

# **PHYTOALEXIN PADA TANAMAN KACANG-KACANGAN: SENYAWA ANTIMIKROBIA BERPOTENSI UNTUK KESEHATAN MANUSIA**

**Eriyanto Yusnawan**

*Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian*

## **ABSTRAK**

*Phytoalexin* adalah senyawa antimikrobia dengan berat molekul rendah yang disintesis *de novo* yang terakumulasi pada tanaman sebagai respon terhadap infeksi atau stres yang diakibatkan oleh luka, suhu rendah, sinar ultra violet (UV), dan mikroorganisme. Dua tanaman Leguminosae yaitu kedelai terutama memproduksi *phytoalexin* isoflavon (daidzein, genistein, dan glycitein) dan kacang tanah menghasilkan *phytoalexin* turunan stilbene (*cis*- dan *trans*-resveratrol) dan flavonoid. Senyawa-senyawa metabolit sekunder tersebut selain berfungsi untuk mekanisme pertahanan diri terhadap infeksi patogen juga berpotensi untuk kesehatan manusia. Isoflavon antara lain berguna untuk mencegah osteoporosis dan beberapa kanker dan resveratrol berfungsi sebagai anti pembengkakan dan anti kanker. Beberapa *elicitor* biotik dan abiotik mampu meningkatkan produksi senyawa-senyawa metabolit sekunder tersebut. Makalah ini mengulas senyawa *phytoalexin* pada tanaman kacang-kacangan, terutama kedelai dan kacang tanah yang dihubungkan dengan tinjauan pangan fungsional.

Kata Kunci: *Phytoalexin*, *elicitor*, legume, senyawa antimikroba

## **ABSTRACT**

**Phytoalexin on Leguminous plants: antimicrobial compounds potential for human health.** *Phytoalexins* are antimicrobial compounds with low molecular weight that are synthesized *de novo* and accumulated in plants as a response to infection or stress because of wounding, freezing, ultraviolet exposure, and exposure to microorganisms. Two leguminous plants, i.e. soybeans majority synthesize isoflavone phytoalexins (daidzein, genistein and glycitein) and peanuts mainly produce stilbene-derived phytoalexins (*cis*- and *trans*-resveratrol) and flavonoids. Those compounds not only associate with resistance to pathogens but also promote health benefits. Isoflavones particularly prevent osteoporosis and some cancers and resveratrol have been linked to anti inflammatory and anti cancers. Biotic and abiotic treatments elicit those plant secondary metabolites. This article reviews *phytoalexins* in legumes, especially soybean and peanut in relation to functional foods.

Kata Kunci: *Phytoalexin*, *elicitor*, legume, antimicrobial compound

## **PENDAHULUAN**

Tanaman memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungan sepanjang daur hidupnya, termasuk mekanisme mempertahankan diri dari cekaman biotik maupun abiotik. Salah satu contoh mekanisme pertahanan diri dari cekaman biotik adalah tanggapan hipersensitif dengan melibatkan biosintesis metabolit sekunder terhadap infeksi patogen baik yang menginfeksi bagian tanaman di dalam tanah (akar dan leher akar) maupun yang berada di atas tanah (batang, daun, bunga, dan buah). Dari sudut pandang bercocok tanam komersial yang mengutamakan hasil panen per luasan lahan, mekanisme pertahanan diri ini beresiko mengurangi kuantitas hasil panen karena

tanaman yang terinfeksi patogen umumnya menghasilkan panen yang lebih rendah, terutama pada varietas peka.

Tanaman yang terinfeksi bakteri dan jamur penyebab penyakit mampu mengeluarkan senyawa metabolit sekunder dengan berat molekul rendah yang banyak terakumulasi di sekitar zona infeksi. Metabolit sekunder ini diproduksi *de novo* sebagai bagian dari mekanisme pertahanan diri. Senyawa ini dikenal dengan *phytoalexin* (Kuc & Rush 1985). *Phytoalexin* bukan merupakan satu-satunya mekanisme pertahanan diri. Barrier fisik, penebalan lignin, pembentukan jaringan kalus dan sintesis *enzyme inhibitor* adalah bentuk lain dari mekanisme pertahanan diri.

Pada awalnya, *phytoalexin* sering dilaporkan terdapat pada tanaman angiospermae dan dikotil, jarang dilaporkan pada gymnospermae dan monokotil, serta tanaman yang termasuk dalam satu famili umumnya memiliki kesamaan struktur *phytoalexin* (Ingham 1982). Selain memiliki manfaat untuk proteksi diri bagi tanaman, akhir-akhir ini *phytoalexin* dilaporkan sebagai sumber nutrisi dan senyawa yang memiliki potensi untuk kesehatan, di antaranya adalah anti pembengkakan, antioksidan, menurunkan kadar kolesterol, dan anti kanker (Boue *et al.* 2009; Sobolev *et al.* 2011). Hal ini tidak terlepas dari perkembangan pengetahuan dalam bidang ilmu pangan yang mengkaitkan antara metabolit sekunder tanaman dengan manfaatnya untuk kesehatan manusia. Makalah ini mengulas manfaat beberapa *phytoalexin* tanaman kacang-kacangan, terutama kedelai dan kacang tanah yang dikaitkan dengan kajian pangan fungsional.

### **Pengertian dan sejarah *phytoalexin***

Istilah *phytoalexin* pertama kali diperkenalkan oleh Muller dan Borger pada tahun 1940. Pada waktu itu, *phytoalexin* didefinisikan sebagai antibiotik yang dihasilkan oleh tanaman yang disintesis *de novo* di dalam jaringan tanaman hidup sebagai tanggapan terhadap infeksi patogen (Macias *et al.* 2007). Untuk pertama kalinya, *phytoalexin* berhasil diisolasi dari tanaman *Pisum sativum* oleh Cruickshank dan Perrin setelah sekitar 20 tahun diperkenalkannya istilah metabolit sekunder ini (Cruickshank & Perrin 1960). Pisatin diisolasi dari bagian polong terbuka yang terinfeksi inokulum *Sclerotinia fructicola*. Keberhasilan penemuan senyawa metabolit sekunder ini diikuti oleh banyaknya senyawa *phytoalexin* dari famili tanaman lain yang telah diisolasi dan diidentifikasi. *Phytoalexin* isoflavon mayoritas diisolasi dari famili Leguminosae (Barz & Welle 1992; Dixon *et al.* 1993), diterpenoid banyak diumpai pada tanaman padi dan famili Graminae lainnya (oryzalexin dan momilactone) (West *et al.* 1990; Peters 2006) dan sesquiterpenoid ditemukan pada famili Solanaceae (Kuch 1982; Dixon *et al.* 1993).

Akumulasi metabolit-metabolit sekunder ini terbukti tidak hanya diproduksi pada saat proses infeksi, meskipun biosintesis *phytoalexin* dan akumulasi senyawa metabolit sekunder banyak terjadi setelah infeksi. Selain jamur, bakteri dan nematoda, senyawa lain seperti garam-garam anorganik terbukti mampu menjadi penginduksi (*elicitor*) biosintesis *phytoalexin* (Kuc 1995). Semakin berkembangnya penemuan dan banyaknya informasi yang berkaitan dengan *phytoalexin*, definisi *phytoalexin* mengalami modifikasi dan penyesuaian menjadi senyawa antimikrobia dengan berat molekul rendah yang disintesis *de novo* dan terakumulasi pada tanaman sebagai tanggapan terhadap infeksi atau stress yang diakibatkan oleh luka, suhu rendah, sinar ultra violet (UV) dan mikroorganisme (Darvill & Albersheim 1984; Graham *et al.* 1990; Graham & Graham 1991; Paxton 1991).

Definisi *phytoalexin* tersebut tidak termasuk senyawa antimikrobia yang disintesis atau yang telah berada di dalam jaringan tanaman sebelum terjadinya infeksi patogen. J.W. Mansfield menyebut senyawa yang sudah terbentuk tersebut sebagai *phytoanticipin* dan mendefinisikan *phytoanticipin* sebagai senyawa dengan berat molekul rendah, memiliki efek antimikrobia yang terdapat pada tanaman sebelum berinteraksi dengan mikroorganisme atau senyawa yang dilepaskan setelah infeksi semata-mata berasal senyawa yang telah ada (*preexisting constituents*) (VanEtten *et al.* 1994). Perbedaan antara *phytoalexin* dan *phytoanticipin* bukan terletak pada struktur kimia, tetapi terletak pada bagaimana senyawa tersebut diproduksi. Oleh karena itu, senyawa yang sama dapat digolongkan ke dalam *phytoanticipin* dan *phytoalexin*, seperti resveratrol pada kacang tanah dan daidzein pada kedelai, tergantung bagaimana senyawa-senyawa tersebut diproduksi (Boue *et al.* 2009; Sobolev *et al.* 2011).

### **Pengertian Pangan fungsional**

Pangan fungsional diartikan sebagai makanan yang memiliki manfaat bagi kesehatan dikarenakan mengandung senyawa aktif tertentu. Beberapa makanan ini mungkin bermanfaat untuk mengurangi resiko terserang penyakit atau meningkatkan stamina kesehatan (Boue *et al.* 2009; Roberfroid 2000). Definisi ini tidak termasuk makanan dalam bentuk suplemen atau obat-obatan. Peran makanan dalam kaitannya dengan penyakit pada kebanyakan kasus adalah untuk mengurangi resiko penyakit daripada mencegah penyakit (Roberfroid 2000).

### ***Phytoalexin* pada Tanaman Kacang-kacangan dan Manfaat untuk Kesehatan**

Tanaman kacang-kacangan tersebar luas di seluruh dunia dan banyak dijadikan bahan konsumsi manusia (Rizk *et al.* 1980). Metabolit sekunder tanaman Leguminosae yang diteliti oleh Muller pada tahun 1956 – 1958 untuk pertama kali adalah *phytoalexin* pada buncis (*Phaseolus vulgaris*). Senyawa *phytoalexin* (diantaranya adalah phaseollin (I)) ditemukan pada bagian dalam polong yang diinokulasi dengan *S. fructicola* dan *Phytophthora infestans*. Sejak saat itu, sejumlah *phytoalexin* (phaseollin, phaseollidin, phaseollinisoflavan, kievitone, 2'-metoksipphaseollinisoflavan, 1 $\alpha$ -hidroksipphaseollonone, dan coumestrol) ditemukan dan diidentifikasi pada bagian polong, hipokotil dan daun tanaman ini (Kuc 1995; Rizk *et al.* 1980). Konsumsi buncis secara teratur terbukti mampu mengurangi resiko penyakit jantung koroner dan diabetes tipe II (Montoya *et al.* 2010; Leterme & Muunoz 2002; Tharanathan & Mahadevamma 2003). *Phytoalexin* dua tanaman kacang-kacangan, yaitu kedelai dan kacang tanah diulas dalam makalah ini.

#### **1. *Phytoalexin* pada kedelai dan manfaatnya untuk kesehatan**

Kedelai mendapat perhatian cukup banyak di antara tanaman Leguminosae lainnya karena kandungan metabolit sekunder isoflavon daidzein (47 mg/100 g) dan genistein (74 mg/100 g) yang tinggi dibandingkan dengan tanaman lain, misalnya *chickpea* (mengandung 0,04 mg/100 g daidzein dan 0,06 mg/100 g genistein) (Boue *et al.* 2009; Rochfort & Panozzo 2007). Di dalam tanaman, isoflavon secara dominan terdapat dalam bentuk  $\beta$ -glukosida (daidzein, genistein, glycitein) atau sebagai acetyl- $\beta$ -glukosida dan malonil- $\beta$ -glukosida yang bersifat polar dan larut dalam air (Coward *et al.* 1998). Ahli penyakit tanaman mengategorikan isoflavon sebagai *phytoalexin* karena pada tingkat

molekuler berfungsi sebagai senyawa anti mikrobia (Nicholson & Hammerschmidt 1992). Selain dikategorikan ke dalam *phytoalexin*, daidzein dan genistein juga digolongkan kedalam *phytoanticipin*.

*Phytoalexin* isoflavon mampu menghambat perkembangan patogen pada saat terjadinya infeksi sebagai bagian dari mekanisme mempertahankan diri. Daidzein pada konsentrasi mulai dari  $5 \times 10^{-4}$  M hingga  $80 \times 10^{-4}$  M mampu menghambat pertumbuhan miselia *Fusarium culmorum* (Kramer *et al.* 1984). Genistein mempunyai aktivitas menghambat pertumbuhan patogen tular tanah *Rhizoctonia solani* (-50% hingga -80% pada konsentrasi perlakuan 0,8 mM, perhitungan didasarkan pada perbedaan berat miselia antara perlakuan dibandingkan control. Angka negatif menunjukkan penghambatan pertumbuhan miselia) sedangkan untuk *Sclerotium rolfsii* (-60% hingga -90% pada konsentrasi 0,8 mM) (Weidenborner *et al.* 1990).

Selain sebagai senyawa untuk mempertahankan diri dari infeksi patogen, *phytoalexin* isoflavon ditemukan dengan konsentrasi lebih tinggi pada saat terjadi interaksi antara tanaman kedelai dengan mikroorganisme yang bermanfaat, seperti pada saat terjadinya simbiosis mutualisme dengan rhizobium. Daidzein, genistein dan coumestrol disintesis dan berfungsi sebagai sinyal pada saat terjadi simbiosis antara kedelai dengan *Bradyrhizobium* sp. Ketiga senyawa ini secara khusus menginduksi transkripsi gen-gen pembentuk bintil akar (*nod*, *nol*) pada *Bradyrhizobium japonicum* (Dakora & Philips 1996).

Perkembangan penelitian ilmu pangan terutama pangan fungsional mampu mengungkap bahwa beberapa metabolit sekunder yang disintesis tanaman kedelai yang sebelumnya hanya dipandang sebagai senyawa untuk mempertahankan diri terhadap infeksi patogen, akhir-akhir ini terbukti bermanfaat untuk kesehatan manusia. Isoflavon berpotensi sebagai pelengkap atau alternatif terapi kimia untuk mengatasi masalah kesehatan jangka panjang yang berhubungan dengan menopause dan osteoporosis. Pasca menopause, ovarium menghentikan produksi hormon estrogen. Karena estrogen berperan dalam metabolisme kalsium, kekurangan estrogen menjadi salah satu penyebab penipisan tulang atau tulang rapuh (Gallagher 2001). Konsumsi isoflavon kedelai juga memiliki manfaat mencegah kanker. Banyak studi epidemiologi menghubungkan antara konsumsi kedelai dengan berkurangnya resiko terkena kanker, sebagai contoh adalah konsumsi kedelai mampu mengurangi resiko kanker endometrium (Goodman *et al.* 1997), kanker payudara (Zheng *et al.* 1999) dan kanker prostat (Barnes *et al.* 1995).

## **2. *Phytoalexin* pada kacang tanah dan manfaatnya untuk kesehatan**

Senyawa metabolit sekunder yang ditemukan terbanyak pada genus *Arachis* adalah turunan phenilpropanoid, terutama stilbene dan flavonoid (Lopes *et al.* 2011). Ketika berinteraksi dengan patogen, tanaman kacang tanah mampu menghasilkan *phytoalexin* turunan stilbene sebagai mekanisme ketahanan terhadap infeksi (Sobolev *et al.* 2011). Senyawa stilbene dan turunannya juga dapat diproduksi oleh tanaman dan biji sehat (Lopes *et al.* 2011; Sanders *et al.* 2000). Pada saat tanaman di lapang, meskipun tanaman dalam kondisi sehat, interaksi dengan mikroorganisme sekitar dan cekaman lingkungan adalah hal yang tidak mungkin dihindari yang berpotensi mampu memicu terbentuknya *phytoalexin* meskipun dengan konsentrasi yang rendah (Chen *et al.* 2002).

*Phytoalexin cis-* dan *trans-resveratrol* (3,5,4'-trihidroksistilbene) yang merupakan senyawa fenol turunan stilbene dengan kisaran konsentrasi 38–55  $\mu\text{g/ml}$  berhasil diisolasi dari hipokotil kacang tanah setelah infeksi *Helminthosporium carbonum*. Perkecam-

bahan spora jamur terhambat dengan terbentuknya kedua metabolit sekunder tersebut. Dosis efektif ( $ED_{50}$ ) dari *trans-resveratrol* adalah  $50 \mu\text{g/ml}$  (Ingham 1976). Pada percobaan yang lain didapatkan hasil bahwa perkecambahan spora dan pertumbuhan miselia *Aspergillus flavus* dihambat oleh senyawa stilbene, 3-isopentadienil-4,3',5'-trihidroksistilbene pada konsentrasi ( $ED_{50}$ ) 14 dan  $11,3 \mu\text{g/mL}$  (Cooksey *et al.* 1988). Arachidin-1, arachidin-2, dan arachidin-3 yang diisolasi dari kacang tanah dengan perlakuan pengirisan biji juga mampu menghambat perkecambahan spora dan pertumbuhan miselia *A. flavus*. Nilai  $ED_{50}$  untuk perkecambahan spora adalah sebesar 12,8; 12,7 dan  $8,9 \mu\text{g/mL}$  untuk Arachidin-1, arachidin-2, dan arachidin-3, sedangkan  $ED_{50}$  untuk penghambatan pertumbuhan miselia lebih rendah dibandingkan dengan perkecambahan spora, yaitu sebesar 4,9; 6,8 dan  $9,7 \mu\text{g/ml}$  (Wotton & Strange 1985).

Pada awalnya, penelitian resveratrol banyak difokuskan pada buah dan minuman anggur. Penelitian epidemiologi mampu membuktikan bahwa kejadian penyakit jantung koroner lebih sedikit dijumpai pada populasi peminum anggur yang berkorelasi positif dengan kandungan resveratrol didalamnya (Hegsted & Ausman 1988; Renaud & de Lorgeril 1992). Resveratrol dengan konsentrasi tinggi ditemukan pada kulit buah anggur merah yang merupakan penyusun minuman anggur merah. Minuman anggur merah mengandung  $0,2\text{--}5,8 \text{ mg/l}$  resveratrol, tergantung pada varietas buah anggur, sedangkan minuman anggur putih mempunyai kandungan yang lebih sedikit dikarenakan dibuat tanpa kulit buah (Boue *et al.* 2009). Resveratrol, arachidin-1, dan piceatannol pada kacang tanah terbukti mempunyai aktivitas anti pembengkakan. Ketiga senyawa ini juga mempunyai daya sitotoksik dan daya hambat terhadap inisiasi, pertumbuhan dan pembentukan sel tumor. Khususnya resveratrol, metabolit sekunder ini berfungsi sebagai anti mutagen karena mampu menginduksi quinone reduktase yang mampu mendetoksifikasi penyebab kanker/karsinogen (Lopes *et al.* 2011).

Arachidin-1 dan arachidin-3, isopentadienilresveratrol, dan resveratrol yang diisolasi dari perkecambahan biji kacang tanah bermanfaat sebagai antioksidan dan anti pembengkakan. Arachidin-1 menunjukkan kapasitas antioksidan yang sama dengan *butylated hydroxytoluene* (BHT). Beberapa penelitian mengindikasikan bahwa resveratrol menginduksi kematian sel leukemia HL-60 pada manusia dan aktivitas anti kanker senyawa stilbene ini juga berhasil diujikan pada sel-sel kanker lain yang mempunyai garis silsilah yang sama dengan HL-60. Arachidin-1 mempunyai efikasi tertinggi untuk menginduksi kematian sel HL-60 dengan angka konsentrasi efektif ( $EC_{50}$ ) 4 kali lebih rendah daripada resveratrol. Senyawa ini yang mengakibatkan degradasi kromosom dan kematian sel (Huang *et al.* 2010; Lopes *et al.* 2011).

## Peluang dan Tantangan

Dari sudut pandang ilmu penyakit tanaman, *phytoalexin* dikenal sebagai mekanisme penting bagi tanaman untuk melindungi diri terhadap infeksi patogen. Hal ini membuka peluang dan harapan bahwa *phytoalexin* dapat digunakan sebagai pestisida alami. Sampai saat ini peluang ini menjanjikan mengingat banyaknya penelitian yang diarahkan untuk menginduksi senyawa-senyawa metabolit sekunder ini. Biosintesis *phytoalexin* dapat diinduksi dengan menggunakan cekaman biotik dan abiotik yang meliputi perlakuan luka, suhu rendah, sinar UV dan mikroorganisme non patogen. *Phytoalexin* dapat diinduksi pada saat sebelum panen maupun pasca panen.

Salah satu contoh induksi *phytoalexin* pada tanaman Leguminosae dengan menggunakan *elicitor* biotik pada saat sebelum panen adalah aplikasi *Streptomyces melanosporofaciens* dengan cara penyemprotan daun kedelai pada pembentukan polong. Aplikasi spora  $2,5 \times 10^5$  dan  $2,5 \times 10^9$  per mL mampu meningkatkan konsentrasi isoflavon. Aplikasi spora  $2,5 \times 10^5$  menaikkan kandungan daidzein, genistein dan glycitein dari 310, 242 dan  $126 \mu\text{g/g}$  pada kontrol menjadi 448, 380 dan  $171 \mu\text{g/g}$ , sedangkan aplikasi spora  $2,5 \times 10^9$  per mL meningkatkan ketiga metabolit sekunder menjadi 542, 328 dan  $191 \mu\text{g/g}$ . Total isoflavon juga mengalami kenaikan dari  $678 \mu\text{g/g}$  pada kontrol menjadi 999 dan  $1062 \mu\text{g/g}$  pada perlakuan penyemprotan spora  $2,5 \times 10^5$  dan  $2,5 \times 10^9$  per mL atau mengalami kenaikan sebesar 47 dan 57% (Al-Tawaha *et al.* 2005).

Induksi abiotik dengan perlakuan mereduksi ukuran biji dan luka dengan cara pengirisan, pencacahan dan penggerusan pada pasca panen kacang tanah mampu menurunkan atau meningkatkan kadar *trans-resveratrol* (Rudolf & Resurreccion 2005). Penggerusan biji kacang tanah menurunkan kadar *trans-resveratrol* menjadi  $0,65 \pm 0,26 \mu\text{g/g}$  dari  $0,96 \pm 0,22 \mu\text{g/g}$  (pada biji kacang tanah utuh) setelah 24 jam inkubasi. Dua perlakuan lainnya, yaitu pengirisan dan pencacahan meningkatkan *trans-resveratrol* menjadi  $1,43 \pm 0,54$  dan  $1,47 \pm 0,67 \mu\text{g/g}$  dibandingkan dengan kandungan pada biji kacang tanah utuh ( $0,96 \pm 0,22 \mu\text{g/g}$ ). Perlakuan dengan pengirisan secara konsisten mampu meningkatkan *trans-resveratrol* setelah inkubasi 48 jam, dari  $1,44 \pm 0,43 \mu\text{g/g}$  pada biji kacang tanah utuh menjadi  $2,15 \pm 0,63 \mu\text{g/g}$  atau mengalami kenaikan sekitar 50% (Rudolf & Resurreccion 2005).

Adanya hubungan positif antara *phytoalexin* dengan kesehatan manusia tidak hanya menarik perhatian dari segi peningkatan kualitas produk pertanian saja, tetapi juga dari segi rekomendasi mengkonsumsi makanan penunjang kesehatan. Hal ini dapat dilihat dengan banyaknya penelitian yang mengkaitkan antara eksplorasi, identifikasi dan induksi *phytoalexin* dengan potensi untuk kesehatan serta studi epidemiologi setelah mengkonsumsi makanan dengan kandungan *phytoalexin* tertentu (Boue *et al.* 2009). Kenyataan ini membuka peluang sekaligus tantangan selain bagaimana meningkatkan kuantitas hasil panen per luasan lahan, kualitas hasil pertanian sudah saatnya perlu diperhatikan dan diteliti serta mendapat prioritas penelitian yang sama. Produksi *phytoalexin* pada tanaman terbukti dapat ditingkatkan dengan cekaman biotik dan abiotik. Hal ini membuka peluang penelitian yang melibatkan integrasi berbagai disiplin ilmu, tidak hanya terbatas pada ilmu penyakit tanaman atau perlindungan tanaman, sebagai contoh adalah penelitian cekaman abiotik menggunakan radiasi sinar UV dan perlakuan luka karena aktivitas bercocok tanam dapat didekati dari disiplin ilmu agronomi dan penelitian pola pewarisan senyawa metabolit sekunder didekati dari disiplin pemuliaan tanaman.

## KESIMPULAN

1. *Phytoalexin* pada tanaman kacang-kacangan mempunyai dua keuntungan, baik ditinjau dari perlindungan tanaman karena berpotensi sebagai senyawa untuk melindungi tanaman terhadap infeksi patogen maupun ditinjau dari segi manfaat metabolit sekunder tersebut untuk penunjang kesehatan manusia. Hal ini membuka wacana baru untuk mengintegrasikan penelitian *phytoalexin* dan pangan fungsional.
2. Beberapa *elicitor phytoalexin* berasal dari faktor biotik dan abiotik. Terbatasnya publikasi yang berkaitan dengan eksplorasi dan optimasi pengaruh faktor biotik dan

abiotik terhadap *phytoalexin* terutama pada tanaman kedelai dan kacang tanah membuka peluang lebar untuk mengkaji lebih dalam metabolit sekunder kedua komoditas ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Tawaha AM, Seguin P, Smith DL, Beaulieu C. 2005. Biotic elicitors as a means of increasing isoflavone concentration of soybean seeds. *Annals of Appl Biol*, 146, 303-310.
- Barnes S, Peterson TG, Coward L. 1995. Rationale for the use of genistein-containing soy matrices in chemoprevention trials for breast and prostate cancer. *J of Cell Biochem*, 59, 181-187.
- Barz W, Welle R. 1992. Biosynthesis and metabolism of isoflavones and pterocarpin phytoalexins in chickpea, soybean and phytopathogenic fungi. *Recent Advances in Phytochemistry*, 26, 139-164.
- Boue SM, Cleveland TE, Carter-Wientjes C, Shih BY, Bhatnagar D, McLachlan JM, Burow ME. 2009. Phytoalexin-enriched functional foods. *J of Agric and Food Chem*, 57, 2614-2622.
- Chen RS, Wu PL, Chiou RYY. 2002. Peanut roots as a source of resveratrol. *J of Agric and Food Chem*, 50, 1665-1667.
- Cooksey CJ, Garratt PJ, Richards SE, Strange RN. 1988. A dienyl stilbene phytoalexin from *Arachis hypogaea*. *Phytochemistry*, 27, 1015-1016.
- Coward L, Smith M, Kirk M, Barnes S. 1998. Chemical modification of isoflavones in soyfoods during cooking and processing. *The American J of Clin Nutr*, 68, 1486S-1491S.
- Cruikshank IAM, Perrin DR. 1960. Isolation of a phytoalexin from *Pisum sativum* L. *Nature*, 187, 799-800.
- Dakora FD, Phillips DA. 1996. Diverse functions of isoflavonoids in legumes transcend antimicrobial definitions of phytoalexins. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 49, 1-20.
- Darvill AG, Albersheim P. 1984. Phytoalexins and their elicitors-a defense against microbial infection in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35, 243-275.
- Dixon RA, Bhattacharyya MK, Harrison MJ, Faktor O, Lamb CJ, Loake G, Ni Weiting OA, Paiva N. 1993. Transcriptional regulation of phytoalexin biosynthetic genes. *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture*, 14, 497-509.
- Gallagher JC. 2001. Role of estrogens in the management of postmenopausal bone loss. *Rheumatic Disease Clinics of North America*, 27, 143-162.
- Goodman MT, Wilkens LR, Hankin JH, Lyu LC, Wu AH & Kolonel LN. 1997. Association of soy and fiber consumption with the risk of endometrial cancer. *American Journal of Epidemiology*, 146, 294-306.
- Graham TL, Kim JE, Graham MY. 1990. Role of constitutive isoflavone conjugates in the accumulation of glyceollin soybean infected with *Phytophthora megasperma*. *Molecular Plant-microbe Interactions*, 3, 157 – 166.
- Graham TL, Graham MY. 1991. Glyceollin elicitors induce major but distinctly different shifts in isoflavonoid metabolism in proximal and distal soybean cell populations. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 4, 60-68.
- Hegsted DM, Ausman LM. 1988. Diet, alcohol and coronary heart disease in men. *The Journal of nutrition* 118, 1184-1189.

- Huang CP, AU LC, Chiou RYY, Chung PC, Chen SY, Tang WC, Chang CL, Fang WH, Lin SB. 2010. Arachidin-1, a peanut stilbenoid, induces programmed cell death in human leukemia HL-60 cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 12123-12129.
- Ingham JL. 1976. 3,5,4'-trihydroxystilbene as a phytoalexin from groundnuts (*Arachis hypogaea*). *Phytochemistry*, 15, 1791-1793.
- Ingham JL. 1982. Phytoalexins, Goslow/Longon, Blackie and Sons.
- Kramer RP, Hindorf H, Jha HC, Kallage J, Zilliken F. 1984. Antifungal activity of soybean and chickpea isoflavones and their reduced derivatives. *Phytochemistry*, 23, 2203-2205.
- Kuch J. 1982. Phytoalexins from the Solanaceae. *Phytoalexins*.
- Kuc J. 1995. Phytoalexins, stress metabolism, and disease resistance in plants. *Annual Review of Phytopathology*, 33, 275-297.
- Kuc J, Rush JS. 1985. Phytoalexins. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 236, 455 – 472.
- Leterme P, Muunoz LC. 2002. Factors influencing pulse consumption in Latin America. *British Journal of Nutrition*, 88, 251-254.
- Lopes RM, Agostini-Costa TNDS, Gimenes MA, Silveira DM. 2011. Chemical composition and biological activities of *Arachis* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 4321-4330.
- Macias FA, Galindo JLG, Galindo JCG. 2007. Evolution and current status of ecological phytochemistry. *Phytochemistry*, 68, 2917-2936.
- Montoya CA, Lalles JP, Beebe S, Leterme P. 2010. Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, 43, 443-449.
- Nicholson RL, Hammerschmidt R. 1992. Phenolic compounds and their role in disease resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 30, 369-389.
- Paxton JD. 1991. Biosynthesis and accumulation of legume phytoalexins. In: SHARMA, R. P. & SALUNKHE, D. K. (eds.) *Mycotoxins and Phytoalexins*. Boca, Raton, FL: CRC Press.
- Peters RJ. 2006. Uncovering the complex metabolic network underlying diterpenoid phytoalexin biosynthesis in rice and other cereal crop plants. *Phytochemistry*, 67, 2307-2317.
- Renaud S, De Lorgeril M. 1992. Wine, alcohol, platelets, and the French paradox for coronary heart disease. *The Lancet*, 339, 1523-1526.
- Rizk AF, Wood GE, Salunkhe DK. 1980. Phytoalexins of leguminous plants. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 13, 245-295.
- Roberfroid MB. 2000. Defining functional foods. In: GIBSON, G. R. & WILLIAMS, C. M. (eds.) *Functional Foods Concept to Products*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Rochfort S, Panozzo J. 2007. Phytochemicals for health, the role of pulses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 7981-7994.
- Rudolf JR, Resurreccion AVA. 2005. Elicitation of Resveratrol in peanut kernels by application of abiotic stresses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 10186-10192.
- Sanders TH, McMichael RW, Hendrix KW. 2000. Occurrence of Resveratrol in edible peanuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1243-1246.
- Sobolev VS, Khan SI, Tabanca N, Wedge DE, Manly SP, Cutler SJ, Coy MR, Becnel JJ, Neff SA, Gloer JB. 2011. Biological activity of peanut (*Arachis hypogaea*) phytoalexins and

- selected natural and synthetic stilbenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 1673-1682.
- Tharanathan RN, Mahadevamma S. 2003. Grain legumes—a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 507-518.
- VanEtten HD, Mansfield JW, Bailey JA, Farmer EE. 1994. Two classes of plant antibiotics: phytoalexins versus "phytoanticipins". *The Plant Cell Online*, 6, 1191-1192.
- Weidenborner M, Hindorf H, Chandra JH, Tsotsonos P, Egge H. 1990. Antifungal activity of isoflavonoids in different reduced stages on *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii*. *Phytochemistry*, 29, 801-803.
- West CA, Lois AF, Wickham KA, Ren YY. 1990. Diterpenoid phytoalexins: biosynthesis and regulation. *Recent Advances in Phytochemistry*, 24, 219-248.
- Wotton HR, Strange RN. 1985. Circumstantial evidence for phytoalexin involvement in the resistance of peanuts to *Aspergillus flavus*. *Journal of General Microbiology*, 131, 487-494.
- Zheng W, Dai Q, Custer LJ, Shu XO, Wen WQ, Jin F, Franke AA. 1999. Urinary excretion of isoflavonoids and the risk of breast cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 8, 35-40.