

Pengaruh Laju Dosis Iradiasi Gamma (^{60}Co) terhadap Senyawa Antigiizi Asam Fitat dan Antitripsin pada Kedelai (*Glycine max* L.)

Effect of Dose-rate of Gamma Irradiation (^{60}Co) on the Anti-nutritional Compounds Phytic Acid and Antitrypsin on Soybean (*Glycine max* L.)

Rindy Panca Tanhindarto¹, Purwiyatno Hariyadi², Eko Hari Purnomo² dan Zubaidah Irawati³

¹ Sekolah Pascasarjana, Program Studi Ilmu Pangan (PS-IPN),
Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, PO Box 220 Bogor 16002
Email : rindypt@yahoo.com

² Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, FATETA IPB

³ Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

Diterima 28 Maret 2013; Disetujui 13 Mei 2013

ABSTRAK

Pengaruh Laju Dosis Iradiasi Gamma (^{60}Co) terhadap Senyawa Antigiizi Asam Fitat dan Antitripsin pada Kedelai (*Glycine max* L.). Telah dilakukan penelitian terhadap pengaruh iradiasi gamma dengan berbagai laju dosis pada senyawa antigiizi (asam fitat dan antitripsin) dan warna kedelai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh laju dosis terhadap penurunan konsentrasi senyawa antigiizi dan warna kedelai. Sampel diiradiasi dengan laju dosis 1,30; 3,17; 5,71 dan 8,82 kGy/jam dengan waktu iradiasi bervariasi dari 0,5 jam sampai 55 jam. Sampel dianalisis kadar asam fitat dan aktivitas antitripsin, serta nilai warna *L a b* kedelai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model kinetika sederhana dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan konsentrasi senyawa antigiizi dan warna kedelai selama proses radiasi. Data penelitian mengindikasikan bahwa proses radiasi pada laju dosis lebih tinggi (waktu lebih pendek) lebih efektif dalam menghancurkan senyawa antigiizi dibandingkan dengan proses radiasi pada laju dosis lebih rendah (waktu lebih lama). Selanjutnya, proses radiasi pada laju dosis lebih tinggi (waktu lebih pendek) juga memiliki efek yang kurang merugikan pada warna biji dan tepung kedelai dibandingkan dengan proses radiasi dengan laju dosis lebih rendah (waktu lebih lama). Temuan ini menunjukkan bahwa proses radiasi pada dosis yang sama berpotensi dapat dioptimalkan dengan pemilihan kombinasi yang paling sesuai terhadap laju dosis dan waktu iradiasi

Kata kunci : proses radiasi, laju dosis, kedelai, asam fitat, antitripsin, warna

ABSTRACT

Effect of Dose-rate on the Anti-nutritional Compounds Phytic Acid and Antitrypsin on Soybean (*Glycine max* L.). An investigation on the effect of gamma irradiation at different dose-rate on the anti-nutritional compounds (phytic acid and antitrypsin) and the color of soybean has been conducted. The purpose of the study was to analyze the influence of the dose-rate on the rate of change of anti-nutritional compounds and color. Samples were irradiated with dose-rates of 1.30; 3.17; 5.71 and 8.82 kGy/hour with irradiation time varied from 0.5 to 55 hours. Phytic acid content and antitrypsin activity, as well as their *L a b* color values were analyzed. Results showed that a simple first order kinetics model can be used to describe changes in the concentration of the anti-nutritional compounds and color soybeans during the radiation processing. Data indicate that irradiation process at higher dose-rate (shorter time) is more effective in destroying anti-nutritional compounds as compared to that of irradiation process at lower dose-rate (longer time). Furthermore, irradiation process at higher dose-rate (shorter time) also have less detrimental

effect on color of the soybean and the resulted soybean flour as compared to that of irradiation process at lower dose-rate (longer time). These findings suggest that irradiation process at a same dose may potentially be optimized by selecting the most appropriate combination of dose-rate and time of irradiation.

Keywords : radiation processing, dose-rate, soybean, phytic acid, antitrypsin, color.

PENDAHULUAN

Proses radiasi sinar gamma yang merupakan pemanfaatan radionuklida ^{60}Co telah dimanfaatkan untuk menghambat pertunasan, mengurangi mikroba atau membunuh mikroba patogen dan memperpanjang masa simpan baik bahan pangan segar, kering maupun olahan. Untuk produk sereal, proses radiasi ini sudah dimanfaatkan baik untuk mereduksi senyawa toksik dan antigizi [1, 2, 3, 4, 5] maupun untuk tujuan sanitasi [1] dan karantina [6, 7].

Penggunaan radiasi pengion untuk mereduksi senyawa antigizi, seperti asam fitat dan antitripsin kedelai sudah dilakukan [1,5] dan kerusakan asam fitat dan antitripsin akan pro-porsional terhadap kenaikan dosis radiasi yang diterima [5]. Di samping itu, kedelai yang diiradiasi dengan dosis tinggi sampai 30 kGy juga memberikan keunggulan; yaitu waktu pemasakan kedelai dapat diturunkan dan memperbaiki sifat fungsional isolat protein [8].

Perlakuan iradiasi dengan dosis 5, 15, 30 dan 60 kGy pada kedelai akan menurunkan aktivitas antitripsin (AAT) berturut-turut sebesar 41.8, 56.3, 62.7 dan 72.5% [5]. Iradiasi dosis 5 kGy dengan laju dosis 5.4 kGy/jam pada kedelai bebas lemak dari 3 varietas yang berbeda akan menurunkan AAT sebesar 51-63% tergantung dari varietas kedelai [9]. Untuk menurunkan AAT pada kedelai bisa dilakukan dengan cara perendaman dikombinasikan dengan pemasakan dan iradiasi 2-8 kGy, dimana kerusakan AAT akan meningkat dengan naiknya dosis radiasi dan perlakuan pemasakan [10]. Perlakuan iradiasi kacang buncis dosis 2.5-10 kGy akan menurunkan asam fitat sebesar

10.2-18.2% dan AAT 4.5-9.2% [11]. Perlakuan iradiasi dosis 30 dan 45 kGy pada biji kanola [12] dan biji *Mucuna pruriens* dengan dosis 15-30 kGy akan menghilangkan keseluruhan asam fitat [13]. Iradiasi dengan dosis 5-10 kGy dilaporkan dapat menurunkan asam fitat pada beberapa jenis kacang-kacangan (*pea*, *cowpea*, *lentil*, *kidney bean*, dan *chickpea*) sampai sekitar 6.5-32.7% dan diperkirakan bahwa iradiasi dengan dosis 34.9-59.7 kGy akan menyebabkan kerusakan total asam fitat [14]. Perlakuan pemasakan tidak menurunkan asam fitat dalam pembuatan bubur sorgum, tetapi kombinasi pemasakan dan iradiasi (10 kGy) menyebabkan penurunan asam fitat bubur sorgum sebesar 40% [15]. Kadar asam fitat pada 2 varietas kacang Brasil yang direndam selama 10 jam dikombinasikan dengan pemasakan 100°C dan iradiasi 0.5-10 kGy, ternyata perlakuan iradiasi tidak menyebabkan kerusakan asam fitat walaupun ada kenaikan dosis [16]. Perlakuan iradiasi gamma dosis 2 kGy dengan laju dosis 20 Gy/menit dikombinasikan dengan perendaman dan pemasakan pada biji dan tepung dari 2 varietas jewawut, terlihat bahwa perlakuan iradiasi tidak menyebabkan kerusakan asam fitat setelah penyimpanan selama 30 dan 60 hari [17].

Secara teknis sumber radiasi dapat pula berasal dari mesin berkas elektron namun implementasinya di Indonesia masih terbatas [18,19]. Perlakuan iradiasi dengan berkas elektron dosis 10, 15, 20, 25, dan 30 kGy pada sorgum menurunkan kadar asam fitat berturut-turut sebesar 39, 49, 66, 79 dan 90% [20]. Dengan sumber radiasi yang sama dosis 30 dan 45 kGy pada kedelai [21] dan tepung kanola akan menghilangkan

keseluruhan asam fitat, serta menurunkan AAT kedelai sebesar 73% dan 88% [22].

Sampai saat ini, publikasi penelitian tentang proses radiasi pada produk pangan sering berfokus pada pengaruh dosis radiasi dan perubahan zat antigizi serta mutu produk yang dihasilkan. Pengaruh iradiasi pada dosis yang sama tetapi dengan laju dosis yang berbeda belum pernah dilakukan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju dosis pada efektivitas iradiasi. Informasi ini akan bermanfaat untuk melakukan optimasi proses radiasi; dengan pemilihan kombinasi perlakuan laju dosis dan waktu iradiasi untuk memberikan dosis radiasi tertentu dengan tujuan tertentu tetapi bisa meminimalkan kerusakan yang terjadi.

Secara khusus; penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju dosis terhadap penurunan konsentrasi senyawa antigizi dan warna kedelai selama proses radiasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kedelai (*Glycine max* L.) varietas Mitani diperoleh dari hasil pemuliaan tanaman PATIR, BATAN. Bahan kimia standar asam fitat dan tripsin diperoleh dari Sigma Chemical Co, pereaksi kimia dengan *analytical grade* dan bahan penunjang lainnya.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Iradiator Karet Alam (IRKA) sebagai sumber radiasi sinar gamma dari radionuklida ^{60}Co , dengan aktivitas sumber radiasi ^{60}Co adalah 122947,83 Ci. IRKA berlokasi di PATIR BATAN, Pasar Jumat Jakarta. Spektrophotometer UV tipe Spectro UV 2450 Shimadzu, Chromameter 200b Minolta Ltd, pHmeter (Eutech Instruments, Singapura), penangas air (Napco model 220A, USA), sentrifuse (IEC Centra 8 Centrifuge, USA), pengaduk

magnetik (Velp Scientifica tipe Ate, Italy) dan alat penunjang lainnya.

Persiapan Sampel

Berat sampel kedelai ditimbang masing-masing perlakuan 100 g dan dikemas dengan plastik polietilen. Dilakukan 3 kali ulangan untuk setiap sampel.

Proses Radiasi

Sampel yang akan diiradiasi diletakkan pada bidang iradiasi dengan lokasi yang berbeda; untuk mendapatkan perlakuan iradiasi dengan laju dosis tertentu. Dari penelitian pendahuluan, telah diidentifikasi 4 lokasi pada bidang iradiasi masing-masing dengan laju dosis 1.30; 3.17; 5.71 dan 8.82 kGy/jam. Perlakuan iradiasi untuk setiap sampel dilakukan pada suhu kamar (28 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ dengan waktu bervariasi: dari 0.5 jam sampai 55 jam; tergantung dari laju dosisnya.

Dosimetri

Pengukuran dosis radiasi dilakukan dengan dosimeter *Harwell Amber 3042* (Harwell Dosimeters Ltd, Oxfordshire, UK) menggunakan spektrophotometer [23].

Warna

Pengukuran warna dilakukan dengan notasi warna skala Hunter L a b menggunakan alat Chromameter 200b [24]. Lempeng standar putih $Y = 94,6$; $x = 0,3127$; $y = 0,3197$, dimana $Y =$ faktor kecerahan dengan dasar persen pantulan 100%, x dan $y =$ koordinat *chromaticity* diagram CIE x,y.

Analisis asam fitat

Penetapan kandungan asam fitat dilakukan dengan mengikuti metode BHADARI dan KAWABATA [25]. Sampel digiling dan ditimbang 5 g, lalu diekstrak dengan 100 ml 2,4% HCl. Hasil ekstrak sampel disentrifuse dan disiapkan 3 ml supernatan sampel dan blanko, ditambah 1 ml *Wade reagent*. Supernatan diukur dengan spektrophotometer pada panjang gelombang 500 nm.

Analisis antitripsin

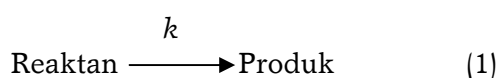
Penetapan aktivitas antitripsin dilakukan dengan mengikuti metode SMITH dkk. [26]. Sampel tepung ditimbang 1 g dan diekstrak dengan 10 mM NaOH (50 ml) selama 3 jam, serta pH diatur 9,4-9,6. (Ekstrak yang diperoleh diencerkan sehingga persentase penghambatan supernatan didefinisikan 1 ml ekstrak akan menghasilkan daya penghambat 40-60 persen). Disiapkan 2 ml untuk masing-masing sampel, larutan standar tripsin dan blanko. Kemudian semuanya direaksikan dengan BAPNA, 5 ml. Diinkubasi kedalam penangas air 37°C. Setelah 10 menit ditambahkan 1 ml asam asetat 30%. Supernatan diukur dengan spektrophotometer pada panjang gelombang 410 nm. Aktivitas penghambatan tripsin dinyatakan sebagai AAT (1 µg tripsin dinyatakan sebagai 0,0190 satuan absorbansi pada 410 nm per 50 ml campuran reaksi pada kondisi yang digunakan). Penghitungan AAT menggunakan rumus:

$$AAT \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{2,632 \times D \times A_i}{S}$$

dimana: D = faktor pengenceran; A_i = perubahan absorbansi dan S = berat sampel.

Analisis data

Perubahan konsentrasi senyawa asam fitat, antitripsin dan kecerahan (warna) kedelai ditabulasikan dan dianalisis dengan model kinetika sederhana. Secara umum bentuk reaksi perubahan [27, 28] yang terjadi adalah sebagai berikut:



Jika t menyatakan waktu dan n adalah ordo reaksi, maka laju perubahan reaktan menjadi produk dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\delta[\text{reaktan}]}{\delta t} = -k [\text{reaktan}]^n \quad (2)$$

Dimana: yang dimaksud dengan reaktan ini bisa berupa senyawa asam fitat, antitripsin ataupun nilai kecerahan kedelai, dan k adalah konstanta laju reaksi perubahan (Persamaan 1), untuk $n = 1$, maka persamaan 2 diintegrasikan, menghasilkan persamaan 3.

$$\text{Ln} \frac{[\text{reaktan}]_t}{[\text{reaktan}]_o} = -k t \longrightarrow \text{Ln}[\text{reaktan}]_t = \text{Ln}[\text{reaktan}]_o - kt \quad (3)$$

Persamaan 3 menunjukkan bahwa plot antara nilai $\text{Ln}[\text{reaktan}]_t$ terhadap waktu iradiasi t akan menunjukkan hubungan garis lurus dengan kemiringan sebesar k .

Analisis sidik ragam dan uji beda nyata terkecil dilakukan pada $\alpha = 5\%$ untuk melihat perbedaan bermakna pada perlakuan berbagai laju dosis dan waktu iradiasi terhadap perubahan warna notasi a dan b .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Senyawa Antigizi Selama Proses Radiasi

Senyawa antigizi yang diamati pada penelitian ini adalah asam fitat dan antitripsin. Hasil analisis konsentrasi asam fitat dan aktivitas antitripsin pada kedelai dalam penelitian ini, berturut-turut, adalah 14.98 mg/g dan 28.31 mg/g. Kandungan asam fitat ini sesuai dengan laporan KUMAR dkk. [29] dimana kandungan asam fitat kedelai berkisar antara 9.2-16.7 mg/g. Namun demikian, kandungan antitripsin kedelai varietas Mitani ini lebih kecil daripada angka yang dilaporkan DIXIT dkk. [9] yaitu sebesar 55.86-91.84 mg/g untuk 3 genotipe kedelai yang dianalisisnya. Variasi kandungan konsentrasi senyawa antigizi ini diduga disebabkan karena perbedaan varietas, lokasi tanam dan musim panen.

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa proses radiasi mampu mendegradasi senyawa antigizi pada kedelai (Gambar 1). Iradiasi sinar gamma dilaporkan

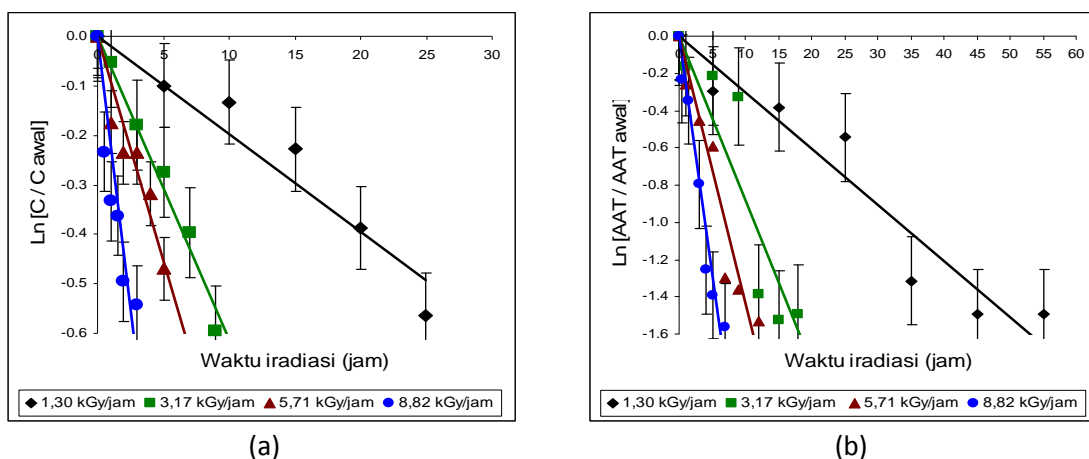
dapat memutus struktur kimia asam fitat menjadi inositol fosfat dan inositol [11,14] dan pemecahan struktur cincin fitat itu sendiri [15]. Sedangkan penurunan senyawa antitripsin akibat iradiasi gamma disebabkan terjadi pemutusan struktur protein kedelai [9], terutama pada asam amino yang mempunyai ikatan -S-S- dan -S-H- sehingga aktivitas antitripsin menurun [5].

Lebih lanjut; Gambar 1 juga menunjukkan bahwa degradasi senyawa antigizi karena proses radiasi pada laju dosis 1.30; 3.17; 5.71 dan 8.82 kGy/jam dapat dijelaskan dengan model reaksi ordo pertama (Persamaan 3), dimana, nilai konstanta laju degradasi (k) untuk asam fitat

dan antitripsin pada berbagai laju dosis disajikan pada (Tabel 1).

Dari Tabel 1 terlihat bahwa pada perlakuan laju dosis yang sama, nilai k untuk degradasi antitripsin lebih besar daripada nilai k untuk degradasi asam fitat. Hal ini menunjukkan bahwa asam fitat memiliki daya tahan lebih tinggi daripada antitripsin terhadap proses radiasi dengan laju dosis 1.30 sampai 8.82 kGy/jam.

Gambar 2 memperlihatkan pola data penurunan senyawa antigizi sebagai fungsi dosis radiasi. Gambar 2 mengindikasikan bahwa jumlah penurunan senyawa antigizi pada perlakuan iradiasi pada dosis yang sama, dipengaruhi oleh laju dosis yang



Gambar 1. Perubahan konsentrasi (a) asam fitat dan (b) aktivitas antitripsin kedelai selama proses radiasi dengan berbagai laju dosis.

Tabel 1. Nilai k dan r^2 dari perubahan senyawa antigizi selama proses radiasi pada berbagai laju dosis.

Parameter	Laju dosis (kGy/jam)	Nilai k (jam $^{-1}$)	r^2
Asam fitat	1.30	0.0197	0.9363
	3.17	0.0611	0.9841
	5.71	0.0903	0.8888
	8.82	0.2191	0.7622
Antitripsin	1.30	0.0302	0.9221
	3.17	0.0881	0.8517
	5.71	0.1434	0.9274
	8.82	0.2558	0.9434

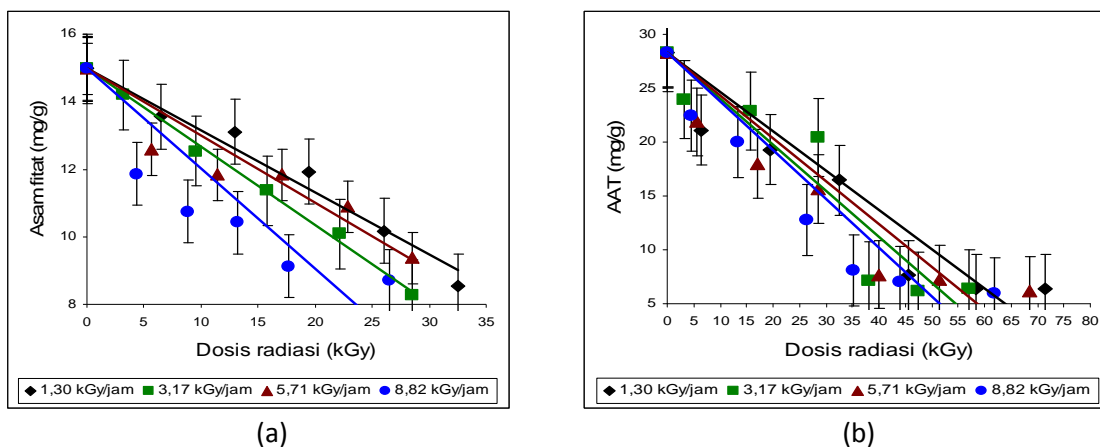
digunakan. Pada dosis yang sama, terdapat indikasi cukup kuat bahwa iradiasi dengan laju dosis lebih tinggi (waktu lebih rendah) akan memberikan tingkat penurunan zat antigizi yang lebih besar daripada penurunan zat antigizi yang terjadi pada iradiasi dengan laju dosis lebih rendah (waktu lebih tinggi).

Namun demikian, data yang diperoleh masih menunjukkan adanya pola yang tidak konsisten; terutama untuk laju dosis 3.17 dan 5.71 kGy/jam. Setidaknya; penelitian ini memberikan indikasi bahwa laju dosis

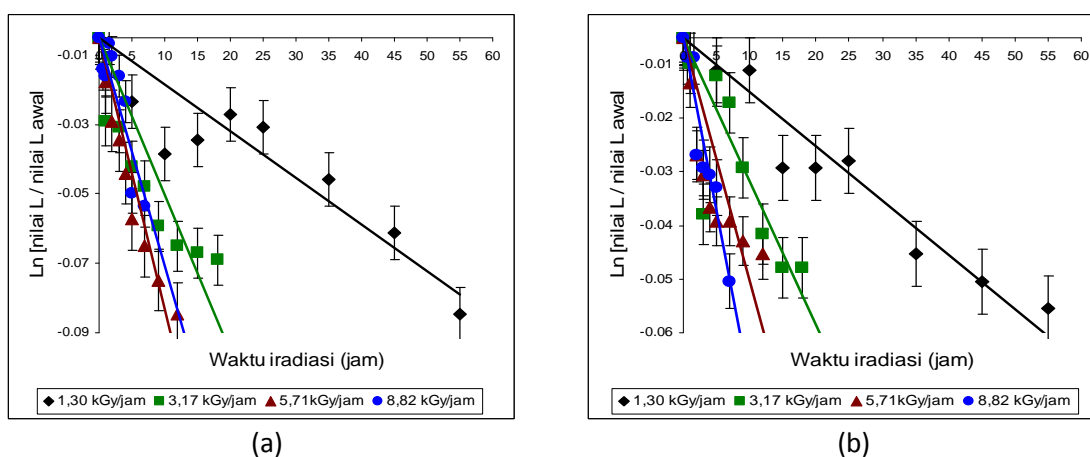
mungkin merupakan salah satu faktor penting dalam upaya optimalisasi proses radiasi.

Perubahan Warna Selama Proses Radiasi

Sistem notasi warna Hunter dicirikan dengan 3 parameter $L a b$. Notasi L menyatakan kecerahan warna, sedang notasi a dan b merupakan warna campuran hijau-merah dan warna campuran biru-kuning. Hasil analisis perubahan warna kedelai selama proses radiasi pada laju dosis 1.30;



Gambar 2. Perubahan konsentrasi (a) asam fitat dan (b) aktivitas antitripsin kedelai sebagai fungsi dari dosis radiasi.



Gambar 3. Perubahan kecerahan (warna) (a) biji dan (b) tepung kedelai selama proses radiasi dengan berbagai laju dosis.

3.17; 5.71 dan 8.82 kGy/jam dapat ditabulasikan pada Tabel 2. Namun demikian, nilai a dan b kurang mendiskripsikan warna produk karena menunjukkan perubahan warna kearah merah dan kuning. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa terdapat peningkatan

yang bermakna terhadap nilai a kedelai dengan naiknya waktu iradiasi, tetapi terdapat indikasi tidak bermakna terhadap nilai b tepung kedelai.

Analisis warna biji dan tepung kedelai yang dihasilkan akan dijelaskan dengan menggunakan nilai L (kecerahan). Hasil

Tabel 2. Perubahan warna biji dan tepung kedelai selama proses radiasi dengan berbagai laju dosis.

Laju dosis (kGy/jam)	Waktu iradiasi (jam)	Sampel biji kedelai			Sampel tepung kedelai		
		L	a	b	L	a	b
1.30 kGy/jam	0	54.9	0.3 ^d	20.7 ^a	83.4	-5.4 ^a	19.5 ^{bc}
	5	53.9	0.3 ^d	20.5 ^b	82.9	-5.2 ^{ab}	18.5 ^{de}
	10	53.1	0.6 ^d	19.6 ^b	82.9	-5.1 ^{ab}	18.3 ^{de}
	15	53.3	1.0 ^c	18.3 ^c	81.4	-5.2 ^{ab}	18.3 ^{de}
	20	53.7	0.5 ^d	17.5 ^e	81.4	-5.0 ^b	18.1 ^e
	25	53.5	0.6 ^d	17.9 ^{cde}	81.5	-5.0 ^b	18.9 ^{cd}
	35	52.7	1.3 ^b	18.0 ^{cd}	80.1	-4.3 ^c	19.6 ^{abc}
	45	51.9	1.9 ^a	17.7 ^{de}	79.7	-4.2 ^{cd}	19.9 ^{ab}
	55	50.7	1.6 ^a	16.9 ^f	79.3	-4.3 ^d	20.3 ^a
3.17 kGy/jam	0	54.9	0.3 ^e	20.7 ^b	83.4	-5.4 ^a	19.5 ^{ab}
	1	53.6	1.0 ^c	21.1 ^a	83.0	-5.2 ^{ab}	16.6 ^e
	3	53.5	1.0 ^c	21.1 ^a	80.7	-4.9 ^c	18.7 ^c
	5	52.9	0.8 ^{cd}	20.2 ^c	82.8	-4.9 ^c	17.5 ^d
	7	52.6	0.5 ^{de}	20.1 ^{cd}	82.4	-5.2 ^{ab}	18.7 ^c
	9	52.0	0.5 ^{de}	19.1 ^e	81.4	-5.0 ^{bc}	19.1 ^{bc}
	12	51.7	1.6 ^b	19.9 ^d	80.4	-4.6 ^d	19.3 ^{bc}
	15	51.6	1.8 ^{ab}	18.4 ^f	79.9	-4.3 ^e	19.3 ^{bc}
	18	51.5	2.0 ^a	17.4 ^g	79.9	-4.3 ^e	19.9 ^a
5.71 kGy/jam	0	54.9	0.3 ^d	20.7 ^a	83.4	-5.4 ^a	19.5 ^a
	1	54.2	1.1 ^{bc}	21.2 ^a	82.7	-4.7 ^{ab}	17.7 ^c
	2	53.6	1.0 ^c	20.4 ^a	81.6	-4.6 ^{ab}	18.7 ^b
	3	53.3	0.6 ^{cd}	19.0 ^b	81.3	-4.3 ^{bc}	18.5 ^b
	4	52.8	0.6 ^{cd}	17.2 ^d	80.8	-4.2 ^c	18.3 ^{bc}
	5	52.1	0.3 ^d	17.6 ^{cd}	80.6	-4.5 ^{ab}	18.1 ^{bc}
	7	51.7	1.7 ^a	18.5 ^b	80.6	-4.6 ^{ab}	19.7 ^a
	9	51.2	1.6 ^{ab}	18.3 ^{bc}	80.3	-4.5 ^{ab}	19.6 ^a
	12	50.7	1.7 ^a	17.2 ^d	80.1	-4.5 ^{ab}	19.5 ^a
8.82 kGy/jam	0	54.9	0.3 ^d	20.7 ^{ab}	83.4	-5.4 ^a	19.5 ^{ab}
	0,5	54.4	1.3 ^{bc}	21.7 ^a	83.1	-5.0 ^b	17.6 ^d
	1	54.3	1.2 ^{bc}	21.3 ^a	83.1	-5.0 ^b	17.6 ^d
	1,5	54.8	1.2 ^{bc}	19.9 ^b	83.1	-5.0 ^b	17.6 ^d
	2	54.6	1.1 ^c	19.9 ^d	81.6	-4.6 ^{cd}	18.7 ^c
	3	54.3	1.0 ^c	18.0 ^{bc}	81.4	-4.7 ^c	19.1 ^{abc}
	4	53.9	1.1 ^c	19.7 ^{bc}	81.3	-4.8 ^c	19.2 ^{abc}
	5	52.5	1.5 ^{ab}	18.7 ^{cd}	81.1	-4.8 ^c	18.8 ^{bc}
	7	52.3	1.6 ^a	18.2 ^d	79.7	-4.5 ^d	19.7 ^a

Keterangan : Pada kolom yang sama dinyatakan huruf berbeda bila bermakna ($\alpha = 5\%$).

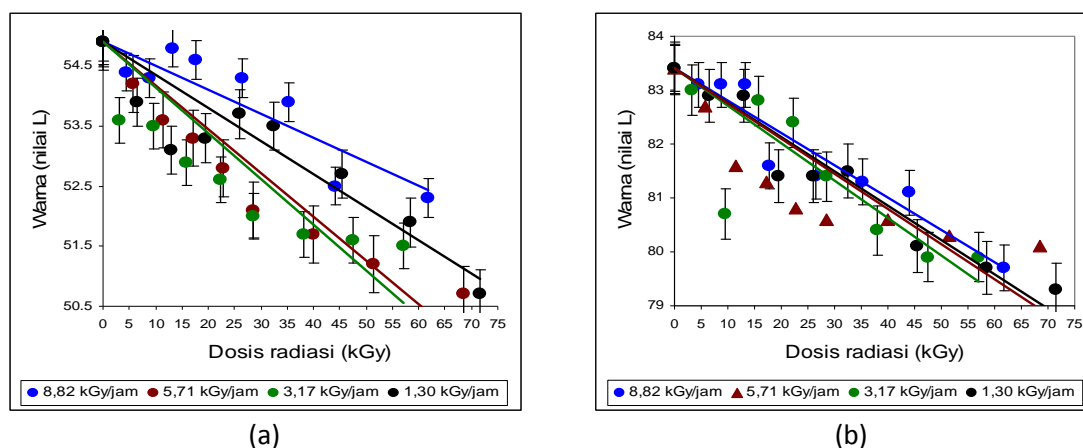
penelitian ini menunjukkan bahwa proses radiasi akan menyebabkan perubahan kecerahan warna, baik warna biji kedelai maupun warna tepung kedelai yang dihasilkan. Hal ini diduga karena iradiasi dapat menyebabkan terjadi pencoklatan atau browning non enzimatis yang akan menurunkan tingkat kecerahan. Hal ini juga telah ditunjukkan terjadi pada jambu mede [30] dan tepung beras varietas atomita IV [31].

Pola perubahan kecerahan sebagai akibat iradiasi pada laju dosis 1.30; 3.17; 5.71 dan 8.82 kGy/jam dapat dijelaskan dengan model reaksi ordo pertama (Gambar 3); dengan nilai konstanta laju perubahan (k) pada berbagai laju dosis disajikan pada (Tabel 3).

Terlihat bahwa penurunan kecerahan (warna) juga dipengaruhi oleh laju dosis; yang menunjukkan pola serupa dengan pola perubahan zat antigizi (Gambar 1). Namun demikian; perubahan warna sebagai fungsi dari dosis radiasi (Gambar 4) memperlihatkan pola yang berbeda dengan pola perubahan zat antigizi (Gambar 2). Secara umum ada kecenderungan bahwa iradiasi dengan laju dosis yang lebih tinggi (waktu lebih pendek) akan menyebabkan perubahan kecerahan warna yang lebih kecil. Hal ini diduga karena iradiasi tidak dapat menyebabkan terjadi reaksi senyawa karbonil dari gula bereaksi dengan gugus amino untuk membentuk senyawa berwarna coklat.

Tabel 3. Nilai k dan r^2 dari perubahan kecerahan (warna) selama proses radiasi pada berbagai laju dosis.

Parameter		Laju dosis (kGy/jam)	Nilai k (jam ⁻¹)	r^2
Warna (nilai L)	Biji kedelai	1.30	0.0013	0.8135
		3.17	0.0045	0.6189
		5.71	0.0078	0.8951
		8.82	0.0066	0.8185
Warna (nilai L)	Tepung kedelai	1.30	0.0010	0.9342
		3.17	0.0027	0.6691
		5.71	0.0045	0.4418
		8.82	0.0064	0.9119



Gambar 4. Perubahan kecerahan (warna) (a) biji dan (b) tepung kedelai sebagai fungsi dari dosis radiasi.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian aplikasi iradiasi pada kedelai dengan laju dosis berkisar antara 1.30 kGy/jam sampai 8.82 kGy/jam dan waktu 0.5 sampai 55 jam, dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Iradiasi berpotensi untuk mereduksi senyawa antigizi dan memodifikasi karakter mutu lainnya pada kedelai.
2. Selain dosis; laju dosis diduga merupakan salah satu faktor penting dalam pengendalian dan optimasi proses radiasi.
3. Iradiasi dengan laju dosis lebih tinggi (waktu lebih pendek) berpotensi untuk bisa menghancurkan senyawa antigizi dengan lebih efektif, sekaligus memberikan kecerahan warna yang lebih baik, daripada iradiasi dengan laju dosis lebih rendah (waktu lebih panjang).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang telah membantu dana penelitian dan fasilitas iradiasi, serta Southeast Asian Food and Agricultural Science and Technology (SEAFAST) Center, Institut Pertanian Bogor yang telah mengizinkan menggunakan fasilitas Laboratorium Kimia sehingga penelitian ini terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. ARVANITTOYANNIS, I.S. and STRATAKOS, A.C. Potential Uses of Irradiation, *In: Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion* (ARVANITTOYANNIS, I.S., Ed.). Academic Press Elsevier Inc.

London NW1 7BY, UK, 635-469 (2010).

2. SOMMERS, C.H., DELINCEE, H., SMITH, J.S. and MARCHIONI, E. Toxicological safety of irradiated foods, *In: SOMMERS, C.H., FAN, X., Ed. Food Irradiation Research and Technology*. Blackwell Publishing and the Institut of Food Technologist, 43-62 (2006).
3. BYUN, M.W., JO, C. and LEE, J.W. Potential Applications of Ionizing Radiation, *In: Food Irradiation Research and Technology* (SOMMERS C.H. and FAN, X., Ed.) Blackwell Publishing and the Institut of Food Technologist, 249-262 (2006).
4. AHN, H.J., KIM, J.H, JO, C., KIM, M.J, and BYUN, M.W. Comparison of irradiated phytic acid and other antioxidants for antioxidant activity. *Food Chem.* 88, 173-178 (2004).
5. SIDDHURAJU, P., MAKKAR, H.P.S. and BECKER, K. The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food, *Rev. Food Chem.* 78, 187-205 (2002).
6. HALLMAN, G.J. Phytosanitary Applications of Irradiation, *Comprehensive. Reviews in Food Science and Food Safety.* 10, 143-151 (2011).
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY [IAEA]. Irradiation as a phyto-sanitary treatment of food and agricultural commodities. Proceedings of a final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA. IAEA-TECDOC-1427, Nov. (2004).

8. PEDNEKAR, M., DAS, A.K., RAJALAKSHMI, V. and SHARMA, A. Radiation processing and fungsional properties of soybean (*Glycine max*). *Rad Phys & Chem.* 79, 490-494 (2010).
9. DIXIT, A.K., KUMAR, V., RANI, A., MANJAYA, J.G. and BHATNAGAR, D. Effect of gamma irradiation on lipoxygenases, trypsin inhibitor, raffinose family oligosaccharides and nutritional factors of different seed coat colored soybean (*Glycine max* L.). *Rad Phys & Chem.* (2011).
10. TOLEDO, T.C.F., BRAZACA, S.G.C., ARTHUR, V. and PIEDEDE, S.M.S. Effects of gamma radiation on total phenolics, trypsin and tanin inhibitors in soybean grains. *Rad Phys & Chem.* 76, 1653-1656 (2007).
11. AL-KAISEY M, ALWAN AKH, MOHAMMAD, M.H. and SAEED, A.H. Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean. *Rad Phys & Chem.* 67, 493-496 (2003).
12. EBRAHIMI, S.R., NIKKHAH, A., SADEGHI, A.A. and RAISALI, G. Chemical composition, secondary compounds, ruminal degradation and in vitro crude protein digestibility of gamma irradiated canola seed. *Animal Feed Sci & Tech.* 151, 184-193 (2009).
13. BHAT, R., SRIDHAR, K.R. and TOMITA-YOKOTAMI, K. Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*). *Food Chem.* 103, 860-866 (2007).
14. EL-NIELY, H.F.G. Effect of radiation processing on antinutrients, in-vitro protein digestibility and protein efficiency ratio bioassy of legume seeds. *Rad Phys & Chem.* 76, 1050-1057 (2007).
15. DUODU, K.G., MINNAAR, A. and TAYLOR, J.R.N. Effect of cooking and irradiation on the labile vitamins and antinutrient content of a traditional African sorghum porridge and spinach relish. *Food Chem.* 66, 21-27 (1999).
16. VILLAVICENCIO, A.L.C.H., MANCINI-FILHO, J., DELINCEE, H. and GREINER, R. Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. *Rad Phys & Chem.* 57, 289-293 (2000).
17. MOHAMED, E.A., ALI, N.A., AHMED, S.H., AHMED, I.A.M. and BABIKER, E.E. Effect of radiation process on antinutrients and HCl extractability of calcium, phosphorus and iron during processing and storage. *Rad Phys & Chem.* 79, 791-796 (2010).
18. TANHINDARTO, R.P. dan IRAWATI, Z. Status litbang pengawetan makanan menggunakan radiasi pengion, Seminar Pendayagunaan Prosiding Seminar Nasional XIV "Kimia Dalam Industri dan Lingkungan", Yogyakarta: 13-14 Sep, 132-138 (2005).
19. TANHINDARTO, R.P., HARIYADI, P., ANDARWULAN, N. dan IRAWATI, Z. Aplikasi iradiasi mesin berkas elektron untuk disinfestasi serangga *Tribolium castaneum* (Herbst) pada tepung terigu, Yogyakarta: Seminar Nasional PATPI. 2-3 Agustus: R 531-540 (2006).
20. SHAWRANG, P., SADEGHI, A.A., BEHGAR, M., ZARESHAHI, H. and SHAHHOSEINI, G. Study of chemical compositions, anti-

- nutritional contents and digestibility of electron beam irradiated sorghum grains. *Food Chem.* 125, 376-379 (2011).
21. EBRAHIMI-MAHMOUDABAD, S.R. and TAGHINEJAD-ROUDBANEH, M. Investigation of electron beam irradiation effects on anti-nutritional factors, chemical composition and digestion kinetics of whole cottonseed, soybean, and canola seeds. *Rad Phys & Chem.* 80, 1441-1447 (2011).
22. TAGHINEJAD-ROUDBANEH, M., EBRAHIMI, S.R., AZIZI, S. and SHAWRANG, P. Effects of electron beam irradiation on chemical composition, antinutritional factors, ruminal degradation and in vitro protein digestibility of canola meal. *Rad Phys & Chem.* 79, 1264-1269 (2010).
23. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY [IAEA]. Dosimetry for Food Irradiation. *Technical Reports Series* No. 409. International Atomic Energy Agency. Vienna (2002).
24. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS [ASTM]. Standards on Color and Appearance Measurement, third edition. 1916 Race St, Philadelphia, PA 19103 (1991).
25. BHADARI, M.R. and KAWABATA, J. Cooking effects on oxalate, phytate, trypsin and α -amylase inhibitors of wild yam tubers of Nepal. *J of Food Composition & Analysis.* 19, 524-530 (2006).
26. SMITH, C., MEGEN, W.V., TWAALFHOVEN, L. and HITCHCOCK, C. The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. *Society of Chem Ind.*, 341-350 (1980).
27. HOLDSWORTH, S.D. Principles of Thermal Processing: Sterilization. *In: Engineering Aspects of Thermal Food Processing* (SIMPSON R, Ed.) CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton London New York (2009).
28. VILLOTA, R. and HAWKES, J.G. Reaction Kinetics in Food Systems, *In: Handbook of Food Engineering*, (HELDMAN, D.R. & LUND, D.B., Ed). Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong (1992).
29. KUMAR, V., SINHA, A.K., MAKKAR, H.P.S. and BECKER, K. Dieteary roles of phytate and phytate in human nutrition: A review. *Food Chem.* 120 (4), 945-959, (2010).
30. MEXIS, S.F. and KONTAMINAS, M.G. Effect of γ -irradiation on the physico-chemical and sensory properties of cashew nuts (*Anacardium occidentale* L.) *Food Sci & Tech*, 42, 1501-1507 (2009).
31. TANHINDARTO, R.P., DWI. K., PRIH, S. dan MUGIONO. Pengaruh iradiasi gamma (^{60}Co) terhadap mutu beras Atomita IV. Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi. Jakarta, 19-20 Februari 2003. Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN, 279-286 (2004).

