terbatas. Konsentrasi elisitor merupakan salah satu faktor yang menentukan kandungan metabolit sekunder pada kultur jaringan yang dielisitasi. Pada membran plasma terdapat reseptor untuk elisitor dengan jumlah tertentu, sehingga untuk meningkatkan kandungan katarantin diperlukan konsentrasi elisitor yang optimum. Kontak antara elisitor dan reseptor memerlukan waktu yang optimum hingga dihasilkan metabolit sekunder yang optimum. Waktu elisitasi menggambarkan lamanya sel melangsungkan jalur metabolit sekunder hingga terbentuknya suatu produk (Buitelaar et al. 1991). Oleh karena itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang jenis, konsentrasi, dan waktu aplikasi elisitor yang tepat pada tanaman aneka kacang, sehingga upaya untuk meningkatkan produksi metabolit sekunder pada tanaman dapat dilakukan secara optimal.

Kesimpulan

Metabolit sekunder seperti fenol, isoflavon, dan asam fenolik ditemukan pada berbagai jenis tanaman kacang. Peningkatan produksi metabolit sekunder pada tanaman dapat dilakukan dengan aplikasi elicitors. Elicitors dapat berupa elicitor biotik atau abiotik.

Daftar Pustaka

- Angelova, Z., S. Georgiev, and W. Roos. 2006. Elicitation of plants. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 20(2):72-83.
- Atkinson, N.J. and P.E. Urwin. 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany* 63(10): 3523-3544.
- Bilger, W., M. Rolland, and L. Nybakken. 2007. UV screening in higher plants induced by low temperature in the absence of UV-B radiation.

- Photochem. Photobiol. Sci. 6:190-195.
- Bou'e, S.M., F.F. Shih, B.Y. Shih, K.W. Daigle, C.H. Carter- Wientjes, and T.E. Cleveland. 2008. Effect of biotic elicitors on enrichment of antioxidant properties and induced isoflavones in soybean. *Journal of Food Science* 73(4):43-49.
- Buitelaar, R.M., M.T. Cesario, and J. Tramper. 1991. Strategies to improve the production of secondary metabolites with plant cell Cultures: A literature review. *Journal of Biotechnology* 1:5-45.
- Christian, Z. 2010. Altitudinal variation of secondary metabolites in flowering heads of the asteraceae: Trends and causes. *Phytochem. Rev.* 9:197-203.
- Creelman, R.A. and J.E. Mullet. 1995. Jasmonic acid distribution and action in plants: Regulation during development and response to biotic and abiotic stress. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 92: 4114-4119. USA.
- Croteau, R., T.M. Kutchan, and N.G. Lewis. 2000. Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants* 24:1250-1318.
- De Gara, L., M. De Pinto, and F. Tommasi. 2003. The antioxidant systems reactive oxygen species during plant-pathogen interaction. *Plant Physiol. Biochem.* 41:863-870.
- Dewi, I.W.. 2010. Karakteristik sensoris, nilai gizi dan aktivitas antioksidan tempe kacang gude (Cajanu cajan (L.) Millsp.) dan tempe kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) dengan berbagai variasi waktu fermentasi. Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta. Skripsi.
- Dreher, K. and J. Callis. 2007. Ubiquitin, hormones and biotic stress in plants. *Annals. of Botany* 99:787-822.
- Einhellig, F.A. 1996. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy* 88: 886-893.
- Epifano, F., G. Salvatore, M. Luigi, and C. Massimo. 2007. Chemistry and pharmacology of oxyprenylated secondary plant metabolites. *Phytochemistry* 68:939-953.
- Ginting, E., S.S. Antarlina, dan S. Widowati. 2009. Varietas unggul kedelai untuk bahan baku industri pangan. *Jurnal Litbang Pertanian* 28(3):79-87.
- Gudbjarnason, S. 1999. Bioactive marine natural product. *Rit Fiskideilar* 16: 107-110.
- Habibah, N.A. 2009. Efektivitas penambahan elisitor asam jasmonik dalam peningkatan sintesis senyawa bioaktif andrografolid pada kultur Suspensi sel sambiloto. *Biosaintifika* 1(1):11-18.
- Harman, G.E. 2000. Myths and dogmas of biocontrol: Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease* 84:377-393.
- Junaedi, A., M.M. Chozin, dan K.K. Ho. 2006. Perkembangan terkini kajian alelopati. *Jurnal Hayati* 2:79-84.
- Keng, C.L., W.A. Sze, and B. Arvind. 2010. Elicitation effect on cell biomass and production of alkaloids in cell suspension culture of the topical tree *Eurycoma longifolia*. *Journal of the Costa Rican Distance Education University* 2(2):239-244.
- Kim, Jae-Kwang, Kim Eun-Hye, Lee Oh-Kyu, Park Soo-Yun, Lee Bumky, Kim Seung-Hyun, Park Inmyoung and Chung Il-Min. 2013. Variation and correlation analysis of phenolic compounds in mungbean (*Vigna radiata* L.) varieties. *Food Chemistry* 141:2988-2997.
- Leiss, K.A., Y.H. Choi, R. Verpoorte, and G.L.K. Peter. 2011. An overview of NMR-based metabolomics to identify

- secondary plant compounds involved in host plant resistance. *Phytochem Rev.* 10:205-216.
- Lygin Anatoly V., Li Suxian, Vittal Ramya, Widholm Jack M., Hartman Glen L., and Lozovaya Vera V. 2009. The importance of phenolic metabolism to limit the growth of *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 99(12):1412-1420.
- Mariska, I. 2013. Metabolit sekunder: Jalur pembentukan dan kegunaannya. <http://biogen.litbang.pertanian.go.id/>. Diakses tanggal 21 Desember 2015.
- Martin, J.F. 2004 Phosphate control of the biosynthesis of antibiotics and other secondary metabolites is mediated by the PhoR-PhoP system: an unfinished story. *J. Bacteriol.* 186(16):5197-5201.
- Muliani, Y. 2013. Karakter biokimia tanaman kedelai yang berperan dalam resistensi terhadap lalat bibit *Ophiomyia phaseoli* Tryon. *CEFARS: Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah* 4(2):31-39.
- Namdeo, A.G. 2007. Review article: plant cell elicitation for production of secondary metabolites. *Pharmacognosy Reviews* 1(1):69-79.
- Ningsih, W. 2007. Evaluasi senyawa fenolik (asam ferulat dan asam p-Kumarat) pada biji, kecambah, dan tempe kacang tunggak (*Vigna unguiculata*). Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Skripsi.
- Nithiyanantham, S., S. Subramanian, and S. Perumal. 2012. Total phenolic content and antioxidant activity of two different solvent extracts from raw and processed legumes, *Cicer arietinum* L. and *Pisum sativum* L. *Journal of Food Composition and Analysis* 27:52-60.
- Nofiani, R. 2008. Artikel ulas balik: Urgensi dan mekanisme biosintesis metabolit sekunder mikroba laut. *Jurnal Natur Indonesia* 10(2):120-125.
- Pourcel, L., J.M. Routaboul, V. Cheynier, L. Lepiniec, and I. Debeaujon. 2007. Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. *Trends Plant Sci.* 12:29-36.
- Prats, E., M.E. Bazzalo, A. Le´on, and J.V. Jorr´yn. 2003. Accumulation of soluble phenolic compounds in sunflower capitula correlates with resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Euphytica* 132:321-329.
- Pujimulyani, D., S. Raharjo, Y. Marsono, dan U. Santoso. 2010. Aktivitas antioksidan dan kadar senyawa fenolik pada kunir putih (*Curcuma mangga* Val.) segar dan setelah blanching. *Agritech.* 30 (2):68-74.
- Radman, R., T. Saez, C. Bucke, and T. Keshavarz. 2003. Elicitation of plant and microbial systems. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 37:91-102.
- Rubiyo dan W. Amaria. 2013. Ketahanan tanaman kakao terhadap penyakit busuk buah (*Phytophthora palmivora* Butl.). *Perspektif* 12(1):23-36.
- Saifudin, A. 2014. Senyawa alam metabolit sekunder: Teori, konsep, dan teknik pemurnian. Deepublish, Sleman, Yogyakarta. 113p.
- Saija, A., M. Scalese, M. Lanza, D. Marzullo, F. Bonina, and F. Castelli. 1995. Flavonoids as antioxidant agents: importance of their interaction with biomembranes. *Free Radic. Biol. & Med.* 19(4):481-486.
- Samsudin. 2011. Biosintesa dan Cara Kerja Azadirachtin sebagai Bahan Aktif Insektisida Nabati. *Prosiding Seminar Nasional Pesnab IV*:61-70.