

Iradiasi Bahan Pangan: Antara Peluang dan Tantangan untuk Optimalisasi Aplikasinya

Food Irradiation: Between Opportunity and Challenges for Optimizing Applications

Nurul Asiah^{1*}, Kezia Nadira Kusaumantara¹, Arianti Nur Annisa²

¹ Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Bakrie

Jl. H.R. Rasuna Said, Kav C-22, Jakarta 12920, Indonesia

² Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

* e-mail: nurul.itpub@gmail.com

ABSTRAK

Iradiasi bahan pangan merupakan salah satu teknologi yang telah mapan dan berkembang di dunia pangan dalam upaya peningkatan keamanan dan kualitas pangan. Penelitian beberapa dekade telah membuktikan bahwa iradiasi bahan pangan merupakan teknologi yang aman. Teknologi ini memiliki potensi yang sangat besar dan sudah banyak diterapkan di berbagai negara. Namun demikian dalam aplikasinya selalu dihadapkan dengan berbagai tantangan yang menghambat optimalisasi pemanfaatannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji faktor kritis dalam peluang dan tantangan aplikasi iradiasi bahan pangan di berbagai negara. Penelitian ini menggunakan metode meta analisis dengan menggunakan 40 jurnal sebagai sumber referensi. Berdasarkan hasil pengkajian, terdapat berbagai faktor kritis yang mempengaruhi optimalisasi aplikasi iradiasi bahan pangan. Faktor kritis tersebut meliputi sumber daya, teknologi, proses, keamanan produk, persepsi konsumen dan regulasi. Dengan mengetahui posisi semua aspek ini, maka diperlukan rancangan tindakan agar proses optimalisasi dapat diwujudkan. Hal ini bisa dilakukan dengan eksplorasi, pemetaan dan inventaris sumber daya yang ada, peningkatan kualitas maupun kuantitas fasilitas dan kegiatan penelitian, pengetatan teknik pengemasan dan pelabelan, monitoring dan pengawasan kualitas produk sepanjang rantai proses dan distribusi dari produsen kemudian distributor hingga konsumen, edukasi kepada konsumen terkait terminologi iradiasi bahan pangan, dan penetapan regulasi terkait baik di dalam negeri maupun di negara lain melalui *bilateral agreements*. Langkah-langkah optimalisasi ini diharapkan dapat diterapkan secara berkelanjutan dalam dunia pangan. Hal ini sejalan dengan tantangan peningkatan jumlah populasi manusia dan terbatasnya lahan pertanian, isu globalisasi dan perdagangan internasional yang membutuhkan keamanan maupun ketahanan pangan yang baik. Semua ini bisa diwujudkan dengan kerjasama dari berbagai pihak, baik pemerintah, pelaku dunia industri pangan, pemegang pasar serta masyarakat sebagai konsumen.

Kata kunci: Aplikasi, bahan pangan, iradiasi, peluang, tantangan

ABSTRACT

Food irradiation is one of the established and growing technologies in the world to improve food safety and quality. Research have proven that food irradiation is a safe technology. This technology has enormous potential and has been widely applied in various countries. However, in its application is always faced with various challenges that hamper the optimization of its utilization. The purpose of this study is to identify the critical factors in the opportunities and challenges of food irradiation applications in various countries. This research was conducted through meta-analysis method by using 40 journals as references. Based on the results of the assessment, there are various critical factors that affect the optimization of food irradiation applications. The critical factors include resources, technology, processes, product safety, consumer perceptions and regulation. By knowing the position of all these aspects, it is necessary to design the action so that the optimization process can be realized. This can be done by exploring, mapping and inventory of existing resources, improving the quality and quantity of facilities and research activities, tightening packaging and labeling techniques, monitoring and supervising product quality throughout the process and distribution chains from producers and distributors to consumers, education to consumers related to the terminology of food irradiation, and the establishment of relevant regulations both within the country and elsewhere through *bilateral agreements*. The optimization is expected to be applied for food sustainably. This is in line with the challenge of increasing human population and limited agricultural land, globalization and international trade issues requiring security and even food security. All of this can be realized by cooperation of various parties, the government, the food industry, market holders and consumers.

Keywords: Application, food, irradiation, opportunity, challenge

PENDAHULUAN

Pertengahan abad 20-an penelitian aplikasi iradiasi bahan pangan untuk pengawetan bahan pangan menjadi hal yang sangat menarik untuk dikembangkan [1]. Radiasi bahan pangan banyak digunakan dalam pengembangan beberapa proses pengolahan pangan dengan berbagai tujuan seperti untuk makanan siap saji, makanan rumah sakit dan lainnya [2]. Radiasi pangan merupakan proses dimana bahan pangan dikenai radiasi pengion. Pemberian radiasi ini secara efektif mampu mengurangi mikroorganisme patogen, mencegah kerusakan, mencegah serangan serangga, mencegah perkecambahan dan memperlambat proses pematangan buah dan sayur [3]. Beberapa keunggulan proses iradiasi bahan pangan antara lain dapat mengurangi kontaminasi makanan, meningkatkan masa simpan bahan pangan tanpa mengubah struktur kimianya [4] dan mempercepat waktu preparasi pengawetan makanan [5].

Iradiasi adalah teknologi yang aman, sehat dan bersih untuk diterapkan pada industri pangan [6]. Telah banyak penelitian dan lembaga kesehatan yang membuktikan bahwa produk iradiasi dengan dosis yang tepat, aman untuk dikonsumsi karena tidak meninggalkan residu zat kimia yang berbahaya. Selain itu, proses iradiasi juga mampu menjaga nutrisi, kesegaran dan sifat sensori bahan pangan (tekstur, warna, rasa dan aroma). Hal ini karena perlakuan iradiasi tidak menerapkan suhu tinggi, sehingga kualitas produk bisa dipertahankan. Jika sumber iradiasi mengenai bahan pangan maka akan terjadi eksitasi dan ionisasi yang akan menghambat sintesis DNA pada makhluk hidup. Pengaruh inilah yang digunakan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen maupun pembusuk. Dengan demikian teknik ini juga berperan dalam memperpanjang umur simpan bahan pangan [7]. Tahun 2014 Shihoro Isotope Center, Hokkaido, melakukan iradiasi terhadap 5008 ton kentang, kemudian memberi label dan menjualnya pada outlet yang tepat. Kualitas kentang yang telah diiradiasi ternyata sangat bagus dan konsumen memberi komentar positif dan menyukai kualitas kentang tersebut [8].

Di negara Cina radiasi gamma dan berkas elektron banyak digunakan untuk mengontrol kualitas bahan pangan dan memperpanjang masa simpan. Radiasi sinar gamma terbukti mampu memperpanjang umur simpan *dairy-like product*. Pemberian radiasi sinar gamma dengan dosis 10

dan 5 kGy mampu membuat produk dapat disimpan selama lebih dari 100 hari, dosis 3 kGy selama 56 hari dan 1 kGy selama 42 hari. Sedangkan produk yang tidak diberi radiasi sinar gamma hanya mampu disimpan selama 14-28 hari dalam penyimpanan beku tanpa perubahan sifat fisiko kimia dan mikrobiologi [9]. Penerapan teknologi iradiasi bahan pangan juga dikombinasikan dengan metode pengawetan yang lain. Kombinasi iradiasi dan penyimpanan beku mampu memperpanjang masa simpan produk *seafood* tanpa menyebabkan penurunan kualitas sensori produk [10].

Berdasarkan *Irradiated Food Authorization Database*, iradiasi bahan pangan telah disetujui lebih dari 50 negara. Kebijakan mengenai iradiasi bahan pangan berbeda-beda baik penerapan maupun jumlah dosis yang digunakan. Di beberapa negara Eropa hanya sayur kering dan rempah yang bisa diberi perlakuan dengan ionisasi radiasi dengan dosis maksimum 10 kGy, sedangkan di Brazil berbagai kategori bahan pangan bisa diiradiasi dengan berbagai dosis. Kebijakan diseluruh dunia membutuhkan peraturan pemberian label yang tepat, sehingga konsumen mendapat informasi apakah bahan pangan yang mereka konsumsi telah diiradiasi atau tidak [3].

Teknologi iradiasi bahan pangan merupakan *green technology*, dimana dalam penggunaannya tanpa menggunakan bahan kimia dan tidak menghasilkan polusi. Teknologi ini juga merupakan teknologi yang bisa diterapkan secara berkelanjutan dalam dunia pangan, dimana sejalan dengan tantangan peningkatan jumlah populasi manusia dan terbatasnya lahan pertanian dan isu globalisasi dan perdagangan internasional yang membutuhkan keamanan dan ketahanan pangan yang baik [11].

Namun demikian dengan berbagai keunggulannya, metode ini belum menjadi proses pengolahan pangan yang komersil dan utama [12]. Teknologi ini memiliki potensi yang sangat tepat untuk diterapkan pada perdagangan pangan lintas negara. Teknologi iradiasi bahan pangan membutuhkan teknologi dengan investasi yang cukup mahal, masyarakat masih memiliki kesadaran yang kurang dan kekhawatiran adanya radioaktif yang tertinggal pada bahan pangan yang di iradiasi [13]. Adanya sisi kekurangan tersebut memerlukan adanya optimalisasi. Artikel ini merangkum dan menganalisa perkembangan terkini penerapan radiasi pada upaya peningkatan

keamanan dan kualitas pangan untuk mengkaji faktor kritis dalam peluang dan tantangan aplikasi iradiasi bahan pangan di berbagai negara.

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan dengan meta analisis. Meta analisis merupakan studi yang merangkum berbagai hasil penelitian secara kuantitatif. Pada umumnya, meta analisis dapat digunakan untuk menganalisis kembali hasil-hasil penelitian berdasarkan pengumpulan data atau hasil dari studi primer [14]. Studi primer yang dimaksud dapat berupa jurnal-jurnal penelitian yang telah terpublikasi sebelumnya dengan topik pembahasan terkait dengan studi. Selain itu, meta analisis juga dapat bersifat sebagai *systematic review* dimana kegiatannya melingkupi mengumpulkan, merangkum, mengolah, dan menyajikan data hasil dari berbagai penelitian atau studi primer. Kegiatan-kegiatan meta analisis tersebut bertujuan untuk menjawab atau mengisi kekurangan dari penelitian-penelitian sebelumnya, atau dapat menguatkan hasil dari penelitian yang sudah ada. Dalam penyusunannya, meta analisis bersifat objektif dan dalam pengkajiannya dilakukan terhadap berbagai penelitian dengan topik yang sejenis.

Literatur yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 80% berasal dari beberapa *database* elektronik internasional, seperti: Pengindeks Internasional Bereputasi Tinggi (PubMed, SCOPUS, *Thomson Web of Science*), Pengindeks Internasional Bereputasi Sedang (*Directory of Open Access Journals* (DOAJ), *Centre for Agriculture and Bioscience International* (CABI), EBSCO, Proquest, dan *Gale*). Selain itu, sebanyak 20% dari keseluruhan literatur yang digunakan berasal dari sumber buku, referensi yang memiliki ISSN dan ISBN, atau *website* resmi pemerintah maupun organisasi internasional.

Penyempitan dalam melakukan pencarian dan pengumpulan literatur dilakukan dengan melihat waktu publikasi literatur. Literatur yang diperoleh merupakan literatur yang memiliki batas atau tenggat waktu 10 tahun terakhir. Penelitian ini dilakukan pada tahun 2018, oleh karena itu batas tahun literatur yang dapat digunakan adalah dari tahun 2008 hingga 2018. Adanya batasan tahun publikasi pada literatur ini bertujuan untuk memberikan data atau hasil terkait penelitian yang

paling terbaru, agar hasil dari penelitian metaanalisis akan menjadi lebih akurat.

Dalam melakukan pencarian literatur atau jurnal, digunakan *search terms*. *Search terms* merupakan kata kunci yang berkaitan dengan topik penelitian. Fungsi dari *search terms* adalah optimasi pencarian jurnal agar mampu memperoleh jurnal yang sesuai dengan kriteria topik penelitian dan sekaligus mempersempit pencarian jurnal. Pemilihan *search terms* tersebut berdasarkan pada topik dan tujuan penelitian.

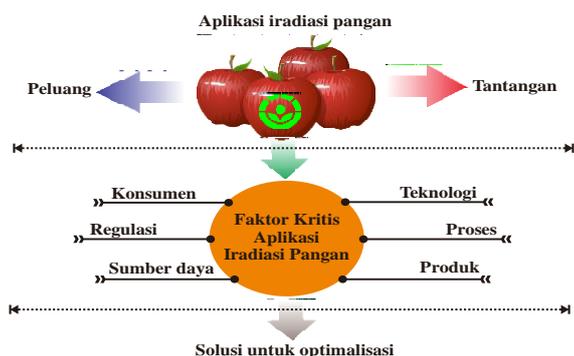
Search terms yang digunakan dalam bahasa Inggris dan dalam melakukan pencarian literatur, digunakan kombinasi dari *search terms* tiap topik. Melalui topik *search terms* ini, muncullah *search terms* yang merupakan hasil kombinasi dari topik tersebut. Terdapat 5 topik *search terms* yang digunakan dalam pencarian jurnal atau artikel yang masing-masing memiliki terminologi. Fungsi dari adanya terminologi ini adalah sebagai patokan pencarian jurnal atau artikel agar sesuai dengan kriteria atau tujuan penelitian. *Search terms* tersebut adalah *food irradiation* (iradiasi pangan), *application of food irradiation* (aplikasi iradiasi pangan), *challenge of food irradiation* (tantangan iradiasi pangan), *standardization of food irradiation* (standarisasi iradiasi pangan), dan *regulation of food irradiation* (regulasi iradiasi pangan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor kritis dalam peluang dan tantangan aplikasi iradiasi bahan pangan

Berdasarkan kajian literatur yang ada, aplikasi teknologi iradiasi pada bahan pangan memiliki peluang yang sangat besar untuk diterapkan dan memiliki tantangan yang tidak sedikit. Diantara keduanya terdapat beberapa faktor kritis yang menjadi kunci untuk mencari solusi agar teknologi ini bisa diaplikasikan dengan optimal. Model korelasi dari berbagai variabel tersebut sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Proses optimalisasi bisa dilakukan dengan melihat dan menganalisis korelasi antar variabel.

Faktor kritis yang muncul berasal dari dalam teknologi tersebut, namun bisa juga berasal dari luar seperti regulasi dan tingkat penerimaan dan persepsi konsumen terhadap kualitas dan keamanan produk iradiasi yang dihasilkan. Dengan demikian diperlukan kerjasama yang baik antara berbagai pihak yang memegang peranan penting dalam faktor-faktor tersebut.



Gambar 1. Model korelasi berbagai variabel dalam optimalisasi aplikasi iradiasi bahan pangan

Teknologi

Teknologi iradiasi menjadi sangat populer di dunia jika dibandingkan dengan teknologi pengolahan pangan yang melibatkan penggunaan panas dan bahan kimia dalam mengurangi maupun memusnahkan mikroorganisme yang berbahaya pada bahan pangan [15].

Iradiasi merupakan sebuah teknik pengawetan bahan pangan yang efektif dalam memperpanjang umur simpan suatu produk pangan. Iradiasi memiliki tingkat efektivitas yang baik dan tinggi dalam pencegahan pertunasan serta pemusnahan mikroba patogen, sehingga mampu memberikan keamanan pangan terhadap *foodborne illness*. Namun demikian adopsi teknik iradiasi berjalan dengan lambat, dikarenakan proses iradiasi tidak langsung membunuh target hama atau patogen secara langsung dan cepat serta teknologi yang membutuhkan fasilitas dengan *cost* yang relatif lebih mahal dan lebih kompleks dibandingkan dengan teknik pengawetan tradisional lainnya.

Beberapa tindakan yang bisa dilakukan untuk mengatasi hal tersebut diantaranya [16-17]:

- Beberapa negara perlu mengembangkan regulasi dan pedoman masing-masing terkait aplikasi iradiasi pada bahan pangan.
- Perkembangan regulasi dapat dilakukan melalui penukaran informasi dan *training* masing-masing perwakilan negara yang ahli atau bertugas untuk mengatur regulasi terkait iradiasi pangan.
- Perlu adanya eksplorasi terhadap sumber radiasi alternatif lain sebagai *gamma-irradiator*.
- Penggunaan mesin dengan sistem operasinya berdasarkan listrik yang mampu menghasilkan radiasi ionisasi seperti *electron beam* dan *X-ray*, sedang dikembangkan dan dievaluasi.

Proses

Terdapat sepuluh tahapan proses yang mempengaruhi keberhasilan proses iradiasi bahan pangan, di antaranya: penanganan pendahuluan bahan pangan sebelum diiradiasi, sortasi/pembersihan/ pengkelasan, uji kontaminasi, pengemasan, pengendalian kapasitas maksimum kemasan, *sealing*, proses iradiasi, penanganan keselamatan, observasi, dan uji laboratorium [18]. Dalam proses tersebut perlu diperhatikan beberapa hal tentang bagaimana memilih dan menggunakan kemasan dengan bahan material polimer cocok dengan teknik iradiasi, bagaimana meningkatkan efektivitas iradiasi terhadap bahan pangan, bagaimana mempertahankan keutuhan produk pangan, bahkan selama penyimpanan dan bagaimana mencegah terjadinya rekontaminasi terhadap produk pangan selama penyimpanan. Teknik iradiasi ini juga bisa dikombinasikan dengan penambahan bahan kimia, *deep-freezing*, penyimpanan dingin, *modified atmosphere storage* (MAP) dan penanganan dengan panas [19]. Kombinasi iradiasi dengan sinar gamma dan pencelupan dalam air panas berhasil mempertahankan kualitas dan memperpanjang masa simpan buah persik [20]. Penyimpanan beku yang dikombinasi dengan iradiasi gamma juga berhasil mereduksi bakteri patogen pada bahan pangan [21].

Terdapat beberapa tantangan dalam proses iradiasi bahan pangan:

- Teknik iradiasi dapat menginduksi dan menyebabkan perubahan kimia pada material *packaging* selama proses iradiasi, sehingga menimbulkan pemecahan senyawa penyusun material *packaging* pada produk.
- Material *packaging* untuk *pre-packed irradiated foods* dapat memberikan produk radiolisis (RP) kepada produk pangan.
- Regulator menetapkan aturan tentang penggunaan material polimer untuk bahan kemasan *pre-packed foods* untuk iradiasi, yaitu bahan material tersebut harus dievaluasi kesesuaiannya sebelum digunakan secara komersial.
- Terbatasnya metode atau cara untuk menilai kecocokan dan keamanan material *packaging* untuk digunakan pada teknik iradiasi.

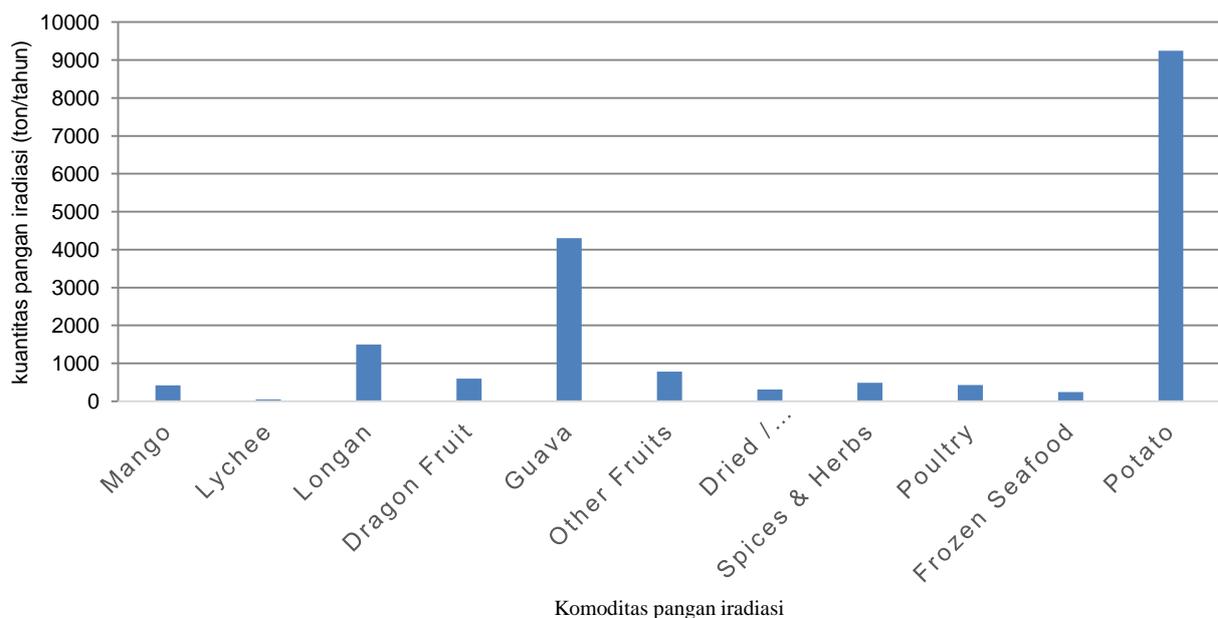
Untuk mengatasi beberapa kendala tersebut bisa dilakukan dengan melakukan pre-evaluasi dan proses perizinan terhadap bahan material *packaging* untuk *pre-packed irradiated foods*,

dengan fokus utama bahan material yang non-karsinogenik dan dalam lingkup internasional diperbolehkan secara hukum untuk digunakan pada teknik iradiasi. Selain itu juga perlu adanya kajian lebih lanjut atau *mapping* terhadap evaluasi kecocokan atau keamanan bahan material *packaging* tertentu untuk digunakan pada teknik iradiasi [22].

Produk

Hingga saat ini telah ratusan produk pangan beredar dengan label iradiasi. Adanya pelabelan pada produk pangan iradiasi berperan dalam memberikan informasi pada konsumen bahwa suatu produk pangan telah diiradiasi. Titik tekan pada produk pangan iradiasi adalah pada kualitas dan keamanan pangan dari pangan tersebut. Kualitas bahan pangan menyangkut status nutrisi pada bahan pangan, misalnya karbohidrat, protein, lemak dan vitamin. Dari segi keamanan pangan, iradiasi akan memberikan pengaruh terhadap keberadaan virus, bakteri, serangga, jamur dan kapang [23]. Selain itu, harus dipastikan apakah pangan iradiasi tidak meninggalkan radiasi berlebihan yang bisa bersifat toksik bagi tubuh, mutagenetik maupun karsinogenik [24]. Hal ini dilakukan untuk memberi jaminan dan melindungi konsumen.

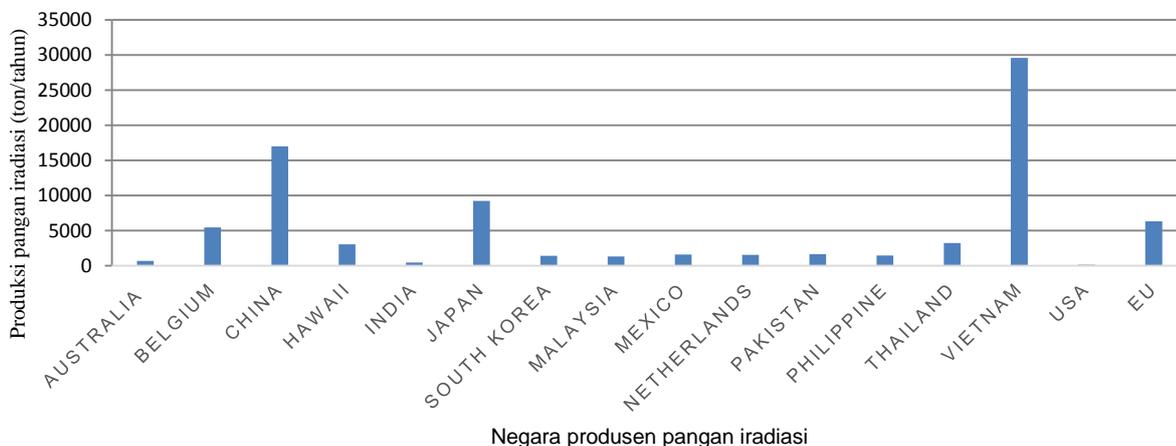
Di negara Cina banyak digunakan *gamma ray* dan *electron beam* untuk mengontrol kualitas bahan pangan dan memperpanjang masa simpan. Telah dilaporkan bahwa penggunaan iradiasi dengan *electron beam* pada bahan pangan telah mampu membunuh atau menghambat pertumbuhan *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, dan *E-coli O157:H7* [25]. Penggunaan iradiasi gamma terbukti efektif dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada simplisia jahe dengan menggunakan dosis sampai 10 kGy [26]. Produk pangan yang mudah rusak, seperti jamur juga efektif dipertahankan kualitasnya dengan menggunakan iradiasi [27]. Untuk produk produk hewani seperti ayam, iradiasi dimanfaatkan untuk mempertahankan nutrisi, tekstur, warna, dan mereduksi bakteri pembusuk dan patogen [28]. Fungsi iradiasi sebagai pencegah pertunasan banyak dimanfaatkan secara luas di berbagai negara untuk menjaga kualitas produk produk hasil pertanian [29]. Selain itu, iradiasi juga efektif mengendalikan kualitas pada produk pangan hasil pertanian yang merupakan inang bagi lalat buah, seperti mangga [30]. Kuantitas rata rata produk iradiasi selama sepuluh tahun terakhir dapat dilihat pada Gambar 2. Data menunjukkan bahwa kentang menjadi produk dengan jumlah rata rata tertinggi yang menggunakan teknologi iradiasi.



Gambar 2. Rata rata kuantitas pangan iradiasi pada berbagai komoditas dalam ton/tahun selama 2008-2018 (dari berbagai referensi)

Vietnam merupakan salah satu negara dengan produksi pangan iradiasi yang cukup tinggi (Gambar 3). Salah satu komoditas unggulannya adalah buah naga yang mulai di

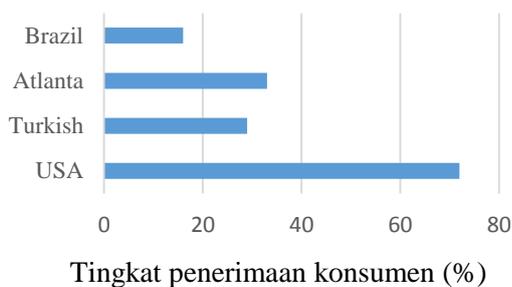
ekspor di tahun 2008 dan bertambah rambutan di tahun 2011. Banyak produknya diekspor ke luar negeri karena mendapatkan izin dari *Animal and Plant Health Inspection Service* [31].



Gambar 3. Rata-rata kuantitas produksi pangan iradiasi pada berbagai negara dalam ton/tahun selama 2008-2018 (dari berbagai referensi)

Konsumen

Perkembangan radiasi dalam dunia pangan tergantung pada kerjasama berbagai pihak, baik produsen dan *retailer* yang hanya mendapat keuntungan teknologi. Di sisi lain, konsumen juga harus mendapatkan keuntungan. Hal ini harus ada pendampingan pelabelan untuk perlindungan konsumen [32]. Sebagian konsumen dapat menerima produk pangan iradiasi karena alasan tertarik dan percaya dengan kehandalan kemajuan teknologi. Informasi atau pengetahuan konsumen tentang iradiasi pangan terbukti sedikit dan terbatas. Konsumen masih membutuhkan informasi dan pengetahuan tentang kemajuan teknologi sebelum memutuskan untuk menerimanya. Hal ini membutuhkan usaha yang besar untuk menyediakan informasi dan pengetahuan ilmiah tentang kemajuan teknologi [33].



Gambar 4. Tingkat penerimaan konsumen terhadap pangan iradiasi

Tingkat penerimaan konsumen terhadap produk pangan hasil iradiasi rendah [34]. Pemahaman dan perhatian konsumen terkait label atau simbol iradiasi pada produk pangan masih kurang [16]. Konsumen menganggap bahwa produk pangan hasil iradiasi memiliki kualitas yang rendah dan manfaat yang sedikit, dengan resiko bahaya yang lebih besar. Selain itu, konsumen memiliki kesalahpahaman bahwa produk pangan hasil iradiasi adalah pangan radioaktif [35]. Gambar 4 menunjukkan bahwa tingkat penerimaan pangan iradiasi masih rendah. Hanya negara Amerika yang memiliki persen penerimaan yang paling tinggi. Hal ini sejalan dengan tingkat kemajuan teknologi pada negara tersebut.

Beberapa solusi yang bisa dilakukan diantaranya:

- Adanya kajian terintegrasi antara ilmu ilmiah dengan ilmu sosial terkait implementasi teknik iradiasi agar dapat lebih diterima oleh konsumen.
- Perlu adanya cara-cara atau usaha yang bersifat edukatif bagi konsumen terkait teknik iradiasi, seperti *workshop*, penyebaran brosur, *video clip*, atau alat media lainnya untuk memperbaiki dan meningkatkan penerimaan publik terhadap produk pangan iradiasi.
- Perlu adanya edukasi tentang terminologi terkait iradiasi pangan saat berkomunikasi

- dengan konsumen. Dengan adanya *information provision* dari konsumen, tingkat penerimaan mereka terhadap produk pangan iradiasi akan meningkat.
- d. Konten edukasi konsumen terkait iradiasi pangan perlu diatur dan disusun sebaik mungkin, agar tidak menimbulkan kesalahpahaman bagi konsumen terkait iradiasi pangan.
 - e. Penekanan edukasi dan informasi bagi konsumen bahwa tingginya risiko kontaminasi organisme patogen terhadap produk pangan dan keunggulan iradiasi pangan dalam membunuh organisme patogen tersebut.
 - f. Konsumen perlu diberikan edukasi atau informasi terkait simbol RADURA pada produk pangan, yang menandakan bahwa produk tersebut telah diiradiasi atau diberi perlakuan dengan radiasi ionisasi.

Selain pendekatan-pendekatan di atas, diperlukan pula metode baru untuk berkomunikasi dengan konsumen untuk menyampaikan informasi tentang teknik iradiasi pangan agar dapat lebih meningkatkan keputusan pembelian dan penerimaan mereka terhadap produk pangan iradiasi. Masa depan pangan iradiasi sangat dipengaruhi oleh pemahaman publik yang baik tentang peran iradiasi pangan [36].

Regulasi

Hal mendasar yang penting untuk diperhatikan dalam regulasi bahan pangan adalah penentuan dosis iradiasi. Dosis yang tinggi dapat meningkatkan efektivitas iradiasi terhadap pemusnahan mikroba patogen dalam produk pangan. Di sisi lain, dosis yang tinggi dapat

mempengaruhi kandungan kimia dalam produk pangan, baik perubahan senyawa maupun jumlah kandungannya. Selain itu dosis yang tinggi dapat mengubah karakteristik produk pangan itu sendiri. Perlu adanya kajian atau *mapping* terhadap produk pangan iradiasi serta dosis iradiasi yang tepat dan efektif dalam pemusnahan mikroba patogen. Penelitian atau studi terkait solusi untuk meningkatkan atau memperbaiki karakteristik sensori produk pangan yang diiradiasi dengan dosis tinggi juga perlu untuk dilakukan [2]. Pengukuran dosis menggunakan dosimeter juga menjadi faktor yang penting dan kritis untuk menjamin kualitas dan keamanan pangan [37].

Negara harus mengatur kegiatan impor-ekspor bahan pangan hasil iradiasi antar negara. Regulasi tentang iradiasi pangan tiap masing-masing negara berbeda, sehingga membatasi jumlah dan jenis bahan pangan hasil iradiasi yang dapat diekspor atau diimpor. Perlu adanya diskusi dan konsultasi, atau standarisasi secara internasional terkait regulasi iradiasi pangan sehingga dapat memudahkan keputusan perdagangan bahan pangan bagi masing-masing Negara. Perkembangan regulasi dapat dilakukan melalui penukaran informasi dan *training* masing-masing perwakilan negara yang ahli atau bertugas untuk mengatur regulasi terkait iradiasi pangan

Standar dosis iradiasi yang berlaku di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009 tentang Pangan Iradiasi [38]. Adapun dosis serap maksimum yang diatur berdasarkan jenis pangan dan tujuan iradiasinya ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jenis pangan, tujuan iradiasi dan rentang dosis serap yang diizinkan

Jenis Pangan	Tujuan Iradiasi	Dosis Serap Maksimum (kGy)
Umbi lapis dan umbi akar	Menghambat pertunasan selama penyimpanan	0,15
Sayur dan buah segar	a. Menunda pematangan	1,0
	b. Membasmi serangga	1,0
	c. Memperpanjang masa simpan	2,5
	d. Perlakuan karantina	1,0
Produk olahan sayur dan buah	Memperpanjang masa simpan	7,0
	Memperpanjang masa simpan	0,75
Mangga	a. Membasmi serangga	1,0
	b. Perlakuan karantina	1,0
Sereal dan produk hasil penggilingannya, kacang-kacang, biji-bijian penghasil minyak, polong-polong, buah kering	a. Membasmi serangga	1,0
	b. Mengurangi jumlah mikroba	5,0

Ikan, pangan laut (seafood segar maupun beku)	a. Mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tertentu	5,0
	b. Memperpanjang masa simpan	3,0
	c. Mengontrol infeksi oleh parasit tertentu	2,0
Produk olahan ikan, dan pangan laut	a. Mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tertentu	8
	b. Memperpanjang masa simpan	10
Daging dan unggas serta hasil olahannya (segar maupun beku)	a. Mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tertentu	7,0
	b. Memperpanjang masa simpan	3,0
	c. Mengontrol infeksi oleh parasit tertentu	2,0
	d. Menghilangkan bakteri salmonella	7,0
Sayuran kering, bumbu, rempah, rempah kering (<i>dry herbs</i>) dan <i>herbal tea</i>	a. Mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tertentu	10,0
	b. Membasmi serangga	1,0
Pangan yang berasal dari hewan yang dikeringkan	a. Membasmi serangga	1,0
	b. Membasmi mikroba, kapang dan khamir	5,0
Pangan olahan siap saji berbasis hewani	Sterilisasi dan membasmi mikroba patogen termasuk mikroba berspora serta memperpanjang masa simpan	65

Regulasi iradiasi pangan yang diatur oleh Permenkes berdasarkan pada *Technical Reports IAEA (International Atomic Energy Agency)*. Aturan tersebut berlaku secara internasional, sehingga regulasi iradiasi pangan yang berlaku di negara lain sama dengan yang berlaku di Indonesia.

Sumberdaya radiasi

Iradiasi bahan pangan adalah proses dimana bahan pangan dikenai sejumlah radiasi pengion [39]. Tiga jenis radiasi pengion digunakan dalam radiasi komersial untuk memproses produk seperti makanan dan peralatan medis dan farmasi [40] adalah radiasi dari sinar gamma energi tinggi, sinar-X, dan elektron yang dipercepat. Sesuai dengan Standar Umum Codex untuk Makanan Iradiasi, hanya sinar pengion ini yang diizinkan untuk digunakan dalam aplikasi iradiasi makanan [41]. Jenis-jenis radiasi ini disebut pengion karena energinya cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron dari atom dan molekul dan mengubahnya menjadi partikel bermuatan listrik yang disebut ion.

Radiasi pengion dapat berasal dari sumber yang berbeda:

- Sinar gamma, yang dihasilkan oleh zat radioaktif (disebut radioisotop). Sumber sinar gamma yang disetujui untuk iradiasi makanan adalah radionuklida kobalt-60 (^{60}Co ; yang paling umum) dan cesium-137 (^{137}Cs). ^{60}Co mempunyai tingkat energi 1,17 dan 1,33 MeV dan cesium-137 mempunyai tingkat energi

0,662 MeV. Tetapi ^{137}Cs tidak direkomendasikan lagi untuk iradiasi pangan.

- Berkas elektron, yang diproduksi dalam akselerator, seperti dalam akselerator linier (linac) atau generator Van de Graaff hampir pada kecepatan cahaya. Energi kuantum maksimum tidak melebihi 10 MeV.
- Sinar-X atau pelambatan sinar, yang juga bisa dihasilkan di akselerator. Energi kuantum maksimum elektron tidak melebihi 5 MeV.

Sinar gamma dan sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik, seperti juga gelombang radio, gelombang mikro, ultraviolet, dan sinar cahaya tampak. Sinar gamma dan sinar-X berada dalam panjang gelombang pendek, daerah spektrum energi yang tinggi. Baik gamma dan sinar-X dapat menembus makanan hingga kedalaman beberapa sentimeter. Teknik radiasi yang paling banyak digunakan adalah sinar gamma kemudian berkas elektron (*e-beam*). Berkas elektron termasuk teknologi dengan biaya yang relatif rendah, ramah lingkungan, dan bisa menjadi alternatif untuk produk yang biasa diolah dengan panas [42]. Meskipun *e-beam* harus dikonversi menjadi sinar-X agar memiliki daya penetrasi yang lebih besar [43]. Tantangan lain dari teknologi iradiasi adalah sumber iradiasi cukup sulit untuk didapatkan, contoh Cobalt-60. Oleh karena itu, perlu adanya eksploitasi atau pemanfaatan teknik iradiasi lebih dalam, termasuk di dalamnya standarisasi, komunikasi, dan edukasi

KESIMPULAN

Iradiasi bahan pangan merupakan sebuah proses kompleks yang melibatkan banyak faktor kritis di dalamnya. Adanya peluang dan tantangan mendorong berkembangnya teknologi ini agar terus dikembangkan dan memberi kemanfaatan yang optimal. Terdapat enam faktor yang perlu menjadi perhatian oleh negara yang menerapkan iradiasi pangan, diantaranya: dari segi kehandalan teknologi, efektifitas dan efisiensi proses, keamanan dan kualitas produk, penerimaan konsumen, regulasi yang mendukung dan ketersediaan sumber radiasi. Setiap negara memiliki otoritas untuk mengatur kebijakan di bidang iradiasi pangan yang disesuaikan dengan kondisi negaranya masing masing dan tetap mengacu pada peraturan internasional. Semua bisa diwujudkan dengan kerjasama berbagai pihak terkait yang memiliki peran kunci dari berbagai faktor tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Lakner, S. Soos, Z. Vida and C. Farkas. "European Research and the Hungarian School of Food Irradiation", *Radiation Physics and Chemistry.*, vol 129, pp. 13-23, 2016.
- [2] P. Feliciano. "High Dose Irradiated Food : Current Progress, Applications, and Prospects," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 144, pp. 34-36, 2018.
- [3] E. Zanardi, A. Caligiani, and E. Novelli, "New Insights to Detect Irradiated Food:an Overview," *Food Anal. Methods*, 2017.
- [4] Bearth and M. Siegrist, "As Long as It is not Irradiated - Influencing Factors of US Consumers Acceptance of Food Irradiation," *Food Quality and Preference.*, vol. 71, pp. 141-148, 2019.
- [5] J. Mittendorfer, "Food Irradiation Facilities: Requirements and Technical Aspects," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 129, pp. 61–63, 2016.
- [6] D. A. E. Ehlermann, "Safety of Irradiated Foods," *Encyclopedia of Food Safety*, vol. 3, 2014.
- [7] D. A. E. Ehlermann, "The Early History of Food Irradiation," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 129, pp. 10–12, 2016.
- [8] Prakash, "Particular Applications of Food Irradiation Fresh Produce," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 129, pp. 50–52, 2016.
- [9] O. B. Odueke, S. A. Chadd, R. N. Baines, K. W. Farag, J. Jansson. "Effects of Gamma Irradiation on the Shelf-life of A Dairy-like Product," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 143, pp. 63-71, 2018.
- [10] F. N. A. Putri, A. K. Wardani, and Harsojo, "Aplikasi Teknologi Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku Sebagai Upaya Penurunan Bakteri Patogen pada Seafood: Kajian Pustaka," *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, vol. 3, no. 2, pp. 345-352, 2015.
- [11] C. H. Sommers, "Microbial Decontamination of Food by Irradiation," Published by Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [12] P. B. Roberts, "Food Irradiation is Safe: Half A Century of Studies," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 105, pp. 78-82, 2014.
- [13] G. Kebede, A. Simachew, H. Disassa, T. Kabeta and T. Zanebe. " Review on Radiation as a Means of Food Preservation and its Challenge. *Academic Journal of Nutrition.*, vol 4, no. 2, pp. 77-83, 2015.
- [14] Sugiyanto, "Meta Analysis"., Hand-Out, Faculty of Psychology, UGM Indonesia. 2004.

- [15] B. Kalyani and K. Manjula. "Food Irradiation-Technology and Application". *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, vol 3. no 4. pp. 549-555. 2014.
- [16] Ihsanullah and A. Rashid. "Current Activities in Food Irradiation as a Sanitary and Phytosanitary Treatment in the Asia and the Pacific Region and a Comparison with Advanced Countries". *Food Control.*, vol. 72, pp. 3452-359, 2017.
- [17] IAEA. "Manual of Good Practice in Food Irradiation – Sanitary, Phytosanitary, and Other Applications," *Technical Reports Series.*, v. 481, 2015.
- [18] M. Handayani and H. Permawati. "Gamma Irradiation Technology to Preservation of Foodstuffs as an Effort to Maintain Quality and Acquaint the Significant Role of Nuclear on Food Production to Indonesia Society: A Review," *Energy Procedia.*, vol 127, pp. 302-309, 2017.
- [19] D. A. E. Ehlermann, "Particular Applications of Food Irradiation: Meat, Fish and Others," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 129, pp. 53-57, 2016.
- [20] Zaman, I. Ihsanullah, A. A. Shah, T. N. Khattak, S. Gul. I. U. Muhammadzai. "Combined Effect of Gamma Irradiation and Hot Water Dipping on The Selected Nutrients and Shelf Life of Peach," *J. Radioanal Nucl Chem.*, vol. 298, pp. 1665-1672, 2013.
- [21] F. K. Cahyani, L. C. Wiguna, R. A. Putri, V. V. Masduki, A. K. Wardani, Harsojo. "Aplikasi Teknologi Hurdle Menggunakan Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku Untuk Mereduksi Bakteri Patogen Pada Bahan Pangan: Kajian Pustaka," *Jurnal Pangan dan Agro Industri.*, vol 3, no 1, pp 73-79, 2015.
- [22] Komolprasert. "Packaging Food for Radiation Processing," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol 129, pp 35-38, 2016.
- [23] H. A. Mostavani, H. Fathollahi, F. Motamedi and S. M. Mirmajlessi. " Food Irradiation: Application, Public Acceptance and Global Trade," *African Journal of Biotechnology.*, vol 9, no 2, pp. 2826-2833, 2010.
- [24] Z. Irawati. K. R. Putri, dan F. R. Zakaria. "Aspek Keamanan Pangan: Uji Toksisitas Secara In Vitro Pepes Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) yang Disterilkan dengan Iradiasi Gamma," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi.*, vol 7, no 2, 2011.
- [25] T. Chen, G. Chen, S. Yang, Y. Zhao, Y. Ha, and Zhihua Ye, "Recent Developments In the Application of Nuclear Technology in Agro-Food Quality and Safety Control in China," *Food Control.*, vol. 72, pp. 306-312, 2017.
- [26] P. W. Katrin, K. Schwikal, S. Daus, T. Heinze. "Xylan Derivatives and Their Application Potential – Mini Review of Own Results," *Carbohydrate Polymers.*, vol. 100, pp. 80-88 2014.
- [27] Kadir. Pemanfaatan Iradiasi Untuk Memperpanjang Daya Simpan Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Kering. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop*, vol 6. no 1. pp. 86-99, 2010.
- [28] V. Irmanita, A. K. Wardani, and Harsojo, "Pengaruh Iradiasi Gamma Terhadap Kadar Protein dan Mikrobiologis Daging Ayam Broiler Pasar Tradisional dan Pasar Modern

- Jakarta Selatan". *Jurnal Pangan dan Agroindustri.*, vol. 4, pp. 428-32, 2016.
- [29] T. Kume and S. Todoriki, "Food Irradiation in Asia, the European Union, and the United States: A Status Update. *Radioisotope.*, vol. 62, pp. 291-299, 2013.
- [30] Sugianti, R. Hasbullah, Y. Aris Purwant, D. A. Setyabudi. "Kajian Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma terhadap Mortalitas Lalat Buah dan Mutu Buah Mangga Gedong (*Mangifera indica* L) Selama Penyimpanan," *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol.26, no. 1, pp. 70-78, 2012.
- [31] G. J. Hallman, "Phytosanitary Applications of Irradiation", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.*, vol 10, pp 143-150, 2011.
- [32] P. B. Roberts, "Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade," *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 129, pp. 30-34, 2016.
- [33] M.P. Junqueira-Goncalves, M. J. Galotto X. Valenzuela, C. M. Dinten, P. Aguirre, J. Miltz, "Perception and View of Consumers on Food Irradiation and the Radura Symbol". *Radiation Physics and Chemistry.*, vol. 80, pp. 119-122, 2011.
- [34] [34]. M. R. Greenberg, L. C. Babcock-Dunning. "Communicating Between the Public and Experts : Predictable Differences and Opportunities to Narrow Them," *Stakeholders and Scientists.*, pp. 393-408, 2011.
- [35] IFSAT. *Institute of Food Science and Technology Information Sheet – Irradiation, Surrey, UK*, 2013.
- [36] Farkas and C. M. Farkas. "History and Future of Food Irradiation," *Trends in Food Science Technology.*, vol 22, pp. 121-126, 2011.
- [37] F. Kuntz and A. Strasser, "The Specifics of Dosimetry for Food Irradiation Applications," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 129, pp. 46–49, 2016.
- [38] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009, tentang : Pangan Iradiasi.
- [39] Farkas, D. A. E. Ehlermann, and Cs Mohacsi-Farkas, "Food Technologies Food Irradiation," *Encyclopedia of Food Safety.*, vol. 3, 2014.
- [40] IAEA. "Dosimetry for Food Irradiation," *International Atomic Energy Agency, Vienna, Technical Reports Series*, v. 409, 2002.
- [41] Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, "Codex Alimentarius: Food Hygiene", Basic Text, *Food & Agriculture Organization*, 2003.
- [42] H-M. Lung, Y-C. Cheng, Y-H. Chang, H-W. Huang, B.B Yang and C-Y. Wang." Microbial Decontamination of Food by Electron Beam Irradiation. *Trend in Food Science & Technology.*, vol 44, pp. 66-78, 2015.
- [43] Riganakos, Chapter 2: *Food Irradiation Techniques, Irradiation of Food Commodities*, Elsevier, 2010.

