

Kedelai sebagai Bahan Pangan Kaya Isoflavon

Soybean as a functional food rich in isoflavones

Rahmi Yulifianti*, Siti Muzaiyanah, dan Joko Susilo Utomo

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
Jl. Raya Kendalpayak. KM 8. PO Box 66 Malang 65101

*e-mail: rahmi_stp@yahoo.com

NASKAH DITERIMA 26 JULI 2018; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 16 NOVEMBER 2018

ABSTRAK

Kedelai potensial sebagai bahan pangan fungsional, di samping sebagai sumber protein. Hal ini berkaitan dengan keberadaan 12 jenis isoflavon pada biji kedelai, baik dalam bentuk glikosida maupun aglikon. Senyawa isoflavon bermanfaat bagi kesehatan karena memiliki aktivitas antioksidan yang dapat mencegah kanker payudara, kanker kolon, osteoporosis, dan penyakit-penyakit degeneratif seperti penuaan dini, jantung koroner dan hipertensi, serta mengurangi sindrom menopause pada wanita. Kandungan isoflavon pada biji kedelai bervariasi dari 128 hingga 380 mg/100 g, dan yang dominan adalah genistein dan daidzein. Varietas unggul kedelai Devon 1 mengandung total isoflavon 221,97 mg/100 g dan varietas Devon 2 mengandung 30,37 mg/100 g untuk total genistein dan daidzein, sehingga masih terbuka peluang untuk meningkatkan kandungan isoflavon melalui perakitan varietas baru. Selain faktor genetis, kandungan isoflavon kedelai juga dipengaruhi oleh musim tanam, umur panen, pengairan, sinar UV dan kandungan unsur hara tanah, serta proses pengolahan. Perkecambahan dan fermentasi meningkatkan kandungan isoflavon, dan pemanasan dapat mengubah struktur kimia isoflavon. Tingkat konsumsi protein kedelai 25 g/hari atau setara asupan isoflavon 37-62 mg/hari diperkirakan dapat memenuhi 83% dari kebutuhan isoflavon harian yang dianjurkan.

Kata kunci: kedelai, isoflavon, pangan fungsional.

ABSTRACT

Soybean is potential as a functional food, in addition to a source of protein. This is related to the presence of 12 isoflavones in soybean seeds, both in the forms of glycosides and aglycones. Isoflavone compounds are beneficial for health as they have antioxidant activities that can prevent breast cancer, colon cancer, osteoporosis, and degenerative diseases such as premature aging, coronary heart disease and hypertension as well as reduce menopausal syndromes in women. The content of isoflavones in soybean seed varies from 128 to 380 mg/100 g, which predominantly consists of genistein and daidzein. Devon 1 as an improved soybean variety contains total isoflavones of 221.97 mg/100 g and

Devon 2 variety, reflecting the possibility to increase isoflavone content through breeding of new varieties. In addition to genetics, isoflavone content in soybean is also affected by growing season, maturity, irrigation, UV light, soil nutrients and processing. Germination and fermentation considerably increase the isoflavone content, however it decreases during heating due to change of chemical structure. The consumption of 25 g of soy protein per day, which is equivalent to 37-62 mg of isoflavone intake, can meet 83% of the recommended daily requirements for isoflavones.

Keywords: soybean, isoflavones, functional food

PENDAHULUAN

Peningkatan kesejahteraan berdampak pada perubahan gaya hidup dan pola makan masyarakat. Perubahan ini berkaitan erat dengan munculnya berbagai penyakit degeneratif seperti kanker, obesitas, diabetes, jantung koroner, dan hipertensi (Marsono 2008). Prevalensi penyakit degeneratif dapat ditekan dengan mengonsumsi bahan pangan kaya antioksidan. Salah satu diantaranya adalah biji kedelai yang mengandung senyawa isoflavon yang termasuk dalam kelompok flavonoid sebagai penghasil antioksidan alami (Astuti *et al.* 2009, Zaheer dan Akhtar 2017). Isoflavon merupakan senyawa metabolit sekunder yang dengan kemampuan antioksidannya dapat menghambat aktivitas enzim penyebab kanker (anti kanker), di antaranya kanker payudara, kanker prostat, dan kanker kolon (Astawan dan Febrinda 2009; Patisaul dan Jefferson 2010; Loibl *et al.* 2011; Karyasa *et al.* 2014), mencegah penyakit-penyakit degeneratif seperti penuaan dini, dan osteoporosis, mengurangi risiko penyakit kardiovaskular, serta mengurangi sindrom menopause pada wanita (Wong *et al.* 2008; Xiao 2008; Loibl *et al.* 2011; Taku *et al.* 2012; Zhang *et al.* 2012; Zuniga *et al.* 2013; Hazim *et al.* 2016; Anani dan Mahmudiono 2018).

Di Indonesia, sekitar 83,7% kedelai digunakan sebagai bahan pangan, terutama dalam bentuk tempe dan tahu dengan tingkat konsumsi 14,13 kg/kapita/tahun, 14,7% untuk kecap dan tauco,

sisanya untuk susu kedelai, kecambah, dan lain-lain (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian 2015). Produksi kedelai nasional hanya mampu memenuhi 65,6% kebutuhan konsumsi dalam negeri (FAO 2013), sehingga kekurangan tersebut harus dipenuhi melalui impor. Oleh karena itu, sejak tahun 2015 telah ditetapkan sasaran utama pembangunan pertanian yaitu penguatan ketahanan pangan, termasuk salah satu di antaranya peningkatan produksi kedelai sebesar 0,9 juta ton/tahun dan mencapai swasembada pada tahun 2020 (Bappenas 2014). Upaya ini dilakukan dengan memperluas areal tanam kedelai, introduksi varietas unggul berpotensi hasil tinggi, penerapan teknologi budi daya spesifik lokasi, penetapan harga pembelian di tingkat petani (HPP), dan promosi keunggulan kedelai lokal, diantaranya yang mengandung isoflavon tinggi dan sangat bermanfaat bagi kesehatan manusia.

Kandungan isoflavon pada biji kedelai bervariasi antara 128 hingga 380 mg/100 g (USDA 2008; Murni *et al.* 2013) dan antara 80,7 hingga 213,6 mg/100 g (Mujiæ *et al.* 2011), bergantung varietas/genotipe kedelai, lingkungan dan kondisi lingkungan tumbuh tanaman, budi daya, dan penanganan pascapanennya (Berger *et al.* 2008; Jung *et al.* 2012; Hasanah *et al.* 2015). Kandungan isoflavon dalam bentuk makanan berbeda dengan kandungan awalnya pada biji karena pengaruh proses pengolahan, seperti fermentasi meningkatkan kandungan isoflavon, pemanasan menurunkan isoflavon (Utari *et al.* 2010; Zaheer dan Akhtar 2017).

Dalam perakitan dan pelepasan varietas unggul kedelai, selain aspek potensi hasil, aspek fungsional/manfaat kesehatan juga telah dipertimbangkan dengan dilepasnya dua varietas kedelai yang kaya isoflavon yakni Devon 1 (total isoflavon 2.219,7 µg/g atau 221,97 mg/100 g) dan Devon 2 (total genistein dan daidzein 303,7 µg/g atau 30,37 mg/100 g) (Balitkabi 2016). Namun demikian, kandungan isoflavon kedua varietas tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan beberapa genotipe kedelai dari China, Jepang, maupun Brazil yang mengandung lebih dari 447,5 mg/100 g biji, sehingga masih terbuka peluang untuk meningkatkan kandungan isoflavon kedelai di Indonesia.

Selain kandungan isoflavon, informasi besarnya asupan isoflavon yang tepat juga penting dari aspek manfaatnya terhadap kesehatan. Tingkat konsumsi protein kedelai 25 g per hari atau setara dengan asupan isoflavon 37-62 mg, dinyatakan telah memenuhi 83% kebutuhan isoflavon harian yang dianjurkan (Sabuluntika dan Ayustaningwarno 2013). Jika isoflavon dikonsumsi minimal 35 mg/hari atau kira-kira sama dengan tiga potong tempe ukuran

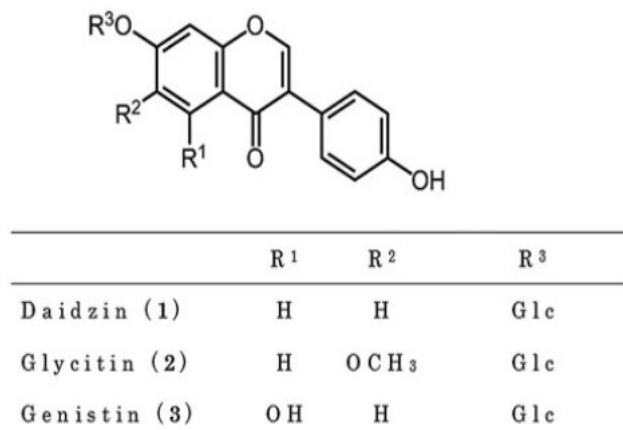
sedang, akan nyata perannya dalam menurunkan kadar lipid darah (Utari *et al.* 2010). Sebagian besar negara di kawasan Asia mengkonsumsi isoflavon 25-45 mg/hari, dan Jepang menunjukkan angka tertinggi (200 mg/hari), sedangkan di negara-negara barat konsumsinya kurang dari 5 mg/hari (Astawan dan Febrinda 2009). Makalah ini membahas tentang senyawa isoflavon pada kedelai, manfaatnya bagi kesehatan, pengaruh budi daya dan pengolahan serta varietas kedelai kaya isoflavon.

ISOFLAVON SEBAGAI KOMPONEN BIOAKTIF KEDELAJ

Isoflavon merupakan senyawa bioaktif yang memiliki aktivitas biologi seperti estrogen, sehingga seringkali disebut sebagai fitoestrogen. 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 merupakan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman, yang dapat berfungsi mencegah terjadinya kerusakan sel akibat radikal bebas (Muchtadi 2012; Cahyati *et al.* 2013).

Pada biji kedelai terdapat 12 jenis isoflavon yang terdapat dalam bentuk glikosida (terikat pada molekul gula) dan bentuk aglikon (tidak mengikat molekul gula), yakni daidzein dengan tiga glikosida konjugasinya (daidzin, asetildaidzin, dan malonil-daidzin), genistein dengan tiga glikosida konjugasinya (genistin, asetilgenistin, dan malonilgenistin), dan glisitein dengan tiga glikosida konjugasinya (glisitin, asetilglisitin, dan malonilglisitin) (Sun *et al.* 2011; Muchtadi 2012).

Isoflavon pada kedelai dalam bentuk glikosida (terikat pada molekul gula) yaitu genistin, daidzin, dan glisitin (Gambar 1) yang kemudian menjadi senyawa aglikon apabila terfermentasi atau dalam bentuk produk olahan yang dicerna dalam usus halus manusia, kemudian dihidrolisis oleh enzim α -glukosidase. Isoflavon dalam bentuk aglikon disebut genistein (5,7,4-trihidroksiisoflavon), daidzein (7,4-dihidroksiisoflavon), dan glisitein (7,4 dihidroksi-6-metoksiisoflavon), yang juga disebut sebagai isoflavonoid (Isanga dan Zhang 2008; Zaheer dan Akhtar 2017). Isoflavon dalam bentuk aglikon lebih mudah diserap oleh usus halus dan memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi. Isoflavon utama dalam kedelai adalah genistein dan daidzein dalam bentuk bebas maupun terkonjugasi, masing-masing sebesar 60% dan 30% dari total isoflavon. Sedangkan kelompok glisitein adalah komponen minor (10%)



Gambar 1. Struktur kimia isoflavon pada biji kedelai. Sumber: Oshima *et al.* (2016).

dalam total isoflavon kedelai (Zaheer dan Akhtar 2017). Terdapat 3,5 mg isoflavon per gram protein (setara dengan berat aglikon) dalam satu porsi makanan tradisional berbahan baku kedelai (Messina 2014).

MANFAAT ISOFLAVON KEDELAI BAGI KESEHATAN

Isoflavon adalah flavonoid utama dalam biji kedelai yang memiliki potensi sebagai antioksidan yang mampu mengikat radikal bebas dan mencegah reaksi berantainya (Yoon dan Park 2014). Di antara senyawa isoflavon, aktivitas antioksidatif tertinggi dimiliki isoflavon aglikon, terutama genistein (Suarsana *et al.* 2012; Fawwaz *et al.* 2017). Sirkulasi isoflavon dalam darah bersifat kompleks, karena sebagian larut dalam lemak dan sebagian lagi terikat protein dengan kekuatan lemah. Untuk masuk ke dalam sirkulasi plasma dalam darah, senyawa isoflavon dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti waktu konsumsi, usia seseorang, dan jumlah isoflavon yang dikonsumsi. Kadar isoflavon tertinggi di dalam plasma ditemukan pada jam ke-6 setelah pemberian secara oral. Pemberian isoflavon dengan dosis 2 mg/200 g bb diduga dapat menurunkan kadar glukosa dalam keadaan hiperglikemia, mempunyai efek hipokolesterolemia, menurunkan kadar trigliserida, dan meningkatkan kadar *High Density Lipoprotein* (HDL) (Suarsana *et al.* 2012). Kebutuhan tubuh manusia terhadap asupan isoflavon berbeda-beda tergantung berat badan, yakni 0,44 mg/kg berat badan per hari. Dari hasil uji klinis pada manusia disimpulkan bahwa konsumsi kedelai sebanyak 102 mg/hari dapat menurunkan *Low Density Lipoprotein* (LDL) 4,98% dan meningkatkan HDL 3,00% (Taku *et al.* 2007), serta mengurangi tekanan darah sistolik dan diastolik masing-masing 9,9% dan 6,8% pada wanita hipertensi (Welty *et al.* 2007). Dalam bentuk olahan, konsumsi susu kedelai relatif lebih cepat

memenuhi kebutuhan tubuh akan isoflavon dibandingkan tempe dan sayuran.

Melalui studi *in vitro*, isoflavon kedelai diduga dapat menghambat kerja enzim tirosin kinase, sehingga dapat mencegah perkembangan sel-sel kanker, diantaranya kanker payudara (Kang *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2010), dan kanker prostat (Mahoney *et al.* 2012). Genistein bermanfaat dalam memperbaiki sel, metabolisme glukosa dan lemak, serta melindungi sel β -pankreas (Choi 2008), juga dapat menurunkan obesitas (Yao *et al.* 2010), sehingga dapat mencegah terjangkitnya penyakit jantung, mencegah diabetes dengan meningkatkan daya tahan terhadap enzim diabetes (Rahadiyanti 2011; Bhattamisra *et al.* 2013), memperbaiki sistem protein pada jaringan hati (Yoon *et al.* 2014), dan dapat mencegah apoptosis sel berlebihan pada cedera jaringan hati (Tejasari *et al.* 2013).

Pada wanita yang mengalami menopause, isoflavon sangat berguna untuk mencegah pengeroposan tulang (Liu *et al.* 2007; Huang dan Chou 2009), penurunan daya ingat (Santos-Galduroz *et al.* 2010), dan mencegah arterosklerosis (Yang dan Zhang 2009; Cvejic *et al.* 2011). Isoflavon juga dapat meningkatkan kesuburan dengan adanya kemampuan isoflavon dalam meningkatkan hormon testosteron dan sel sperma (Astuti 2008; Jacobsen *et al.* 2014).

VARIETAS/GALUR KEDELAI KAYA ISOFLAVON

Isoflavon terdapat pada banyak spesies tanaman, tetapi tanaman kacang-kacangan, terutama kedelai mempunyai kandungan isoflavon tertinggi (Ariani dan Handayani 2009; Rivaldi 2010; Winarsi *et al.* 2010). Kandungan isoflavon pada biji kedelai bervariasi tergantung pada genetik (varietas) dan asalnya. Varietas Wilis mengandung isoflavon cukup tinggi, yaitu 106,9 mg/100 g biji (Krisnawati dan Adie 2009). Upaya peningkatan kandungan isoflavon pada biji kedelai melalui perakitan varietas baru terus dilakukan seiring dengan meningkatnya kesadaran dan kebutuhan masyarakat akan pangan sehat.

Krisnawati dan Adie (2009) melaporkan 12 galur harapan kedelai yang mengandung isoflavon lebih tinggi daripada varietas Wilis, yakni 117-176 mg/100 g biji (Tabel 1). Selanjutnya pada tahun 2015, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian melalui Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi) melepas varietas pertama yang kaya isoflavon, yakni Devon 1 dengan kandungan total isoflavon 2.219,7 μ g/g atau 221,97 mg/100 g (Balitkabi 2016). Angka ini relatif sama dengan kandungan isoflavon 204 varietas dari Amerika Serikat, China

Tabel 1. Kandungan isoflavon 12 galur harapan kedelai kaya isoflavon

Galur	Kandungan isoflavon (mg/100 g biji) *				Hasil (t/ha)
	Daidzein	Glisitein	Genistein	Total Isoflavon	
IAC 100/K (70)-1102(30)-1156/7	61,2	14,1	42,1	117,3	3,00
IAC 100/K (15)-1047(32)-1078/6	60,2	17,1	40,5	117,8	2,38
IAC 100/K (60)-1092(23)-1141/6	64,5	13,5	43,0	121,0	3,00
IAC 100/ K (67)-1099(13)-1147/16	65,2	14,5	42,6	122,3	3,00
B/IAC 100 (47)-678(13)-764/26	65,5	19,4	37,5	122,4	2,22
IAC 100/SHR-W60 (1)-252(1)-273/41	62,1	15,6	44,8	122,5	2,98
K/IAC 100 (71)-1011(32)-1041/19	64,7	16,1	46,7	127,5	2,98
IAC 100/K (5)-1037(23)-1062/15	65,6	19,5	42,9	127,9	3,52
K/IAC 100 (64)-1004(18)-1037/6	69,5	18,9	40,7	129,1	3,86
IAC 100/K (2)-1034(7)-1058/43	63,3	18,3	48,7	130,2	2,40
K/IAC 100 (57)-997(7)-1035/9	72,4	17,7	45,0	135,1	2,97
IAC 100/SHR-W60 (6)-257(10)-285/34	98,3	17,0	60,3	175,6	2,64

* Total isoflavon tanpa hidrolisis. Sumber: Krisnawati dan Adie (2009).

Tabel 2. Kandungan isoflavon pada biji kedelai asal Thailand dengan umur panen yang sama tetapi tanggal tanam berbeda

Varietas	Kandungan isoflavon (mg/100g)	
	19 Desember 2009	26 Desember 2009
Chiangmai 2	108 ± 0,04	68 ± 0,02
Chiangmai	93 ± 0,04	60 ± 0,02
Chiangmai 60	70 ± 0,03	90 ± 0,04
Chakkrabhandhu 1	76 ± 0,10	64 ± 0,04
KKU 35	165 ± 0,09	122 ± 0,02
Nakhon Sawan 1	113 ± 0,04	152 ± 0,04
SJ 1	149 ± 0,04	136 ± 0,01
SJ 2	199 ± 0,03	202 ± 0,04
SJ 4	108 ± 0,02	116 ± 0,08
SJ 5	144 ± 0,03	128 ± 0,08
Srisamrong 1	115 ± 0,01	119 ± 0,03
Sukhothai 1	65 ± 0,03	168 ± 0,06
Sukhothai 2	178 ± 0,03	71 ± 0,01
Sukhothai 3	188 ± 0,08	91 ± 0,03

Sumber: Teekachunhatean *et al.* (2013).

dan Korea, yakni 225,26 mg/100 g, dan terdapat satu varietas yang kandungan isoflavonnya mencapai 477,81 mg/100 g (Kim *et al.* 2012). Biji kedelai asal Kansas, Amerika Serikat dan Kroasia hampir sama kandungan isoflavonnya dengan kedelai asal Indonesia, yakni berturut-turut 130,3-201,5 mg/100 g dan 80,7-213,6 mg/100 g (Mujir *et al.* 2011).

Perbedaan kandungan isoflavon tersebut di atas disebabkan oleh perbedaan varietas/genotipe, lingkungan termasuk unsur hara pada masing-masing lingkungan tumbuh, budi daya, dan penanganan pascapanen (Berger *et al.* 2008; Jung *et al.* 2012; Hasanah *et al.* 2015). Lozovaya *et al.* (2005) melaporkan bahwa penanaman kedelai pada suhu 18 °C menghasilkan biji dengan kandungan isoflavon sekitar

337,1 mg/100 g dan sebesar 240,5 mg/100 g pada kadar lengas tanah 70%. Indonesia dengan suhu lingkungan sekitar 27 °C menghasilkan kedelai dengan kandungan isoflavon lebih rendah, yakni 117-176 mg/100 g karena ambang kritis suhu yang baik untuk meningkatkan isoflavon adalah 25 °C (Morrison *et al.* 2010).

PENGARUH BUDI DAYA TERHADAP KANDUNGAN ISOFLAVON KEDELAI

Sebanyak 80-90% isoflavon pada biji kedelai terdapat pada kotiledon, dan sisanya terdapat pada hipokotil (Hoeck *et al.* 2000). Tingkat kandungan isoflavon yang diperoleh dari biji kedelai bervariasi, tergantung pada genotipe, kualitas benih termasuk jangka waktu penyimpanan, budi daya, dan lingkungan (biotik dan abiotik). Varietas kedelai yang secara genetik berpotensi memiliki kandungan isoflavon tinggi dapat dikombinasikan dengan teknik budi daya yang baik untuk mendapatkan kandungan isoflavon yang maksimal. Faktor budi daya dan lingkungan, antara lain musim tanam (tanggal dan tahun tanam), umur panen, lokasi tanam, pengairan, sinar UV dan kandungan unsur hara tanah (Teekachunhatean *et al.* 2013; Hasanah *et al.* 2015). Varietas yang sama ditanam pada tahun yang sama, tetapi tanggal tanam berbeda menghasilkan kedelai dengan kandungan isoflavon berbeda (Tabel 2). Demikian pula untuk musim tanam yang berbeda. Menanam kedelai pada musim hujan (Oktober-Desember) menghasilkan kedelai dengan kandungan genistein, daidzein, glisitein, dan total isoflavon lebih tinggi dibandingkan kedelai yang ditanam pada musim kemarau (Juni-September) untuk varietas yang sama (Hasanah *et al.* 2015).

Suhu lingkungan juga sangat berpengaruh, terutama pada saat pengisian polong diperlukan suhu rendah (14,5°C– 24,3°C). Isoflavon sebagai salah satu komponen metabolit sekunder, sintesisnya juga terjadi bersamaan dengan pengisian polong, sehingga memerlukan suhu rendah (Hoeck *et al.* 2000; Kim *et al.* 2005). Pada fase tersebut enzim pemecah metabolit sekunder aktivitasnya menurun sehingga kandungan isoflavon pada biji meningkat dan akumulasinya dapat mencapai 30% (Gutierrez-Gonzalez *et al.* 2010; Kim *et al.* 2014). Ketersediaan lengas tanah pada fase pengisian polong juga menentukan kandungan isoflavon biji kedelai. Kandungan lengas tanah saat pengisian polong $\leq 50\%$ dari titik jenuhnya, kandungan isoflavon biji tinggi sedangkan kandungan lengas tanah mencapai 100% titik jenuh akan menghasilkan biji kedelai dengan kandungan isoflavon rendah (Al-Tawaha *et al.* 2007) karena unsur haranya tercuci (Vamerali *et al.* 2012).

Pemupukan berimbang selain mempengaruhi hasil panen kedelai, juga mempengaruhi kadar isoflavon biji. Selain unsur N, K adalah unsur kedua terbanyak dalam biji kedelai yang berperan dalam sintesis isoflavon yaitu sebagai esensial aktivator yang mengkatalisasi berbagai aktivitas metabolik pada biji kedelai (Vyn *et al.* 2002). Pada tanah yang kahat K (kurang dari 61 mg/L), penambahan pupuk kalium sebanyak 100 kg/ha dapat meningkatkan kandungan isoflavon kedelai secara signifikan. Sebaliknya, kandungan hara K lebih dari 61 mg/L tidak meningkatkan lagi kandungan isoflavon (Vyn *et al.* 2002).

Pemanenan dilakukan ketika tanaman sudah mencapai fase masak fisiologis, yaitu pada fase R8, karena saat itulah kandungan isoflavon pada biji mencapai titik optimum (Tabel 3). Posisi polong dan biji pada tanaman kedelai juga mempengaruhi kandungan isoflavon. Menurut Al-Tahawa (2010), polong dan biji yang berada 20 cm dari atas permukaan tanah mempunyai kandungan isoflavon lebih tinggi daripada yang berada di atasnya (lebih dari 20 cm). Selain itu, polong dan biji yang terdapat pada cabang tanaman kedelai juga berpotensi lebih tinggi kandungan isoflavonnya dibandingkan polong yang berada pada batang utama (Vamerali *et al.* 2012).

Isoflavon yang merupakan senyawa metabolit sekunder cenderung meningkat pada kondisi cekaman biotik maupun abiotik (Boué *et al.* 2009). Seperti yang dilaporkan oleh Ginting *et al.* (2018) bahwa galur Tgm/Anj-995 yang ditanam pada lahan kering masam di Lampung memiliki total isoflavon 200,2 mg/100 g, hampir sama dengan varietas Devon 1 dengan total isoflavon 221,97 mg/100 g yang ditanam pada lahan optimal.

Tabel 3. Kandungan isoflavon pada fase pengisian polong dan masak fisiologis

Varietas	Kandungan Isoflavon (mg/100 biji)			
	R6		R8	
	(pengisian polong)		(masak fisiologis)	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah
DT 97-4290	157,3	181,6	181,9	196,7
Hutcheson	156,6	175,1	163,3	186,2
Stressland	146,7	160,5	170,1	179,7
TracyM	159,1	189,7	176,7	201,6

Sumber: Bellaloui (2012).

Penelitian Yang *et al.* (2018) terhadap kedelai yang ditanam tumpangsari dengan tanaman jagung, kandungan aglikon dan malonilglukosida lebih rendah dibanding kedelai yang ditanam secara monokultur. Hal ini karena kondisi pencahayaan yang cukup memicu biosintesis isoflavon pada biji kedelai.

PENGARUH PENGOLAHAN TERHADAP KANDUNGAN ISOFLAVON PADA KEDELAI

Banyak faktor yang mempengaruhi kandungan dan komposisi isoflavon dalam makanan, antara lain karakteristik bahan mentah dan proses pengolahan (USDA 2008). Tahap pengolahan biji kedelai menjadi makanan siap saji dapat mengubah kandungan isoflavon awal yang terdapat dalam biji tersebut (Tabel 4). Tahap tersebut antara lain perendaman, pemanasan (pengukusan, perebusan, penggorengan), dan fermentasi.

Devi *et al.* (2009) melaporkan kandungan total isoflavon varietas kedelai asal India yang diolah menjadi beberapa produk diantaranya kecambah kedelai memiliki kandungan total isoflavon tertinggi dengan kisaran 602-794 mg/kg, lebih tinggi dibandingkan biji kedelai (568-730 mg/kg). Sedangkan kecap memiliki kandungan isoflavon terendah 32,9-53,8 mg/kg, susu kedelai berkisar 110-154 mg/kg, makanan dari kedelai 93,0-140 mg/kg, dan tepung kedelai 507-776 mg/kg. Produk sejenis dengan produsen yang berbeda dapat menghasilkan produk dengan kandungan isoflavon yang berbeda, karena bahan baku kedelai dan proses pengolahan yang berbeda mempengaruhi kandungan total isoflavonnya. Oleh karena itu, konsumsi isoflavon yang optimal perlu memperhatikan pemilihan bahan baku dan proses pengolahan yang tepat.

Pengecilan ukuran dan penghilangan lemak biji kedelai yang dilakukan pada suhu ruang tidak mengubah profil atau konsentrasi isoflavon. Namun

Tabel 4. Kadar isoflavon biji kedelai dan beberapa produk olahannya

Produk	Total isoflavon (mg/100 g)	Daidzein (mg/100 g)	Genistein (mg/100 g)
Biji kedelai	128,34	46,46	73,76
Pasta kedelai	54,16	26,71	27,45
Tepung kedelai berlemak	171,89	96,83	71,19
<i>Soy flour</i> (textured)	148,00	59,62	78,62
Tepung kedelai rendah lemak	131,19	57,47	71,21
Konsentrat protein kedelai (cair)	102,07	43,04	59,59
Isolat protein kedelai	97,43	33,59	59,62
Pangan: non-fermentasi			
Susu kedelai	9,65	4,45	6,06
Sari kedelai	7,01	2,41	4,60
Tahu	22,70	8,00	12,75
Tahu (goreng)	48,53	17,83	28,00
Tahu (soft)	29,24	8,59	20,65
Pangan: fermentasi			
Natto	58,93	21,85	29,04
Tempe	43,52	17,58	24,85
Miso	42,55	16,13	24,56
Keju kedelai (Amerika)	17,95	5,75	8,75
Keju kedelai (Monterey)	18,70	7,80	8,80
Yoghurt			

Sumber: USDA (2008).

demikian, penyosohan biji kedelai dapat menurunkan konsentrasi isoflavon karena terjadi penghilangan hipokotil. Perlakuan hidrotermal pada suhu 50°C selama 12 jam sebaiknya dilakukan dalam jumlah air yang sedikit untuk menghindari hilangnya/*leaching* isoflavon dan pembentukan aglikon juga lebih efisien dalam air yang jumlahnya sedikit. Hal ini layak direkomendasikan untuk pengembangan industri tepung kedelai yang kaya akan isoflavon aglikon (Goes-Favoni *et al.* 2010).

Pada kecambah kedelai, distribusi isoflavon pada bagian kecambah memiliki rasio yang berbeda bergantung pada tipe aglikonnya. Bagian hipokotil dideteksi banyak mengandung glisitein dibandingkan dengan bagian radikula dan kotiledon (Oshima *et al.* 2016). Isoflavon yang semula didominasi oleh genistein dan daidzein, berubah menjadi daidzein dan glisitein pada saat berkembang dari biji menjadi kecambah (Murni *et al.* 2013). Pada pembuatan tempe dan kecap, tahap lanjutan setelah perendaman adalah perebusan dan fermentasi. Proses perebusan yang dilakukan sekali, kandungan isoflavon biji menjadi 19,4 mg/100 g sedangkan perebusan yang dilakukan dua kali dapat meningkatkan kandungan isoflavon 47,4%, yaitu sebesar 28,6 mg/100 g (Utari *et al.* 2010). Dalam penelitian Aguiar (2010), perlakuan pemanasan pada suhu 121 °C selama 30 menit mengubah bentuk dari malonilglukosida ke bentuk glikosida. Hal ini berarti proses pemanasan tidak menurunkan kandungan isoflavon namun

mengubah bentuk struktur kimia isoflavon (Aguiar 2010).

Kadar isoflavon tempe jauh lebih tinggi dibandingkan dengan biji kedelai. Proses pemanasan biji kedelai pada awal pembuatan tempe memudahkan enzim α -glukosidase untuk tumbuh dan mengubah isoflavon terikat (glikosida) menjadi isoflavon tidak terikat (aglikon) pada saat proses fermentasi. Oleh sebab itu isoflavon yang dominan pada tempe adalah aglikon. Dalam bentuk aglikon, isoflavon lebih mudah terabsorpsi dibandingkan dalam bentuk glikosida (Utari *et al.* 2010). Namun, Aguiar (2003) melaporkan bahwa glikosida menurun secara signifikan selama fermentasi kedelai menjadi tempe oleh *Aspergillus oryzae* sedangkan jumlah aglikon tidak menunjukkan kecenderungan peningkatan yang stabil. Proses selanjutnya pengolahan tempe segar menjadi makanan siap santap juga berpengaruh terhadap kandungan isoflavon. Tingkat kehilangan isoflavon pada tempe yang dikukus sebesar 13,3% lebih kecil dibandingkan dengan direbus (18,2%) atau digoreng (39,15%) (Utari *et al.* 2010). Pengaruh panas seperti merebus dan mengukus telah meningkatkan aglikon dan β -glukosida isoflavon, tetapi menurunkan malonilglukosida (Xu dan Chang, 2008).

Rasa langu pada susu kedelai yang tidak diinginkan karena senyawa volatil seperti aldehid yang disebabkan oleh tingginya oligosakarida dapat diatasi dengan fermentasi. Fermentasi juga meningkatkan nilai fungsional susu kedelai karena penggunaan

mikroorganisme yang memiliki aktivitas β -glukosidase, terutama bakteri asam laktat dan *bifidobacteria* menyebabkan biotransformasi isoflavon glikosida menjadi aglikon (Lee dan Lee 2009). Susu kedelai yang difermentasi dengan bakteri *Lactobacillus acidophilus* menunjukkan peningkatan daidzein sebesar 45,8% dan genistein sebesar 57,5% dari susu kedelai tanpa fermentasi (Telang *et al.* 2010).

PENGEMBANGAN KEDELAI SEBAGAI SUMBER ISOFLAVON DI INDONESIA

Berdasarkan penggunaan kedelai yang dominan untuk bahan baku pangan di Indonesia, terutama dalam bentuk tempe, tahu, kecap, susu kedelai, dan kecap, kedelai sangat potensial sebagai sumber isoflavon. Dengan tingkat konsumsi protein kedelai 25 g diestimasi sebesar 37-62 mg asupan isoflavon, dan dapat memenuhi 83% kebutuhan harian isoflavon yang dianjurkan (Sabuluntika dan Ayustaningwarno 2013). Sosialisasi manfaat isoflavon bagi kesehatan dan penanganan yang tepat dalam pengolahan untuk meminimalkan kerusakannya juga perlu didorong untuk meningkatkan kesadaran masyarakat.

Varietas Devon 1 dan Devon 2 yang telah dilepas sebagai varietas kaya isoflavon dengan potensi hasil masing-masing 2,75 t/ha dan 2,89 t/ha, berpeluang untuk dikembangkan sebagai bahan baku olahan pangan dari kedelai. Berdasarkan pengalaman di negara-negara lain, perakitan varietas untuk meningkatkan kandungan isoflavon masih dapat ditingkatkan bersamaan dengan perbaikan sifat-sifat agronomis lainnya, seperti potensi hasil, toleran pada agroekologi tertentu, ketahanan terhadap hama dan penyakit utama kedelai, serta ukuran biji (sedang hingga besar) yang dikombinasikan dengan teknologi budi daya yang tepat/spesifik lokasi.

Peluang peningkatan produksi kedelai kaya isoflavon juga dapat dilakukan melalui perluasan areal tanam kedelai, terutama ke luar Jawa sejalan dengan kebijakan Pemerintah Indonesia untuk meningkatkan produksi padi, jagung, dan kedelai (pajale). Saat ini Pemerintah Indonesia mencanangkan program Upaya Khusus (UPSUS) percepatan pencapaian swasembada padi, jagung, dan kedelai dengan program 1.000 desa mandiri benih untuk memproduksi dan memenuhi kebutuhan benih petani setempat dan desa sekitarnya (Chaca 2015) dalam upaya mencapai swasembada dan kemandirian pangan. Untuk itu, varietas-varietas kedelai kaya isoflavon dapat diintroduksi sebagai bagian dalam program tersebut, tentunya sesuai dengan preferensi utama pemanfaatan kedelai di masing-masing lokasi pengembangan kedelai.

KESIMPULAN

Kedelai merupakan pangan fungsional kaya isoflavon yang bermanfaat bagi kesehatan karena memiliki aktivitas antioksidan. Perakitan varietas unggul yang secara genetik memiliki kandungan isoflavon tinggi perlu dikombinasikan dengan teknologi budi daya yang tepat (lingkungan tumbuh, pemupukan, pengendalian hama dan penyakit) untuk mendapatkan hasil maksimal. Proses pengolahan berpengaruh terhadap kandungan isoflavon pada produk kedelai, terutama perkecambahan dan fermentasi dapat meningkatkan kandungan isoflavon dibandingkan dengan bijinya. Kedelai sebagai pangan sumber isoflavon sangat potensial jika dikaitkan dengan tingkat konsumsi yang cukup tinggi dan upaya Pemerintah Indonesia dalam meningkatkan produksi dan produktivitas kedelai nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Tawaha AM, Seguin P, Smith DL, Bonnell RB. 2007. Irrigation level aspects isoflavone concentrations of early maturing soyabean cultivars. *J. Agronomy dan Crop Science* 193 (4): 238-246.
- Al Tahawa ARM. 2010. Effect of growth stage and pod position on soybean seed isoflavone concentration. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, 38 (1): 92-99.
- Aguiar CL, Suzuki CN, Paredes-Guzmán JF, Alencar SM, and Park YK. 2003. Transformation of β -glucoside of isoflavones on solid-state fermentation of the soy flour with *Aspergillus oryzae*. *CyTA – Journal of Food* 4: 115–121. doi:10.1080/11358120309487752.
- Aguiar CL. 2010. Effects of the processing techniques on isoflavone profiles: A review. *In: Isoflavones: Biosynthesis, occurrence and health effects.* pp. 225–237. Melanie J Thompson, Ed., Nova Publishers, USA.
- Anani DF dan Mahmudiono T. 2018. Pengaruh pendidikan gizi terhadap pengetahuan, sikap, dan perilaku konsumsi pangan isoflavon pada mahasiswa pre-menstrual syndrome. *Amerta Nutr* (2018): 136-146.
- Ariani S, Handayani S. 2009. Pengembangan produk tempe generasi ketiga berkhasiat antioksidan berbahan baku koro benguk (*Mucuna Pruriens* L.D.C.) Var. Utilis. LPPM UNS. Penelitian. DP2M. Hibah Bersaing. 2 hlm.
- Astawan M dan Febrinda AE. 2009. Isoflavon kedelai sebagai anti kanker. *Pangan* 55(18):42-50.
- Astuti S. 2008. Isoflavon kedelai dan potensinya sebagai penangkap radikal bebas. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian* 13 (2): 126-136.

- Astuti S, Muchtadi D, Astawan M, Purwantara B, Wresdiyati T. 2009. Kualitas spermatozoa tikus yang diberi tepung kedelai kaya isoflavon, seng (Zn) dan vitamin E. *Media Peternakan* 32(10): 12-21.
- Balitkabi. 2016. Deskripsi Varietas Unggul Aneka Kacang dan Umbi. Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 213 hlm.
- Bappenas. 2014. Arah Kebijakan Pembangunan Pertanian 2015. http://www.pertanian.go.id/eplanning/tiny_mcpuk/gambar/file/PaparanRKP2015Bappenas.pdf. (Diakses 5 Desember 2014).
- Ballaloui N. 2012. Soybean seed phenol, lignin, and isoflavones partitioning as affected by seed node position and genotype differences. *Food and Nutrition Sciences* 3: 447-454. Doi: 10.4236/fns.2012.34064.
- Berger M, Rasolohery CA, Cazalis R, and Dayde J. 2008. Isoflavone accumulation kinetics in soybean seed cotyledons and hypocotyls: Distinct pathways and genetic controls. *Crop Sci* 48:700-708.
- Bhattamisra SK, Mohapatra L, Panda BP, Parida S. 2013. Effect of isoflavone rich soya seed extract on glucose utilization and endurance capacity in diabetic rat. *Diabetologia Croatica* 42 (2): 42-52.
- Boué SM, Cleveland TE, Carter-Wientjes CH, Shih BY, Bhatnagar D, McLachlan JM, Buow ME. 2009. Phytoalexin-enriched functional foods. *J Agric Food Chem* 57:2614-2622.
- Cahyati Y, Santoso DR, Juswono UP. 2013. Efek radiasi pada penurunan estrogen yang disertai konsumsi isoflavon untuk mencegah menopause dini pada terapi radiasi. *Natural B* 2(2): 109-116.
- Chaca. 2015. Upsus Swasembada Pangan Jadi Indikator Kinerja Penyuluh. <http://tabloidsinartani.com/content/read/upsus-swasembada-pangan-jadi-indikator-kinerja-penyuluh/>. (Diakses 15 Maret 2015).
- Cvejic J, Tepavcevic V, Bursae M, Milodinovic J, and Malenae D. 2011. Isoflavone composition in F1 soybean progenies. *Food Research International* 44:2698-2702.
- Devi MKA, Gondi M, Sakhtivelu G, Giridhar P, Rajasekaran T, Ravishankar GA. 2009. Functional attributes of soybean seeds and products, with reference to isoflavone content and antioxidant activity. *Food Chemistry* 114: 771-776.
- Fawwaz M, Natalisnawati A, dan Baits M. 2017. Kadar isoflavon aglikon pada ekstrak susu kedelai dan tempe. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri* 6(3): 152-158.
- FAO. 2013. Statistical data of food balance sheet. www.fao.org (Diakses 23 Maret 2017).
- Ginting E, Yulifanti R, Kuswanto H, Lee BW, Baek IY. 2018. Protein, fatty acids, and isoflavone contents of soybean lines tolerant to acid soil. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 3:1-10.
- Goes-Favoni SP, Carrao-Panizzi MC, Beleia A. 2010. Changes of isoflavone in soybean cotyledons soaked in different volumes of water. *Food Chemistry* 119 (4): 1605-1612.
- Gutierrez-Gonzalez JJ, Guttikonda SK, Tran LP, Aldrich DL, Zhong R, Yu O, Nguyen HT, Slep DA. 2010. Differential expression of isoflavone biosynthetic genes in soybean during water deficits. *Plant Cell Physiol* 51 (6): 936-948.
- Hasanah Y, Nisa TC, Armidin H, Hanum H. 2015. Isoflavone content of soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivar with different nitrogen sources and growing season under dry land condition. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 109(1): 5-17.
- Hazim S, Curtis PJ, Schár MY, Ostertag LM, Kay CD, Minihane AM, Cassidy A. 2016. Acute benefits of the microbial derived isoflavone metabolite equol on arterial stiffness in men prospectively recruited according to equol producer phenotype: double blind randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition* 103(3): 694-702.
- Hoeck JA, Fehr WR, Murphy PA, Welke GA. 2000. Influence of genotype and environment on isoflavone contents of soybean. *Crop Sci.* 40:48-51.
- Huang RY, Chou CC. 2009. Stability of isoflavone isomers in steamed black soybeans and black soybean koji stored under different conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57:1927-1932.
- Jacobsen BK, Jaceldo-siegl K, Knutsen SF, Fan J, Oda K, Fraser GE. 2014. Soy Isoflavone intake and the likelihood of ever becoming a mother: the adventist health study-2. *International Journal of Women's Health* 6: 377-384. doi: 10.2147/IJWH.S57137.
- Jung GH, Lee JE, Kim YH, Kim DW, Hwang TY, Lee KS, Lee BM, Kim HS, Kwon YU, Kim SL. 2012. Effect of planting date, temperature on plant growth, isoflavone content, and fatty acid composition of soybean. *Korean J Crop Sci* 57:373-383.
- Kang X, Zhang Q, Wang S, Huang X, Jin S. 2010. Effect of Soy Isoflavones on breast cancer recurrence and death for patients receiving adjuvant endocrine therapy. *Canadian Medical Association Journal* 182 (17): 1857-1862.
- Karyasa IWD, Kurnianda J, Astuti H. 2014. Faktor risiko dan asupan isoflavon pada pasien kanker payudara. *Jurnal Gizi Klinik Indonesia* 10: 218-225.

- Kim SH, WS Jung, JK Ahn, and IM Chung. 2005. Analysis of isoflavone concentration and composition in soybean (*Glycine max* (L.)) seeds between the cropping year and storage for 3 years. *European Food Research Technology* 220:207-214.
- Kim EH, Ro HM, Kim SL, Kim HS, Chung LM. 2012. Analysis of isoflavone, phenolic, soyasapogenol, and tocopherol compounds in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasms of different seed weights and origins. *J Agr Food Chem* 60:6045-6055.
- Kim JK, Kim EH, Park I, Yu BR, Lim JD, Lee YS, Lee JH, Kim SH, Chung M. 2014. Isoflavone profiling of soybean (*Glycine max* L. Merril.) germplasms and their correlations with metabolic pathways. *Food Chem.* 153: 258-264.
- Krisnawati A dan Adie MM. 2009. Karakter agronomik dan kandungan isoflavon galur kedelai F5. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 28 (1):23-28.
- Lee S and Lee J. 2009. Effects of oven drying, roasting and explosive puffing process on isoflavone distributions in soybeans. *Food Chemistry* 112:316-320.
- Lozovaya VV, Lygin AV, Ulanov AV, Nelson RL, Dayde J, and Widholm JM. 2005. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. *Crop Sci.* 45:1934-1940.
- Loibl S, Lintermans A, Dieudonné A, and Neven P. 2011. Management of menopausal symptoms in breast cancer patient. *Maturitas* 68:148-154.
- Liu K, Ma G, Lv G, Zou Y, Wang W, Liu L, Yan P, Liu Y, Jiang L, Liu Y. 2007. Effects of Soybean Isoflavone Dosage and Exercise on the Serum Markers of Bone Metabolism in Ovariectomized Rats. *Asia Pac J Clin Nutr*; 16 (1):193-195.
- Mahoney S, Arfuso F, Rogers P, Hisheh S, Brown D, Millward M, . Dharmarajan A. 2012. Cytotoxic effects of the novel isoflavone, phenoxodiol, on prostate cancer cell lines. *J. Biosci.* 37(1): 1-12
- Marsono, Y. 2008. Prospek Pengembangan Makanan Fungsional. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi* 7(1):19-27.
- Messina M. 2014. Soy Foods, isoflavones, and the health of postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.* 100:423S-430S.
- Muchtadi D. 2012. *Pangan Fungsional dan Senyawa Bioaktif*. Alfabeta. Bandung. 252 hlm.
- Mujić I., Šertović E, Jokić S, Sarić Z, Alibabić V, Vidović S •ivković J. 2011. Isoflavone content and antioxidant properties of soybean seeds. *Croat. J. Food Sci. Technol.* 3 (1) 16-20.
- Murni I, Reftina E, Puji A, Harti A, Estuningsih, Kusumawati HN. 2013. Pemanfaatan bakteri asam laktat dalam proses pembuatan tahu dan tempe untuk peningkatan kadar isoflavon, asam linoleat dan asam linolenat. *Jurnal Kesehatan Kusuma Husada* 4 (2): 89-95.
- Oshima A, Mine W, Nakada M, & Yanase E. 2016. Analysis of isoflavones and coumestrol in soybean sprouts. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 80(11): 2077-2079.
- Patisaul HB and Jefferson W. 2010. The pros and cons of phytoestrogens. *Frontiers in Neuroendocrinol* 31: 400-419.
- Pusat Data dan Informasi Pertanian. 2015. Kosumsi pangan. *Buletin Konsumsi Pangan* 5: 9-18.
- Rahadiyanti, A. 2011. Pengaruh Tempe Kedelai terhadap Kadar Glukosa Darah pada Prediabetes. (Skripsi). Universitas Diponegoro. Semarang.
- Rivaldi D. 2010. Pengaruh Pemberian Ekstrak Daun Pegagan (*Centella asiatica*) Terhadap Kadar Fosfor dalam Darah pada Tikus (*Rattus norvegicus*) Ovariectomi. Skripsi Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Airlangga. Surabaya.
- Santos-Galduroz RF, Galduroz JCF, Facco RL, Hachui H Taufik S. 2010. Effects of isoflavone on the learning and memory of women in menopause: a double-blind placebo-controlled study. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 43 (11): 1123-1126.
- Suarsana IN, Widyastuti S, Priosoeryanto BP. 2012. Ketersediaan hayati isoflavon dalam plasma dan pengaruhnya terhadap nilai biokimia darah pada tikus hiperglikemia. *Jurnal Veteriner* 13(1):86-91.
- Sun JM, Sun BL, Han FX, Yan SR, Yang H, Kikuchi A. 2011. Rapid HPLC method for determination of 12 isoflavone components in soybean seeds. *Agricultural Sciences in China*, 10(1):70-77.
- Taku K, Umegaki K, Sato K. 2007. Soy isoflavones lower serum total and LDL cholesterol in humans: meta analysis of 11 randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 85: 1148-56.
- Taku K, Melby MK, Kronenberg F, Kurzer MS and Messina M. 2012. Extracted or synthesized soybean isoflavones reduce menopausal hot flash frequency and severity: Systematic review and metaanalysis of randomized controlled trials. *Menopause* 19:776-790.
- Teekachunhatean S, Hanprasertpong N, Teekachunhatean T. 2013. Factors affecting isoflavone content in soybean seeds grown in Thailand. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronom*, 2013: 11 p.
- Tejasari M., Shahib N, Iwan D, Sastramihardja HS. 2013. Peran kedelai (*Glycine max*) dalam pencegahan apoptosis pada cedera jaringan hati. *Acta Pharmaciae Indonesia* 1 (1): 26-31.

- Telang AM, Joshi VS, Sutar N, Thorat BN. 2010. Enhancement of biological properties of soymilk by fermentation. *Food Biotechnology* 24:375-387.
- USDA. 2008. *Nutrient Data*. USDA-Iowa State University Database on the Isoflavone Content of Foods, Release 1.3-2008.
- Utari DM, Rimbawan, Riyadi H, Muhilal, Purwastyastuti. 2010. Pengaruh pengolahan kedelai menjadi tempe dan pemasakan tempe terhadap kadar isoflavon. *Penel Gizi Makan [PGM]* 33(2): 148-153.
- Vameralli T, Barion G, Hewidy M, Mosca G. 2012. Soybean isoflavone patterns in main stem and branches as affected by water and nitrogen supply. *European Journal of Agronomy* 41 (2012): 1-10.
- Vyn TJ, Xinhua Y, Tom WB, Chung-Ja CJ, Istvan R, Sylvie MB. 2002. Potassium fertilization effects on isoflavone concentrations in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *J. Agric. Food Chem.* (50): 3501-3506.
- Welty FK, Lee KS, Lew NS, Zhou JR. 2007. Effect of soy nuts on blood pressure and lipid levels in hypertensive, prehypertensive, and normotensive postmenopausal women. *Arch Intern Med.* 167(7):1060-1067.
- Winarsi H, Purwanto A, Dwiyantri H. 2010. Kandungan protein dan isoflavon pada kedelai dan kecambah kedelai. *Jurnal Biota*, 15 (1): 186-193.
- Wong MCY, Emery PW, Preedy VR, Wiseman H. 2008. Health benefit of isoflavones in functional foods? Proteomic and metabolomic advances. *Inflammopharmacology* 16(5); 235-239.
- Xiao CW. 2008. Health effects of soy protein and isoflavone in humans. *The Journal of Nutrition* 138(6): 1244-1249.
- Xu B and Chang SK. 2008. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. *J. Agric. Food Chem.* 56:7165-7175.
- Yang H and Zhang L. 2009. Changes in some components of soymilk during fermentation with the basidiomycete *Ganoderma lucidum*. *Food Chemistry* 112:1-5.
- Yang C, Hu B, Iqbal N, Yang F, Liu W, Wang X, Yong T, Zhang J, Yang W, Liu J. 2018. Effect of shading on accumulation of soybean isoflavonoid under maize-soybean strip intercropping systems. *Plant Production Science* 21(3): 193-202.
- Yao Y, Li X, Zhao W, Zeng Y, Shen H, Xiang H, Ong-Xiao H. 2010. Anti-obesity effect of an isoflavone fatty acid ester on obese mice induced by high fat diet and its potential mechanism. *Lipids in Health and Disease* 9 (49): 1-12.
- Yoon S, Lee J, Lee S. 2014. Combined treatment of isoflavone supplementation and exercise restores the changes in hepatic protein expression in ovariectomized rats - a proteomics approach. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 11 (29): 1-8.
- Yoon G, Park S. 2014. Antioxidant action of soy isoflavones on oxidative stress and antioxidant enzyme activities in exercised rats. *Nutrition Research and Practice*. 11p
- Zaheer K dan Akhtar MH. 2017. An updated review of dietary isoflavone: nutrition, processing, bioavailability and impacts on human health. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 57(6):1280-1293.
- Zhang C, Ho SC, Lin F, Cheng S, Fu J, Chen Y. 2010. Soy product and isoflavone intake and breast cancer risk defined by hormone receptor status. *The Official Journal Of The Japanese Cancer Association*, 101(2): 501-507.
- Zhang X, Gao YT, Yang G, Li H, Cai Q, Xiang YB, Ji BT, Franke AA, Zheng W, and Shu XO. 2012. Urinary isoflavonoids and risk of coronary hearth disease. *Int. J. Epidemiol.* 41: 1367-1375.
- Zuniga KE, Clinton SK, and Erdman JWJr. 2013. The interactions of dietary tomato powder and soy germ on prostate carcinogenesis in the TRAMP model. *Cancer Prev. Res.* 6:548-557.