

## **APLIKASI TEKNOLOGI HURDLE MENGGUNAKAN IRADIASI GAMMA DAN PENYIMPANAN BEKU UNTUK MEREDUKSI BAKTERI PATOGEN PADA BAHAN PANGAN : KAJIAN PUSTAKA**

### ***Combination of Gamma Irradiation and Freezing as Hurdle Technology for Reducing Pathogens Contamination in Food : A Review***

Annisa Fadlilah Koos Cahyani<sup>1</sup>, Lauren Crisya Wiguna<sup>1</sup>, Risqia Adinda Putri<sup>1</sup>, Vicha Vitalaya Masduki<sup>1</sup>, Agustin Krisna Wardani<sup>1\*</sup>, Harsojo<sup>2</sup>

1) Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, FTP Universitas Brawijaya Malang  
Jl. Veteran, Malang 65145

2) Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN  
Jl. Lebak Bulus Batan Ps. Jumat, Jakarta Selatan 12240

\*Penulis Korespondensi, Email: agustinwardani@ub.ac.id

#### **ABSTRAK**

Iradiasi gamma merupakan teknologi pengawetan pangan yang berpotensi untuk digunakan karena tidak menimbulkan perubahan sensoris seperti halnya pada pengawetan pangan konvensional (penggunaan panas). Teknologi ini mampu mereduksi bakteri patogen pada bahan pangan, seperti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp., *Vibrio* sp., dan *Clostridium perfringens* dengan cara merusak DNA dari bakteri-bakteri tersebut. Efektivitas iradiasi gamma dalam mereduksi bakteri patogen dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis bakteri, dosis iradiasi, serta kondisi selama iradiasi dan pasca iradiasi. Selain itu, penggunaan teknologi iradiasi gamma masih perlu dikombinasikan dengan pengawetan lainnya seperti penyimpanan beku sebagai teknologi *hurdle* yang akan memberikan hasil yang lebih maksimal. Hal ini dikarenakan penyimpanan beku dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen dan mencegah bakteri memperbaiki DNA pasca iradiasi. Dengan aplikasi teknologi *hurdle* (iradiasi gamma dan penyimpanan beku) diharapkan keamanan pangan dapat ditingkatkan tanpa mempengaruhi kualitas sensoris bahan pangan tersebut.

Kata kunci : Bakteri Patogen, Iradiasi Gamma, Keamanan Pangan, Penyimpanan Beku

#### **ABSTRACT**

Gamma irradiation is a potential preservation method to be used since it has less effect on sample's sensory quality compared to conventional preservation method (heat utilization). Gamma irradiation could lower the growth of pathogen bacteria such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp., *Vibrio* sp., and *Clostridium perfringens* by damaging the DNA. The effectiveness of gamma irradiation is influenced by several factors such as types of bacteria, irradiation doses, as well as the conditions during and post irradiation. Moreover, there is a need to combine gamma irradiation with another preservation method such as freezing as hurdle technology which give more effective result. The effective result would be obtained as freezing could inhibit the growth of pathogens and prevent post irradiation DNA repairing in some bacteria. By using this hurdle technology (gamma irradiation and freezing), it is expected that food safety could be improved without affecting the sensory value of food.

Keywords : Food Safety, Freezing, Gamma Irradiation, Pathogen Bacteria

## PENDAHULUAN

Bahan pangan yang memiliki kandungan air dan protein yang tinggi dapat menjadi media pertumbuhan yang baik bagi bakteri patogen. Keberadaan bakteri patogen dan toksin yang dihasilkannya pada bahan pangan dapat menjadi ancaman untuk kesehatan masyarakat serta berpotensi menyebabkan Kejadian Luar Biasa (KLB) keracunan pangan. Berdasarkan data BPOM RI, sebanyak 42.86% KLB keracunan pangan yang terjadi di Indonesia pada tahun 2012 disebabkan oleh mikroba [1]. Beberapa bakteri patogen yang banyak mengkontaminasi bahan pangan berbasis protein tinggi antara lain *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella* sp., *Vibrio* sp., dan *C. perfringens* [2].

Adanya potensi keracunan pangan yang disebabkan oleh bakteri patogen menuntut adanya upaya lebih lanjut untuk meningkatkan keamanan pangan. Umumnya, teknologi yang digunakan untuk pengawetan pangan adalah pengeringan atau cara lain yang menggunakan panas. Metode ini memiliki kelemahan dimana bahan pangan menjadi tidak segar dan berubah karakteristik sensorisnya. Di sisi lain, masyarakat menghendaki bahan pangan dalam keadaan segar dan aman. Salah satu metode pengawetan yang dapat digunakan untuk mereduksi bakteri patogen adalah dengan memanfaatkan teknologi iradiasi gamma. Teknologi ini efektif dalam membunuh bakteri patogen pada bahan pangan tanpa menyebabkan penurunan kandungan nutrisi yang signifikan [3]. Pada proses ini, komponen-komponen utama pada makanan seperti protein, lemak, dan karbohidrat hanya mengalami perubahan yang sangat kecil akibat proses iradiasi [4]. Namun, beberapa jenis bakteri patogen memiliki kemampuan untuk memperbaiki DNA pasca iradiasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan kombinasi dengan penyimpanan beku dalam upaya memaksimalkan penggunaan teknologi iradiasi gamma pada bahan pangan. Suhu beku dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen dan mencegah bakteri memperbaiki DNA pasca iradiasi.

### Iradiasi Pangan

Iradiasi pangan pada umumnya menggunakan sumber radiasi pengion berupa sinar gamma, sinar-x, atau berkas elektron. Berdasarkan peraturan standar internasional *Codex General Standard* untuk makanan iradiasi, hanya ketiga sinar ini yang telah disahkan untuk digunakan dalam aplikasi iradiasi pangan [5]. Iradiasi berkas elektron dilakukan dengan menggunakan mesin berkas elektron berenergi tinggi (10 MeV) yang dapat menembus produk pangan hingga kedalaman 3 cm. Sedangkan iradiasi gamma dilakukan dengan menggunakan sinar gamma berenergi tinggi yang berasal dari Cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) atau Cesium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) dengan umur paruh yang panjang (masing-masing 5.27 dan 30.10 tahun) dan kemampuan penetrasi yang tinggi (hingga 20 cm) [6]. Sumber iradiasi gamma yang banyak digunakan adalah  $^{60}\text{Co}$  karena memiliki energi radiasi gamma yang lebih besardari  $^{137}\text{Cs}$  dan ketersediaannya banyak.  $^{60}\text{Co}$  diproduksi dalam reaktor nuklir melalui proses iradiasi  $^{59}\text{Co}$  yang ditembak dengan neutron sehingga menghasilkan  $^{60}\text{Co}$  yang merupakan atom tidak stabil dan bersifat radioaktif.  $^{60}\text{Co}$  yang radioaktif akan terus meluruh dan memancarkan sinar gamma sehingga menghasilkan atom  $^{60}\text{Ni}$  yang stabil dan tidak bersifat radioaktif [7].

Derajat perubahan secara fisik dan kimiawi yang terjadi pada saat bahan makanan dipaparkan pada energi iradiasi yang tinggi dapat ditentukan dengan menggunakan energi serap. Dosis serap menyatakan jumlah energi iradiasi yang diserap oleh bahan per satuan massa. Dalam proses iradiasi, energi serap dinyatakan dalam satuan gray (Gy). Sedangkan kemampuan beberapa nuklida (isotop tidak stabil) untuk memancarkan partikel-partikel, sinar gamma, atau sinar-x selama proses peluruhan spontan menjadi nuklida lain yang stabil disebut radioaktivitas. Satuan yang digunakan adalah becquerel (Bq) [3].

Dalam industri pangan terdapat tiga prinsip proses radiasi yang diklasifikasikan berdasarkan dosis yang dapat digunakan untuk memperpanjang umur [8], yaitu:

- a. Radapertisasi, yaitu dosis tinggi. Dosis ini biasanya digunakan untuk sterilisasi. Dosis yang digunakan berkisar antara 30 sampai 50 kGy sehingga dapat membunuh semua mikroorganisme yang ada dalam makanan.

- b. Radisidasi, yaitu dosis sedang. Dosisnya berkisar antara 1 sampai 10 kGy dan digunakan untuk membunuh seluruh bakteri patogen non spora termasuk *Salmonella* dan *Lysteria*. Penggunaan dosis ini sama dengan proses pasteurisasi termal (*thermal pasteurization*). Dosis ini pada umumnya digunakan pada produk makanan beku.
- c. Radurisasi, yaitu dosis rendah. Penggunaan dosis ini sama dengan proses pasteurisasi panas (*heat pasteurization*). Dosisnya berkisar antara 0.40 sampai 2.50 kGy dan digunakan untuk mengurangi jumlah mikroba yang ada pada produk pangan serta menunda pematangan.

### **Mekanisme Iradiasi dalam Menghambat Pertumbuhan Mikroba**

Iradiasi pangan dengan radiasi pengion dapat menyebabkan terjadinya ionisasi (pelepasan sebuah elektron), disosiasi (pelepasan suatu atom hidrogen), atau eksitasi (perpindahan elektron dari lintasan dalam ke lintasan luar) [9]. Sedangkan efek yang ditimbulkan pada mikroorganisme dapat berupa efek langsung dan efek tidak langsung. Efek langsung terjadi apabila radiasi pengion mengenai atom yang terdapat pada molekul *DNA* maupun komponen-komponen penting lain sehingga menyebabkan terputusnya ikatan rantai pada *DNA* dan mempengaruhi kemampuan sel untuk bereproduksi dan bertahan. Sedangkan efek tidak langsung terjadi apabila radiasi mengenai molekul air yang merupakan komponen utama dalam sel sehingga terjadi proses radiolisis pada molekul air dan terbentuk radikal bebas [10]. Radikal bebas yang terbentuk tersebut memiliki sifat yang sangat reaktif sehingga dapat menyebabkan proses oksidasi, reduksi, serta pemecahan ikatan C-C pada molekul-molekul lain termasuk *DNA* pada sel mikroba [11].

Tingkat kerusakan sel mikroba berkaitan erat dengan resistensi mikroba tersebut terhadap iradiasi yang dinyatakan dengan nilai  $D_{10}$ . Nilai  $D_{10}$  adalah nilai yang menunjukkan besarnya dosis iradiasi (kGy) yang dibutuhkan untuk menurunkan jumlah bakteri sebanyak 90% dari jumlah total sehingga mengakibatkan inaktivasi populasi mikroba sebanyak satu log. Makin tinggi nilai  $D_{10}$  menunjukkan makin tahan bakteri tersebut terhadap iradiasi [12][13]. Nilai  $D_{10}$  dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, yaitu [7]:

- a. Ukuran dan susunan struktur *DNA* pada sel mikroba
- b. Senyawa yang terkait dengan *DNA* ada sel, seperti nukleoprotein, *RNA* lipid, lipoprotein dan ion metal. Pada spesies mikroorganisme tertentu, substansi-substansi tersebut dapat menimbulkan efek tidak langsung yang berbeda-beda pula terhadap radiasi.
- c. Keberadaan oksigen selama proses iradiasi. Oksigen dapat meningkatkan efek letal pada mikroorganisme, sehingga pada kondisi anaerob, nilai  $D_{10}$  pada beberapa bakteri vegetatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan kondisi aerob.
- d. Kandungan air. Mikroorganisme akan lebih resisten saat diiradiasi pada kondisi kering karena pembentukan radikal bebas dari air yang terjadi selama proses radiasi cukup rendah atau bahkan tidak ada. Oleh karena itu, efek tidak langsungnya terhadap *DNA* sel mikroorganisme rendah atau bahkan tidak ada.
- e. Suhu. Perlakuan iradiasi yang digabungkan dengan peningkatan suhu dalam kisaran suhu subletal (diatas 45°C) akan meningkatkan efek bakterisidal pada sel vegetatif. Mikroorganisme vegetatif memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap radiasi terutama pada suhu beku jika dibandingkan dengan suhu ruang. Hal ini disebabkan oleh penurunan aktivitas air ( $A_w$ ) pada suhu beku sehingga radikal bebas akan semakin sulit dalam berdifusi.
- f. Komposisi media. Nilai  $D_{10}$  untuk mikroorganisme tertentu akan berbeda pada media yang berbeda pula.
- g. Kondisi pasca iradiasi. Mikroorganisme akan dapat memperbaiki diri pasca iradiasi saat berada pada kondisi lingkungan (suhu, ph, nutrisi, inhibitor) yang sesuai.

## **Keamanan Pangan Iradiasi**

Batas kekuatan energi sumber radiasi gamma yang digunakan untuk pengawetan bahan pangan maksimal sebesar 5 MeV. Batasan ini ditetapkan berdasarkan pembentukan imbas radioaktif yang akan timbul pada atom-atom dari bahan jika energi radiasi yang digunakan lebih dari 5 MeV. Sumber radiasi gamma berupa  $^{60}\text{Co}$  yang menghasilkan energi sebesar 1.33 MeV dan  $^{137}\text{Cs}$  yang menghasilkan energi sebesar 0.66 MeV tidak akan menimbulkan imbas radioaktif. Selain itu, radiasi yang dipancarkan dari sumbernya adalah dalam bentuk energi, bukan benda atau partikel sehingga proses ini tidak meninggalkan residu apapun pada bahan pangan maupun benda di sekitarnya. Oleh karena itu proses iradiasi pangan dapat dikatakan aman, bersih, serta ramah lingkungan.

Penggunaan teknologi iradiasi pada bahan pangan bahkan telah disahkan oleh *Food and Drug Administration (FDA)*, yang menetapkan peraturan tentang pelabelan pada produk pangan teriradiasi. *FDA* menetapkan bahwa pada kemasan produk pangan yang telah diiradiasi harus mencantumkan logo radura (*radiation durable*). Iradiasi pangan di Indonesia dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 826/MENKES/PER/XII/1987, Nomor 152/MENKES/SK/II/1995, dan Nomor 701/MENKES/PER/VII/2009, serta Undang-undang Pangan RI Nomor 7/1996, Label Pangan Nomor 69/1999 paragraf 34, dan peraturan perdagangan internasional tentang komersialisasi komoditi pangan iradiasi dan peraturan standar internasional *Codex Alimentarius Commission* untuk makanan iradiasi [14].

Ditinjau dari aspek nutrisi, proses iradiasi tidak menimbulkan dampak penurunan keamanan pangan. Perubahan kandungan gizi pada makanan akibat proses iradiasi pada umumnya berkaitan dengan dosis iradiasi, komposisi makanan, suhu, serta ketersediaan oksigen. Pada dosis rendah, perubahan kandungan gizi tidak begitu terlihat, sedangkan pada dosis sedang, penurunan kandungan nutrisi unsur mikro dapat terjadi pada makanan yang kontak dengan udara selama iradiasi atau penyimpanan [15]. Komponen-komponen utama pada makanan seperti protein, lemak, dan karbohidrat hanya mengalami perubahan yang sangat kecil akibat proses iradiasi, bahkan ketika dosis yang digunakan lebih dari 10 kGy. Asam amino esensial, mineral, dan sebagian besar vitamin juga tidak mengalami perubahan yang signifikan akibat iradiasi [4].

Proses iradiasi dengan menggunakan dosis tinggi (>10 kGy) dapat menyebabkan terjadinya denaturasi protein serta perubahan fungsi dan komposisi dari asam-asam amino esensial [16]. Terbentuknya radikal hidroksil yang sangat reaktif akibat proses radiolisis dapat menyebabkan terjadinya oksidasi lemak dan menghasilkan hidroperoksida yang menyebabkan perubahan aroma dan rasa. Akan tetapi, proses oksidasi dapat diperlambat dengan mengemas bahan pangan dalam keadaan vakum (tanpa oksigen) menggunakan *modified atmosphere (MAP)* [16][17]. Iradiasi juga dapat menyebabkan penurunan kandungan vitamin pada bahan pangan, namun tidak signifikan karena penurunan jumlahnya jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan penurunan akibat perlakuan panas. Beberapa jenis vitamin seperti riboflavin, niasin, dan vitamin D tidak begitu sensitif terhadap iradiasi, tetapi vitamin A, B<sub>1</sub> (tiamin), E, dan K sangat sensitif terhadap iradiasi, terutama jika pada proses iradiasi terdapat oksigen [4][7].

Sedangkan dari aspek kimia, perubahan yang terjadi akibat radiasi secara kuantitatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan proses pemanasan. Hal ini disebabkan proses iradiasi tidak menimbulkan kenaikan suhu pada bahan yang dilaluinya sehingga energi yang diserap oleh bahan pangan yang diiradiasi jauh lebih rendah. Perubahan senyawa kimia yang terjadi akibat radiasi akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi yang digunakan. Selain itu, perubahan tersebut juga sangat bergantung pada komposisi bahan yang diradiasi [14].

### **Kombinasi Iradiasi Gamma dengan Penyimpanan Beku**

Pada umumnya, penggunaan iradiasi gamma cukup efektif untuk menurunkan jumlah bakteri patogen dan memperpanjang umur simpan produk, namun beberapa bakteri patogen memiliki kemampuan untuk bertahan dan memperbanyak diri pasca iradiasi [18]. Oleh karena itu, perlu adanya kombinasi iradiasi gamma dengan teknik pengawetan lain sebagai teknologi *hurdle* untuk memberikan hasil yang optimal. Salah satu teknik pengawetan yang dapat digunakan adalah penyimpanan beku [19].

Penyimpanan beku dilakukan pada suhu di bawah titik beku bahan, kira-kira  $-17^{\circ}\text{C}$  atau lebih rendah lagi. Pada suhu ini pertumbuhan bakteri sama sekali berhenti. Pada umumnya sebagian besar organisme pembusuk tumbuh cepat pada suhu di atas  $10^{\circ}\text{C}$ , sedangkan beberapa jenis organisme patogen masih dapat hidup pada suhu kira-kira  $3.30^{\circ}\text{C}$  [20]. Pada penyimpanan suhu beku, terjadi proses pembentukan kristal es yang akan mengurangi kadar air bahan dalam fase cair di dalam bahan pangan sehingga menghambat pertumbuhan mikroba [21].

Pembekuan akan meningkatkan konsentrasi elektrolit di dalam sel mikroba karena air bebas membeku membentuk kristal es dan merusak sistem koloidal dari protoplasma (misalnya sistem koloid protein) [22]. Pembentukan kristal es sangat dipengaruhi oleh kecepatan pembekuan. Pada pembekuan lambat kristal es yang dihasilkan berukuran besar, sedangkan pada pembekuan cepat kristal es yang dihasilkan berukuran lebih kecil. Kristal es yang besar dapat merusak dinding sel mikroba sehingga mengakibatkan metabolisme sel tidak dapat berjalan normal dan pertumbuhan mikroba menjadi terhambat. Selama pembekuan, sekitar 60% populasi mikroba mengalami kematian [23].

### **Aplikasi Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku pada Bahan Pangan**

Iradiasi gamma dan penyimpanan beku dapat mereduksi bakteri patogen yang terdapat pada bahan pangan, khususnya yang memiliki kandungan protein tinggi. Beberapa bakteri patogen yang banyak mengkontaminasi bahan pangan tersebut antara lain *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella* sp., *Vibrio* sp., dan *C. perfringens* [2]. Bakteri-bakteri patogen tersebut memiliki karakteristik sebagai berikut.

- *E. coli*, merupakan salah satu spesies bakteri Gram negatif yang mampu menghasilkan endotoksin dan menyebabkan kasus diare berat pada semua kelompok usia [10].
- *S. aureus*, merupakan bakteri Gram positif yang mampu menghasilkan toksin penyebab infeksi jaringan lunak, seperti *Toxic Shock Syndrome (TSS)* dan *Scalded Skin Syndrome (SSS)* [24].
- *Salmonella* sp., merupakan bakteri Gram negatif yang dapat menimbulkan gastroenteritis (gangguan saluran pencernaan) akut [2].
- *Vibrio* sp., merupakan bakteri Gram negatif yang mampu menghasilkan enterotoksin penyebab keracunan makanan dengan gejala nyeri perut, diare, mual dan jarang disertai muntah [24].
- *C. perfringens*, merupakan bakteri Gram positif serta mampu menghasilkan spora dan eksotoksin yang dapat menyebabkan sakit perut dan diare [2].

Beberapa penelitian terkait aplikasi iradiasi gamma dan penyimpanan beku pada bahan pangan telah dilakukan, antara lain cumi-cumi, hati sapi, udang vaname, serta bakso dan rolade ayam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa iradiasi gamma dan penyimpanan beku memberikan pengaruh terhadap penurunan jumlah bakteri patogen. Jumlah *E. coli* dan *S. aureus* pada cumi-cumi dapat direduksi hingga 5 dan 3 *log cycles* dengan dosis iradiasi sebesar 3 kGy dan penyimpanan beku selama 6 hari [25]. Sedangkan jumlah *E. coli* dan *S. aureus* pada hati sapi dapat direduksi hingga 6 dan 3 *log cycles* dengan dosis iradiasi sebesar 3 kGy dan penyimpanan beku selama 6 hari [26]. Pada udang vaname, penggunaan dosis iradiasi 3 kGy dan penyimpanan beku selama 2 hari mampu mereduksi *S. aureus* dan *E. coli* sebesar 2 dan 5 *log cycles* [27]. Sedangkan pada bakso dan rolade ayam, penggunaan dosis iradiasi 3 kGy dan penyimpanan beku selama 2 hari mampu mereduksi jumlah *E. coli* dan *S. aureus* hingga 3 dan 4 *log cycles* [28].

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, tampak adanya kecenderungan bakteri Gram positif lebih sulit direduksi oleh iradiasi gamma dibandingkan bakteri Gram negatif. Hal ini disebabkan oleh struktur dinding sel bakteri Gram positif yang memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal dan kaku, sehingga membutuhkan dosis yang relatif tinggi untuk mereduksi jumlahnya. Sedangkan bakteri Gram negatif terdiri dari lipopolisakarida yang tebal dan peptidoglikan yang tipis, sehingga relatif lebih mudah ditembus oleh energi radiasi gamma [29].

## **SIMPULAN**

Iradiasi gamma dan penyimpanan beku berpotensi untuk mereduksi bakteri patogen pada bahan pangan karena dapat merusak *DNA* bakteri tanpa menyebabkan perubahan kualitas sensoris bahan pangan. Selain itu, iradiasi gamma aman diaplikasikan pada bahan pangan karena tidak menimbulkan sifat radioaktif.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- 1) Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). 2012. Laporan Tahunan 2012. BPOM RI. Jakarta.
- 2) Lawley, R., L. Curtis, and J. Davis. 2012. The Food Safety Hazard Guide Book Second Edition. RSC Publishing. UK.
- 3) Barbosa-Cánovas, G.V., Pothakamury, U.R., Palou, E., and Swanson, B.G. 1998. Nonthermal Preservation of Foods. Marcel Dekker, Inc. New York.
- 4) Loaharanu, P. 2007. Irradiated Foods Sixth Edition. American Council on Science and Health. New York.
- 5) Riganakos, K.A. 2010. 'Food Irradiation Techniques'. Dalam I.S. Arvanitoyannis (ed.). Irradiation of Food Commodities. Academic Press, USA.
- 6) Grocery Manufacturers Association (GMA). 2009. Food Irradiation. Science Policy Paper. Washington DC.
- 7) Aquino, K. 2012. 'Sterilization by Gamma Irradiation'. Dalam Feriz Adrovic (ed.). Gamma Radiation. InTech.
- 8) Blank, G. and R. Cumming. 2001. 'Irradiation'. Dalam N.A.M. Eskin and D.S. Robinson (ed.). Food Shelf Life Stability: Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes. CRC Press, USA.
- 9) Ahn, D.U. and E.J. Lee. 2013. 'Mechanisms and Prevention of Quality Changes in Meat by Irradiation'. Dalam C.H Sommers and X. Fan (ed.). Food Irradiation Research and Technology Second Edition. Blackwell Publishing, Ames.
- 10) Adams, M.R. and Moss, M.O. 2008. Food Microbiology Third Edition. RSC Publishing. Cambridge.
- 11) Ray, B. 2005. Fundamental Food Microbiology Third Edition. CRC Press. Boca Raton.
- 12) Harsojo dan Andini, L.S. 2010. Dekontaminasi Beberapa Bakteri Patogen Pada Daging dan Jeroan Kerbau Dengan Iradiasi Gamma. Prosiding Lokakarya Nasional Kerbau, BATAN, Jakarta, 116 – 120.
- 13) Lazarine, A.D. 2008. Development of An Electron Beam Irradiation Design for Use in The Treatment of Municipal Biosolids and Wastewater Effluent. Disertasi Doktor. Texas A&M University. Texas.
- 14) Irawati, Z. 2007. Pengembangan Teknologi Nuklir untuk Meningkatkan Keamanan dan Daya Simpan Bahan Pangan. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* 3:2, 41 – 52.
- 15) Hermana. 1991. Iradiasi Pangan. Penerbit ITB. Bandung.
- 16) Leadley, C. 2008. 'Novel Commercial Preservation Methods'. Dalam G.S. Tucker (ed.). Food Biodeterioration and Preservation. Blackwell Publishing, Oxford.
- 17) Fellows, P.J. 2000. Food Processing Technology. CRC Press. USA.
- 18) Çorapçı, B. and Kaba, N. 2011. Irradiation Technology in Sea Products. *Journal of Yunus Araştırma Bülteni* 4, 22 – 27.

- 19) Genç, İ.Y. and Diler, A.. 2013. Elimination of Foodborne Pathogens in Seafoods by Irradiation: Effect on the Quality and Shelf-Life. *Journal of Food Science and Engineering* 3, 99 – 106.
- 20) Huda, S. 2008. Penyimpanan Makanan pada Suhu Rendah dan Pengaruhnya pada Bahan Makanan. Materi Pelatihan Pengolahan Hasil Pertanian dan Pengawetan Pangan. Jakarta.
- 21) Rohana, A. 2002. Pembekuan. Universitas Sumatera Utara Press. Sumatera Utara.
- 22) Yuliatin, F. 2008. Kemampuan Bertahan *Salmonella* selama Proses Pembekuan Es. Skripsi Sarjana TP. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- 23) Dave, D. and Ghaly, A.E.. 2011. Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 6:4, 485 – 510.
- 24) Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2009. SNI 7388 : 2009 Batas Maksimum Cemaran Mikroba dalam Pangan. SNI. Jakarta.
- 25) Putri, R.A. 2014. Efek Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku untuk Mereduksi Cemaran Mikroba pada Cumi-cumi Segar (*Loligo duvauceli*) sebagai Upaya Peningkatan Keamanan Pangan. Skripsi Sarjana TP. Universitas Brawijaya. Malang.
- 26) Wiguna, L.C. 2014. Peningkatan Keamanan Pangan pada Hati Sapi Segar dengan Menggunakan Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku (Kajian Dosis Iradiasi dan Lama Penyimpanan). Skripsi Sarjana TP. Universitas Brawijaya. Malang.
- 27) Masduki, V.V. 2014. Aplikasi Iradiasi Gamma dan Suhu Penyimpanan dalam Meningkatkan Keamanan Mikrobiologis Udang Vaname (*Litopenaus vannamei*). Skripsi Sarjana TP. Universitas Brawijaya. Malang.
- 28) Cahyani, A.F.K. 2014. Kombinasi Iradiasi Gamma dan Suhu Penyimpanan untuk Meningkatkan Keamanan Pangan Produk Olahan Daging Ayam. Skripsi Sarjana TP. Universitas Brawijaya. Malang.
- 29) Mantilla, S.P.S., Santos, É.B., Vital, H.C., Mano, S.B., Freitas, M.Q., Franco, R.M. 2011. Microbiology, Sensory Evaluation and Shelf Life of Irradiated Chicken Breast Fillet Stored in Air or Vacuum. *Brazilian Archives of Biology and Technology International Journal* 54:3, 569 – 576.