

Peningkatan Kandungan Metabolit Sekunder Tanaman Aneka Kacang sebagai Respon Cekaman Biotik

The Increase of Secondary Metabolite in Legumes as a Response of Biotic Stress

Sulistiyono Dwi Setyorini¹ dan Eriyanto Yusnawan

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
Jalan Raya Kendalpayak KM-8 Malang, Jawa Timur, Indonesia
¹E-mail: sulistiyono_setyorini@yahoo.com

Naskah diterima 16 Februari 2016, direvisi 30 November 2016, dan disetujui diterbitkan 5 Desember 2016

ABSTRACT

Secondary metabolites are not considered as essential compounds for plant growth. The increase of secondary metabolites produced by plants is only expressed in certain situations. These compounds are unique and different for each species. Various types of plants, including legume crops are able to produce secondary metabolites in certain situations. Plants produce secondary metabolites as a defense mechanism to stresses, both biotic and abiotic stresses. Biotic stresses that occur on plants can be caused by pests, diseases or weeds. For human, secondary metabolites can be toxic or beneficial compounds depending on the type of compound formed. Secondary metabolites have been used as a medicine, pesticide and become materials for cosmetic production. Legumes can produce secondary metabolite compounds that act as antioxidant for human, so it is necessary to improve these expression. One of the efforts is the use of elicitors. The combination of the elicitors and time of application can be used to improve the production of plant secondary metabolites.

Keywords: Biotic stress, elicitor, legumes, secondary metabolite.

ABSTRAK

Senyawa metabolit sekunder merupakan senyawa tidak esensial bagi pertumbuhan tanaman. Senyawa metabolit sekunder dihasilkan dalam jumlah berlebih oleh tanaman pada keadaan tertentu. Senyawa ini unik dan berbeda pada setiap spesies. Berbagai jenis tanaman mampu menghasilkan senyawa metabolit sekunder pada keadaan tertentu, termasuk tanaman aneka kacang. Tanaman menghasilkan senyawa metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan dari cekaman, biotik maupun abiotik. Cekaman biotik pada tanaman disebabkan oleh hama, penyakit, dan gulma. Bagi manusia, senyawa metabolit sekunder dapat bersifat racun atau zat yang menguntungkan, bergantung pada jenis senyawa yang terbentuk. Senyawa metabolit sekunder yang bermanfaat telah digunakan sebagai obat, pestisida, dan bahan baku kosmetik. Tanaman aneka kacang mampu menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang bersifat antioksidan bagi manusia, sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan ekspresi tersebut. Salah satunya adalah dengan menambahkan elisitor. Kombinasi jenis dan waktu pemberian elisitor dapat meningkatkan metabolit sekunder.

Kata kunci: Metabolit sekunder, aneka kacang, cekaman, biotik.

PENDAHULUAN

Tanaman memiliki dua jenis senyawa metabolit, yaitu metabolit primer dan sekunder. Metabolit primer digunakan tanaman untuk pertumbuhan, sedangkan metabolit sekunder tidak berperan secara langsung untuk pertumbuhan tanaman. Metabolit sekunder diproduksi tanaman dalam jumlah tertentu pada kondisi tercekam. Contoh metabolit sekunder di antaranya adalah antibiotik, pigmen, toksin, efektor kompetisi ekologi dan simbiosis, feromon, inhibitor enzim, agen immunomodulasi, reseptor antagonis dan agonis, pestisida, agen antitumor, dan promotor pertumbuhan hewan dan tumbuhan (Nofiani 2008).

Setiap jenis senyawa metabolit sekunder memiliki fungsi yang berbeda. Senyawa ini tidak berperan penting untuk kelangsungan hidup tanaman, tetapi memberi beberapa keuntungan. Metabolit sekunder berfungsi sebagai mekanisme pertahanan tanaman, 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.

Produksi metabolit sekunder dipicu oleh cekaman pada tanaman (Einhellig 1996). Peningkatan radiasi dan suhu udara yang rendah mempengaruhi metabolit sekunder (Korner 1999 dalam Christian 2010, Bilger *et al.* 2007). Cekaman biotik juga berperan dalam aktivitas metabolisme tanaman.

Senyawa metabolit sekunder dapat dihasilkan oleh berbagai jenis tanaman, termasuk aneka kacang. Kedelai, kacang hijau, kacang tanah, dan kacang potensial lain seperti kacang tunggak dan gude telah teridentifikasi memiliki kandungan fenolik antioksidan (Dewi 2010, Ginting *et al.* 2009, Kim *et al.* 2013, Sobolev 2006). Tanaman aneka kacang memiliki peran penting sebagai sumber pangan. Dengan adanya kandungan antioksidan, tanaman aneka kacang menjadi sumber pangan fungsional yang potensial untuk dikembangkan. Makalah ini mengulas tentang manfaat metabolit sekunder bagi tanaman maupun manusia, pengaruh cekaman biotik terhadap produksi metabolit sekunder serta pengembangannya pada tanaman aneka kacang.

METABOLIT SEKUNDER PADA TANAMAN

Tanaman menghasilkan beragam senyawa organik, sebagian besar tidak berperan secara langsung terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Metabolit diklasifikasikan menjadi dua, yaitu metabolit primer dan metabolit sekunder. Metabolit primer yang dibentuk dalam

jumlah terbatas merupakan faktor penting untuk pertumbuhan dan kehidupan makhluk hidup. Metabolit sekunder tidak digunakan tanaman untuk pertumbuhan dan diproduksi lebih banyak pada saat tanaman dalam kondisi stres (Nofiani 2008). Senyawa ini diproduksi secara terbatas pada kelompok taksonomi tertentu (Croteau *et al.* 2000).

Tanaman berevolusi dengan berbagai cara untuk dapat bertahan hidup dari berbagai cekaman, salah satunya dengan memproduksi senyawa metabolit sekunder yang bersifat racun. Metabolit beracun umumnya terakumulasi dalam vakuola, rongga ekstraseluler trikoma, atau disekresikan ekstra sel. Glikosilasi merupakan modifikasi penting yang terjadi pada berbagai senyawa metabolit sekunder. Berdasarkan asal biosintesisnya, produk metabolit alami tanaman dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama, yaitu terpenoid, alkaloid, dan fenilpropanoid serta kelompok senyawa fenolik antioksidan (Croteau *et al.* 2000).

Terdapat dua kelompok sumber antioksidan, yaitu antioksidan sintetik (antioksidan yang diperoleh dari hasil sintesis reaksi kimia) dan antioksidan alami (antioksidan hasil ekstraksi bahan alami atau yang terkandung dalam bahan alami). Antioksidan alami berasal dari senyawa fenolik seperti golongan flavonoid. Flavonoid adalah golongan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tanaman (Saija *et al.* 1995). Senyawa ini dapat menjadi racun bagi organisme lain, yang bekerja dengan mengganggu fungsi protein sel. Beberapa metabolit berinteraksi dengan molekul yang memiliki fungsi seluler mendasar, seperti DNA dan protein yang terlibat dalam pembelahan sel (Sirikantaramas *et al.* 2008). Nofiani (2008) menyebutkan bahwa pembentukan metabolit sekunder diatur oleh nutrisi, penurunan kecepatan pertumbuhan, *feedback control*, inaktivasi enzim, dan induksi enzim.

METABOLIT SEKUNDER PADA TANAMAN ANEKA KACANG

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 delphinidin) 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) (Nithiyanantham 2012).

MEKANISME PRODUKSI METABOLIT SEKUNDER

Metabolit sekunder hanya dijumpai pada satu spesies atau sekelompok spesies tertentu, sedangkan metabolit primer (asam amino, nukleotida, gula, lipid) dijumpai hampir pada semua tumbuhan. Metabolit sekunder merupakan hasil samping atau hasil antara dari metabolisme primer. Secara umum metabolit sekunder terbagi dalam tiga kelompok, yaitu terpen, senyawa fenolik dan produk sekunder yang mengandung nitrogen (Gambar 1) (Taiz and Zeiger 2002). Pengelompokan tersebut berdasarkan jalur pembentukan masing-masing senyawa.

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

Jalur pembentukan metabolit sekunder	Senyawa metabolit sekunder 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, streoid, terpenoid, sapogenin, geraniol, ABA, dan ga3
Jalur asam sikhimat	Asam sinamat, fenol asam benzoic, lignin, koumarin, tanin, asam amino benzoic dan quinon

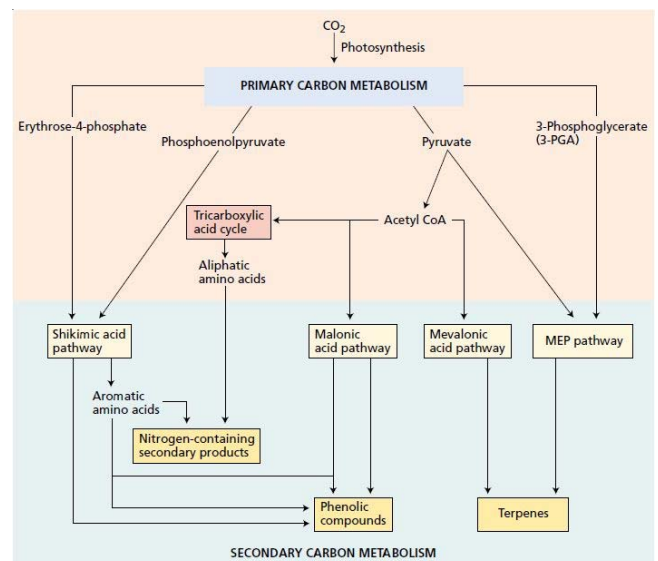
Sumber: Mariska (2013)

Mariska (2013) menyebutkan produksi metabolit sekunder berbeda dengan metabolit primer. Produksi senyawa 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 asam shikimat.

Senyawa metabolit sekunder dari golongan fenolik diperoleh dari phenylalanin melalui eliminasi molekul ammonia dari asam sinamat. Reaksi ini dikatalis oleh *phenylalanine ammonia lyase* (PAL), enzim yang paling banyak diteliti pada metabolit sekunder tumbuhan. Phenylalanin berada pada titik percabangan antara metabolisme primer dan sekunder, sehingga reaksi ini merupakan tahap penting pada pembentukan banyak senyawa fenolik (Lincoln and Eduardo 2002).

Biosintesis terpen dapat terjadi melalui dua jalur, yaitu lintasan asam mevalonat dan jalur *methylerythritol phosphate* (MEP) (Lincoln and Eduardo 2002). Biosintesis terpenoid pada tumbuhan melalui jalur deoksiselulosa. Jalur biosintesis terpenoid diawali dengan pembentukan isopentenil pirofosfat (IPP) atau diametilalil pirofosfat (DMAPP), yaitu isopren yang mengikat dua buah fosfat lalu bergabung menjadi satu dengan yang lain dari ujung hingga pangkal membentuk monoterpen, seskuiterpen, diterpen, triterpen dan seterusnya.

Isoprene merupakan unit pembangun terpenoid, namun bukan sebagai material paling awal. Isoprene harus mengikat fosfat karena meskipun DMAPP dan IPP memiliki ikatan ganda, elektron tidak terlalu aktif untuk dapat bereaksi dengan molekul sejenis (Saifudin 2014).



Gambar 1. Jalur utama biosintesis metabolit sekunder dan hubungannya dengan metabolisme primer.

Sumber: Lincoln dan Zeiger (2002)

Salah satu contoh senyawa turunan dari golongan terpen adalah senyawa azadirachtin, yang sering dimanfaatkan sebagai biopestisida. Meskipun biosintesis azadirachtin belum dapat ditentukan secara lengkap dan pasti, tetapi secara umum biosintesisnya dapat ditelusuri pada proses pembentukan triterpenoid melalui lintasan asetat mevalonat dengan prekursor utama berupa skualen (Samsudin 2011).

MANFAAT METABOLIT SEKUNDER

Manfaat Metabolit Sekunder bagi 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.

Manfaat Metabolit Sekunder bagi Manusia

Selain memberikan manfaat bagi tanaman, senyawa metabolit sekunder tertentu juga dapat bermanfaat bagi manusia. Pemanfaatannya berbeda-beda, bergantung pada jenis senyawa yang ada. Fenilpropanoid yang dikandung beberapa tanaman memberikan aroma dan rasa, sehingga dapat digunakan dalam industri makanan dan minuman. Sebagai contoh adalah senyawa capsaicin dalam paprika merah, piperinoids pada lada hitam, sinamat pada kayu manis, dan gingerol pada jahe (Croteau *et al.* 2000).

Beberapa jenis metabolit sekunder bersifat antikanker seperti camptothecin, paclitaxel, vinkristin, dan podophyllotoxin (Sirikantaramas *et al.* 2008). Metabolit sekunder juga bersifat anti-inflamasi dan antimikroba (Epifano 2007). Vinblastin dan vincristine yang diproduksi dari bunga tapak dara (*Catharanthus roseus*) merupakan alkaloid untuk obat leukemia (Mariska 2013).

Flavonoid yang mengandung gugus flavon, flavanon, katekin, dan antosianin dalam struktur molekulnya mempunyai aktivitas sebagai antioksidan. Flavonoid berfungsi meredam radikal bebas seperti superoksida yang dihasilkan dari reaksi enzim xantin oksidase. Isoflavon berperan sebagai antioksidan primer. Selain bekerja sebagai antioksidan, flavonoid juga dapat berfungsi sebagai antiaterosklerosis, antitrombogenik, anti-inflamasi, antitumor, antivirus dan antiosteoporosis (Simanjuntak 2012).

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).

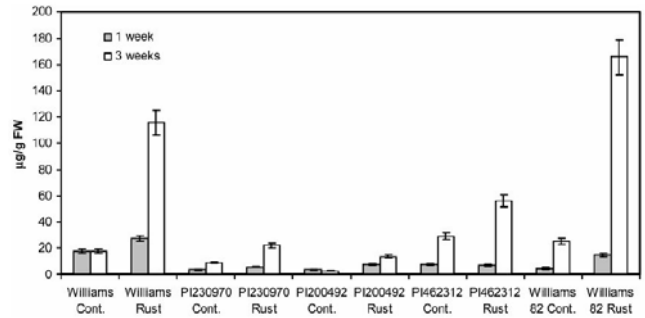
Pada saat tanaman berinteraksi dengan patogen, hama atau cekaman biotik dan abiotik, tanaman akan mengaktifkan berbagai mekanisme pertahanan, termasuk induksi biosintesis metabolit sekunder. Salah satunya adalah pembentukan fitoaleksin sebagai respon hipersensitif dan penebalan lignin yang terbentuk 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).

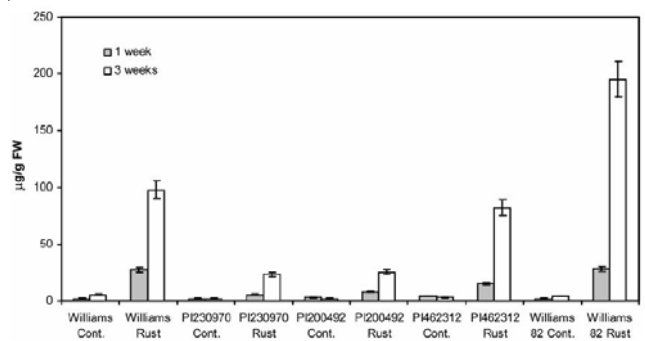
Peningkatan metabolit sekunder tanaman juga terjadi karena infeksi *Phakopsora pachyrhizi*. Hasil penelitian Lygin *et al.* (2009) menunjukkan terjadi akumulasi peningkatan isoflavonoid genistein dan daidzein di hampir semua daun kedelai setelah terinfeksi *P. pachyrhizi* (Gambar 2 dan 3). Hal ini membuktikan patogen tanaman mampu memacu peningkatan pembentukan metabolit sekunder.

PENINGKATAN SENYAWA METABOLIT SEKUNDER DENGAN ELISITOR

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



Gambar 2. Konsentrasi genistein pada daun kedelai dari genotipe yang berbeda yang diinokulasi dan tidak diinokulasi (kontrol) *Phakopsora pachyrhizi* (1 dan 3 minggu setelah inokulasi)
Sumber: Lygin *et al.* (2009)



Gambar 3. Konsentrasi daidzein pada daun kedelai dari genotipe yang berbeda yang diinokulasi dan tidak diinokulasi (kontrol) *Phakopsora pachyrhizi* (1 dan 3 minggu setelah inokulasi)
Sumber: Lygin *et al.* (2009)

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).

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 metabolit 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 (Namdeo 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

Tabel 2. Pengaruh elisitor yang berbeda ditambah ke dalam media cair MSBs terhadap biomassa sel dan produksi 9-hydroxycanthin-6-satu dan 9-methoxycanthin-6-satu dari sel *E.longifolia* (13 hari setelah dikulturkan).

Konsentrasi elisitor (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 \pm 0,18	0,14 \pm 0,03	0,08 \pm 0,05	0,08 \pm 0,04
10	0,56 \pm 0,04	0,06 \pm 0,01	0,39 \pm 0,02	—
25	0,88 \pm 0,30	0,07 \pm 0,02	0,34 \pm 0,01	—
50	1,70 \pm 0,28	0,17 \pm 0,03	0,28 \pm 0,04	—
100	2,83 \pm 0,25	0,26 \pm 0,03	0,25 \pm 0,01	—
150	1,07 \pm 0,32	0,07 \pm 0,01	0,44 \pm 0,07	—
NaH₂PO₄				
0	0,66 \pm 0,03	0,07 \pm 0,01	0,08 \pm 0,02	0,08 \pm 0,01
2	3,10 \pm 0,44	0,22 \pm 0,05	0,34 \pm 0,01	0,94 \pm 0,00
5	1,20 \pm 0,35	0,18 \pm 0,02	0,08 \pm 0,01	0,06 \pm 0,01
10	1,29 \pm 0,55	0,11 \pm 0,02	0,40 \pm 0,11	0,16 \pm 0,04
15	1,56 \pm 0,48	0,13 \pm 0,03	0,39 \pm 0,01	0,10 \pm 0,02
20	1,53 \pm 0,17	0,13 \pm 0,02	0,75 \pm 0,06	0,41 \pm 0,02
Na₂CO₃				
0	0,50 \pm 0,01	0,05 \pm 0,00	0,11 \pm 0,02	0,12 \pm 0,02
2	0,50 \pm 0,01	0,05 \pm 0,01	0,17 \pm 0,02	0,22 \pm 0,02
4	0,46 \pm 0,04	0,04 \pm 0,01	0,31 \pm 0,02	0,24 \pm 0,11
6	0,57 \pm 0,02	0,05 \pm 0,00	0,32 \pm 0,01	0,27 \pm 0,06
8	0,60 \pm 0,01	0,06 \pm 0,00	0,23 \pm 0,00	0,12 \pm 0,01
10	0,43 \pm 0,07	0,04 \pm 0,00	0,31 \pm 0,02	0,24 \pm 0,07
Polyvinylpirrolidone				
0	0,50 \pm 0,01	0,05 \pm 0,00	0,10 \pm 0,01	0,11 \pm 0,03
10	0,44 \pm 0,01	0,04 \pm 0,00	0,28 \pm 0,01	0,31 \pm 0,01
100	0,37 \pm 0,01	0,03 \pm 0,00	0,38 \pm 0,01	0,22 \pm 0,01
500	0,43 \pm 0,02	0,04 \pm 0,00	0,55 \pm 0,04	0,28 \pm 0,02
1000	0,48 \pm 0,01	0,04 \pm 0,00	0,26 \pm 0,04	0,03 \pm 0,01
1500	0,43 \pm 0,01	0,04 \pm 0,00	0,50 \pm 0,00	0,14 \pm 0,02

Sumber: Keng *et al.* (2010)

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

Senyawa metabolit sekunder seperti fenol, isoflavon, dan asam fenolat terdapat pada kedelai, kacang hijau, kacang tanah, gude, dan kacang tunggak. Senyawa tersebut dapat berperan sebagai antioksidan, antikanker dan antiaging, sehingga tanaman aneka kacang berpotensi sebagai pangan fungsional.

Peningkatan produksi metabolit sekunder pada tanaman dapat dilakukan dengan aplikasi elisitor. Elisitor dapat berupa elisitor biotik maupun abiotik. Terbatasnya informasi yang berkaitan dengan jenis elisitor yang sesuai untuk tanaman aneka kacang memberikan peluang bagi penelitian yang lebih dalam. Selain itu juga diperlukan penelitian konsentrasi dan waktu aplikasi elisitor yang tepat, sehingga dapat mengoptimalkan produksi metabolit sekunder tanaman.

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 (*Cajanus 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 ree *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.
- Nithiyantham, 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 ulasan balik: Urgensi dan mekanisme biosintesis metabolit sekunder mikroba laut. *Jurnal Natur Indonesia* 10(2):120-125.
- Pourcel, L., J.M. Routaboul, V. Cheyrier, 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.
- Simanjuntak, K. 2012. Peran antioksidan flavonoid dalam meningkatkan kesehatan. *Bina Widya* 23(3):135-140.
- Sirikantaramas, S., M. Yamazaki, K. Saito. 2008. Mechanisms of resistance to self-produced toxic secondary metabolites in plants. *Phytochem. Rev.* 7:467-477.
- Sobolev, V.S., B.W. Horn, T.L. Potter, S.T. Deyrup, and J.B. Gloer. 2006. Production of stilbenoids and phenolic acids by the peanut plant at early stages of growth. *J. Agric. Food Chem.* 54:3505-3511.
- Staskawicz, B.J., F.M. Ausubel, B.J. Baker, J.G. Ellis, and J.D. Jones. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. *Science* 268:661-667.
- Tabarez, M.R. 2005. Discovery of the new antimicrobial compound 7-o-malonyl macrolactin a dissertation van der gemeinsamen Naturwissenschaftlichen Fakultat. Jerman: Universitat Carolo-Wilhelmina.
- Taie, H.A.A., R. El-Mergawi, and S. Radwan. 2008. Isoflavonoids, flavonoids, phenolic acids profiles and antioxidant activity of soybean seeds as affected by organic and bioorganic fertilization. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 4(2):207-213.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Tyne and Wear, England: 690p.
- Vasconsuelo, A. and R. Boland. 2007. Molecular aspects of the early stages of elicitation of secondary metabolites in plants. *Plant Science* 172:861-875.
- Vinale, F., K. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, R. Marra, M.J. Barbetti, H. Li, S.L. Woo, M. Lorito. 2008. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 72:80-86.
- Xu, B. and S.K.C. Chang. 2008. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. *Agric. Food Chem.* 56:7165-7175.
- Yedidia, I., M. Shores, Z. Kerem, N. Benhamou, Y. Kapulnik, and I. Chet. 2003. Concomitant induction of systemic resistance to *Pseudomonas syringae* pv. lachrymans in cucumber by *Trichoderma asperellum* (T-203) and accumulation of phytoalexins. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:7343-7353.
- Yu, L-J., L. Wen-Zhi, Q. Wen-Min, and X. Hui-Bi. 2002. High stable production of taxol in elicited synchronous cultures of *Taxus chinensis* cells. *Process Biochem.* 38(2): 207-210.
- Yulistian, D.P., E.P. Utomo, S.M. Ulfa, and E. Yusnawan. 2015. Studi pengaruh jenis pelarut terhadap hasil isolasi dan kadar senyawa fenolik dalam biji kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sebagai antioksidan kimia. *Student Journal* 1(1):819-825.
- Zhao, J., L. Davis, and R. Verpoorte. 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnol. Adv.* 23:283-333.