
**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK MENINGKATKAN
KEAMANAN DAN DAYA
SIMPAN BAHAN PANGAN**

Zubaidah Irawati

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN, Jakarta

ABSTRAK

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN DAN DAYA SIMPAN BAHAN PANGAN. Ketersediaan pangan yang aman, bergizi, dan tidak mengalami perubahan cita rasa saat dikonsumsi merupakan kebutuhan dasar manusia yang harus selalu tersedia dengan jumlah yang cukup dan dalam jangka panjang untuk dapat menjamin kelangsungan hidupnya. Radiasi pengion, apabila diterapkan secara tepat dan benar sesuai dengan ketentuan standar (Good Manufacturing Practices (GMP) dan Good Radiation Practices (GRP) dapat memenuhi kebutuhan tersebut, karena teknologi radiasi lebih efektif, efisien dan praktis dibandingkan dengan teknik konvensional. Meskipun demikian aplikasi teknik nuklir untuk tujuan keamanan dan pengawetan komoditi pangan memerlukan regulasi dan legalisasi dari pemerintah, sehingga dapat dikonsumsi oleh masyarakat luas. Komersialisasi bahan pangan iradiasi di Indonesia antara lain diatur dengan PERMENKES No. 826/MENKES /PER/XII/1987, No.152/MENKES/SK/II/1995 dan Undang Undang Pangan RI No.7/1996. Selain Indonesia, beberapa negara di kawasan Asia Pasifik seperti India, Thailand dan Vietnam juga telah mengimplementasikan teknologi nuklir pada komoditi pangan secara komersial untuk tujuan karantina, sanitasi dan sterilisasi baik untuk konsumsi lokal maupun untuk ekspor ke Eropa, Amerika dan Australia. Sosialisasi dan diseminasi pemanfaatan teknologi nuklir atau teknologi radiasi kepada publik yang tidak berkesinambungan dan kurang efektif dapat menimbulkan kesalah-pahaman tentang makna teknologi itu sendiri.

Kata kunci : aplikasi teknik nuklir, keamanan pangan, radiasi pengion

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF NUCLEAR TECHNOLOGY FOR IMPROVING QUALITY AND SHELF-LIFE ON FOOD COMMODITIES. The availability and sustainability food regarding safety, nutritive, and remaining good palatability are the basic needs of human in order to stay alive and keep healthy. The process must follow the existing standard-guidelines (Good Manufacturing Practices/GMP and Good Irradiation Practices/GIP) if ionizing radiation will be implemented for such purposes because of its effectiveness, efficient, and practical in comparison with conventional methods. Nevertheless application of nuclear technique for improving the safety and extending the shelf-life of foods for human consumption, a proper regulation and legalization from the local government is needed. Commercialization of irradiated food in Indonesia has been stipulated under decree of PERMENKES No. 826/MENKES /PER/XII/1987, No.152/MENKES/SK/II/1995 and Food Law of the Republic of Indonesia No.7/1996. Commercially, besides Indonesia, other countries within Asia and the Pacific region such as India, Thailand, and Vietnam have implemented nuclear technique on food commodities for quarantine, sanitation and sterilization purposes both for local consumption and export to European Countries, USA and Australia. Public education should be more conducted in some effective ways and keep on going to avoid misconception about the technology itself.

Key words : nuclear technique applications, food safety, ionizing radiation

PENDAHULUAN

Teknologi nuklir adalah suatu teknologi yang berbasis pada pemanfaatan energi yang dibebaskan dari suatu inti atom (nuklida) dalam bentuk radiasi. Energi atom (energi inti atom) ini mampu mengionisasi suatu bahan. Karena kemampuan tersebut maka energi yang dibebaskan dari suatu atom atau nuklida disebut energi inti atau energi nuklir yang memiliki karakter atau sifat sebagai radiasi pengion.

Iradiasi pengion terhadap bahan pangan dalam kemasan, baik dalam bentuk segar, beku, kering maupun olahan atau siap santap bertujuan menurunkan populasi atau bahkan membunuh seluruh stadia pertumbuhan mikroorganisme yang tidak dikehendaki. Berbagai jenis bakteri yang bersifat patogen seperti *Salmonella enteridis*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni* dan *Escherichia coli* serotype O157:H7 merupakan mikroba utama penyebab keracunan makanan, khususnya di negara maju (1,2). Selain karena bakteri tersebut, masyarakat negara berkembang juga terjangkiti oleh penyakit yang disebabkan oleh parasit tertentu seperti trichinosis, taxoplasmosis dan cacing pita. Penyakit bersumber dari makanan yang terkontaminasi bakteri patogen (*food-borne illness*) dapat menyebabkan kematian pada balita, anak-anak dan orang dewasa, serta kelompok masyarakat yang rentan terinfeksi penyakit, seperti yang terjadi di Amerika Serikat pada tahun 1999 (3). Radiasi pengion pada dosis sedang, yaitu 1-5 kGy, sudah mampu menekan dan sekaligus mengeliminasi pertumbuhan bakteri patogen karena kerusakan molekul asam deoksiribonukleat (DNA) dalam inti sel, tanpa berakibat negatif pada kualitas sensori dan nutrisi bahan pangan yang disinari (4,5). Di samping itu, iradiasi penyinaran tidak menyebabkan bahan pangan menjadi radioaktif. Lembaga keamanan pangan dari berbagai negara anggota Badan Kesehatan Dunia (WHO) telah menegaskan bahwa iradiasi pangan merupakan bagian dari teknologi pangan yang memiliki kontribusi positif dan nyata untuk kesehatan masyarakat (6).

Studi penggunaan sumber radiasi untuk pengawetan pangan telah dilakukan pada akhir tahun 1940-an dan awal tahun 1950-an terhadap lima tipe radiasi pengion yang berbeda (sinar ultra violet, sinar X, elektron, neutron, dan partikel alpha). Studi tersebut menyimpulkan bahwa hanya elektron yang memiliki karakteristik paling unggul ditinjau dari efisiensi, keamanan, dan kepraktisan. Daya penetrasi sinar ultra violet sangat terbatas, sinar X dinilai kurang praktis dan kurang efisien. Neutron memiliki daya penetrasi yang kuat dan efektif membunuh bakteri, akan tetapi berpotensi menyebabkan bahan yang disinari menjadi radioaktif sehingga dilarang penggunaannya (4).

Pada spektrum elektronik, sinar gamma memiliki panjang gelombang pendek, sebagaimana pada sinar ultra violet dan gelombang mikro. Sinar X memiliki sifat fisik dan pengaruh pada bahan yang disinari, yang identik dengan sinar gamma. Iradiasi dengan sinar gamma tidak mengubah bahan yang diiradiasi memproduksi neutron yaitu partikel subatomik yang menjadi penyebab bahan yang disinari menjadi radioaktif. Proses ionisasi akan terjadi apabila sinar gamma diserap oleh molekul bahan yang disinari melalui interaksi dengan air dan molekul lain.

Sumber radiasi pengion yang pertama kali dibuat adalah aselerator partikel yang memproduksi sinar elektron dengan energi sampai dengan 24 MeV. Pada akhir tahun 1940-an diproduksi Cobalt-60 (^{60}Co) dan Cesium-137 (^{137}Cs) pemancar sinar gamma yang memiliki daya tembus lebih tinggi. Sejak itu, penggunaan ^{60}Co dan ^{137}Cs sebagai sumber radiasi untuk aplikasi komersial semakin berkembang (3).

KEAMANAN SUMBER RADIASI DAN DOSIMETRI

Kekuatan energi sumber radiasi pengion pemancar sinar gamma, dan sinar X serta mesin berkas elektron untuk pemrosesan bahan pangan telah ditetapkan batas maksimalnya, masing-masing sebesar 5 MeV untuk sinar gamma dan sinar X sedangkan untuk mesin berkas elektron maksimum 10 MeV. Batasan ini ditetapkan berdasarkan pembentukan imbas radioaktif. Radioaktivitas imbas baru akan timbul pada atom-atom bahan yang diiradiasi bila energi yang digunakan di atas 5 MeV untuk radiasi gamma. Batas energi untuk sumber elektron lebih tinggi karena radioaktivitas imbas yang timbul pada energi kurang dari 16 MeV sangat sedikit jumlahnya dan relatif berumur pendek (7, 8, 9).

Energi sinar gamma yang dihasilkan oleh ^{60}Co sebesar 1,33 MeV sedangkan yang berasal dari ^{137}Cs sebesar 0,66 MeV. Dengan demikian berdasarkan batasan energi sumber radiasi maka penggunaan kedua jenis radionuklida tersebut tidak menimbulkan imbas radioaktif pada bahan pangan yang diiradiasi. Hal ini juga dapat dibuktikan melalui pengukuran rutin terhadap dinding dan peralatan radiasi yang berada di sekitar sumber. Hasil pengukuran menunjukkan bahan tersebut tidak mengandung zat yang radioaktif. Selain itu, residu zat radioaktif tidak terjadi pada bahan pangan yang diiradiasi, karena selama proses berlangsung sumber radiasi terkungkung rapat di dalam kapsul yang berlapis sehingga tidak terjadi kontak langsung antara bahan pangan yang diiradiasi dengan sumber radiasi (10, 11).

Radiasi yang dipancarkan dari sumbernya, sebagaimana halnya dengan penggunaan *microwave oven*, adalah dalam bentuk energi, bukan dalam bentuk benda atau partikel. Iradiasi

secara umum dapat digambarkan sebagai seberkas sinar yang menembus suatu bahan dengan kekuatan yang berbeda bergantung pada panjang gelombang dan berbanding terbalik dengan frekwensinya. Semakin pendek panjang gelombang, maka daya tembusnya semakin tinggi. Proses radiasi sebagaimana yang telah dikemukakan, tidak meninggalkan residu apapun baik pada bahan yang disinari, maupun benda disekitarnya, sehingga proses tersebut benar-benar aman, bersih dan ramah lingkungan (9).

Sebelum bahan pangan diiradiasi, dosis radiasi yang akan diterapkan harus sudah diketahui sesuai dengan tujuannya. Dosimetri dalam iradiasi bahan pangan ditujukan agar bahan pangan dapat menerima jumlah paparan dosis yang sama sesuai dengan tujuan iradiasi. Kekeliruan di dalam kegiatan pengukuran dosis radiasi tersebut dapat menyebabkan bahan pangan yang diiradiasi mengalami kerusakan sehingga menimbulkan kerugian bagi konsumen, serta tujuan dari iradiasi tidak tercapai (12). Densiti dari produk pangan yang akan diiradiasi mempunyai kaitan erat dengan distribusi dan penyerapan dosis (13).

APLIKASI RADIASI PENGION PADA BAHAN PANGAN

Program nasional menetapkan bahwa teknologi produksi dan pengolahan bahan pangan merupakan prioritas utama untuk menunjang ketahanan dan ketersediaan pangan dalam jangka panjang. Dengan demikian, teknologi tepat guna perlu dikembangkan untuk mencegah kerusakan bahan pangan baik yang disebabkan oleh pengaruh cuaca dan serangan serangga maupun karena mikroba, terutama mikroba yang dapat memproduksi toksin mematikan.

Teknologi pengawetan konvensional yang sampai saat ini masih digunakan bertujuan mempertahankan mutu sekaligus memperpanjang masa simpan bahan pangan antara lain dengan cara pengeringan, penggaraman, pemanasan, pembekuan dan pengasapan serta fumigasi. Penambahan bahan pengawet sintetik masih sering digunakan meskipun cara ini memberikan dampak negatif bagi kesehatan konsumen (14).

Iradiasi merupakan suatu proses fisika yang dapat digunakan untuk mengawetkan dan meningkatkan keamanan bahan pangan. Jenis radiasi yang digunakan adalah radiasi pengion (berenergi tinggi) karena dapat menimbulkan ionisasi pada materi yang dilaluinya. Sumber radiasi yang umum digunakan untuk proses pengawetan bahan pangan ada empat, yaitu : ^{60}Co dan ^{137}Cs sebagai sumber radiasi pemancar sinar gamma, mesin berkas elektron, dan mesin generator sinar X. Dengan menggunakan batas dosis iradiasi dan batas energi maksimum untuk keempat sumber tersebut, maka bahan pangan yang diawetkan dengan iradiasi tidak menjadi

radioaktif (12,15,16). Sinar gamma merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang tidak menyebabkan terbentuknya reaksi inti (17).

Energi yang dihasilkan oleh sumber radiasi dapat dimanfaatkan untuk tujuan : menghambat pertunasan dan pematangan ; membasmi serangga dan tujuan karantina (dosis rendah: 0.1-2 kGy) ; membunuh mikroba patogen (dosis sedang : 2-10 kGy) ; dan membunuh seluruh jenis bakteri yang ada (dosis tinggi : 10-60 kGy). Dengan demikian teknologi iradiasi dapat digunakan untuk mempertahankan mutu bahan pangan di dalam kemasan yang baik selama penyimpanan (18,19).

PENGARUH RADIASI PENGION PADA BAHAN PANGAN

Setiap bahan pangan yang diproses dengan teknologi iradiasi harus sudah melai uji keamanan sebelum dilepas kepada masyarakat. Uji keamanan makanan iradiasi untuk konsumsi manusia dikenal dengan istilah *wholesomeness test* mencakup uji toksikologi, uji kandungan nutrisi makro dan mikro serta uji mikrobiologik dan sensorik (20,21). Efektivitas proses radiasi pada bahan pangan bergantung pada beberapa faktor antara lain adalah faktor intrinsik bahan seperti pH, kadar air, suhu, kandungan gizi makro (protein, karbohidrat, lemak) dan mikro (vitamin & mineral), aktivitas air (Aw), dan sifat lainnya dari produk (22, 23); kondisi lingkungan radiasi (jenis sumber, oksigen, dan suhu); dosimetri dan penentuan dosis disesuaikan dengan tujuan iradiasi bahan pangan seperti untuk menghambat pertunasan, menunda pematangan, disinfestasi serangga, dekontaminasi mikroba patogen, sterilisasi komersial dan sterilisasi mutlak (24).

Aspek fisiko-kimia

Proses penyinaran bahan pangan dengan menggunakan radiasi pengion merupakan proses "dingin" karena itu tidak menimbulkan kenaikan suhu yang berarti pada bahan yang disinari. Energi yang diserap oleh bahan pangan atau makanan dengan cara tersebut jauh lebih rendah daripada energi yang diserap makanan pada saat dipanaskan dengan demikian perubahan karakteristik kimia dari bahan pangan yang diawetkan dengan radiasi, secara kuantitatif lebih sedikit daripada yang dipanaskan. Perubahan karakteristik kimia karena pengaruh radiasi meningkat seiring dengan peningkatan dosis dan juga bergantung pada jumlah dan komposisi bahan. Perubahan tersebut dapat ditekan dengan mengatur suhu dan kadar air bahan, serta menghilangkan oksigen- udara di dalam pengemas. Pengujian produk radiolisis yang terbentuk akibat radiasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode fisika, kimia dan *Polymer Chain Reaction* atau PCR (3, 23).

Aspek gizi

Sebagaimana diutarakan sebelumnya bahwa iradiasi dapat menimbulkan perubahan kimia bahan pangan. Hal ini menimbulkan kekhawatiran masyarakat bahwa iradiasi bisa mempengaruhi nilai gizi bahan pangan yang diawetkan dengan teknik tersebut. Dari hasil penelitian terbukti bahwa sampai dosis 1 kGy penurunan nilai gizi makanan yang diiradiasi tidak nyata. Iradiasi bahan pangan pada dosis sedang (1-10 kGy) dapat menurunkan kandungan nutrisi unsur mikro apabila udara dan suhu serta kondisi selama proses tidak diatur dengan baik. Perubahan nilai gizi dapat dicegah dengan cara meradiasi bahan pangan pada suhu rendah dalam kemasan vakum (5, 25).

Beberapa jenis vitamin seperti riboflavin, niacin dan vitamin D cukup tahan terhadap radiasi, tetapi vitamin A, B, C dan E sangat peka. Pada umumnya, penurunan kadar vitamin bahan pangan akibat iradiasi tidak berbeda dengan yang diawetkan dengan cara pemanasan. Dalam beberapa hal, penurunan kadar vitamin akibat pemanasan lebih tinggi daripada yang diiradiasi misalnya pada proses sterilisasi daging babi. Sterilisasi panas menyebabkan kadar thiamin, niacin dan pridoksin secara berturut-turut menurun sebesar 80, 35 dan 16%, sedangkan dengan sterilisasi radiasi dengan dosis 45 kGy pada suhu -79°C (dalam CO₂ padat) secara berturut-turut penurunannya adalah 15, 22 dan 2% (26).

Aspek toksikologi

Dalam proses pengawetan dengan radiasi, uji toksikologi tetap dilakukan walaupun hasil analisis kimia tidak menunjukkan adanya senyawa dalam bahan pangan yang dapat membahayakan kesehatan. Uji toksikologi pada bahan pangan yang diiradiasi dengan dosis di atas 10 kGy merupakan persyaratan yang harus dipenuhi untuk mendapatkan legalisasi dari Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) sebelum produk tersebut dapat dikonsumsi masyarakat luas (27). Uji coba dilakukan baik pada hewan maupun manusia sebagai relawan untuk meyakinkan keamanannya. Uji toksikologi terhadap bahan pangan iradiasi dilakukan dengan prosedur yang jauh lebih teliti dan kompleks bila dibandingkan dengan pengujian bahan pangan yang diproses secara konvensional. Hal ini karena sejak awal keamanan makanan iradiasi masih terus menjadi bahan perdebatan publik (4). Akan tetapi, banyak hasil pengujian yang dilakukan oleh para peneliti yang bergabung di dalam *International Food Irradiation Project* (IFIP) yang berpusat di Karlsruhe membuktikan bahwa penerapan teknologi iradiasi untuk bahan pangan jauh lebih aman dibandingkan teknik fisika lain (28).

Aspek kemasan

Persyaratan yang berlaku dalam pemilihan bahan pengemas yang akan digunakan sebagai pembungkus makanan atau bahan pangan yang akan diiradiasi harus tetap diperhatikan. Bahan dan teknik pengemasan merupakan faktor yang tidak kalah penting, karena mutu bahan pangan yang diiradiasi sangat bergantung pada kekuatan bahan pengemas (4). Pada saat ini, bahan pengemas yang "flexible" lebih disukai daripada wadah yang dibuat dari kaleng, khususnya untuk terutama sebagai pembungkus makanan siap saji yang diiradiasi. Bahan pengemas tersebut umumnya dibuat secara khusus bersifat tahan terhadap radiasi, suhu -79°C , kedap udara, serta tidak mudah terkelupas, sehingga mampu mempertahankan mutu makanan di dalamnya untuk jangka panjang pada suhu kamar ($28-30^{\circ}\text{C}$) (29).

PENERIMAAN KONSUMEN

Bahan pangan yang diiradiasi hendaknya dapat dinikmati oleh konsumen sebagaimana bahan pangan lain yang diproses dengan teknologi konvensional. Pengujian terhadap bahan pangan radiasi umumnya dilakukan melalui penilaian dan penerimaan panelis yang terdiri dari kelompok masyarakat yang terseleksi, dengan mengisi angket berdasarkan tingkat kesukaan dengan skor 5-9 skala hedonik (30, 31).

KOMERSIALISASI MAKANAN IRADIASI DI INDONESIA

Di Indonesia, penelitian makanan iradiasi sudah dimulai sejak tahun 1967, dan penerapan teknologi makanan iradiasi memperlihatkan perkembangan yang sangat menggembarakan. Makanan iradiasi telah diproduksi secara komersial meskipun hanya terbatas untuk kebutuhan ekspor ke berbagai negara di Eropa, Amerika, dan Timur Tengah. Iradiasi bahan pangan di Indonesia dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 826/MENKES /PER/XII/1987 dan Nomor 152/MENKES/SK/II/1995(32), Undang-undang Pangan RI Nomor 7/1996, Label Pangan Nomor 69/1999 par. 34 dan peraturan perdagangan internasional tentang komersialisasi komoditi pangan iradiasi dan peraturan standar internasional untuk makanan iradiasi (CODEX Alimentarius Commission-Irradiated foods Rev.1-2003) (27). Tambahan peraturan tentang dosis terabsorpsi untuk makanan yang disterilisasi dengan dosis di atas 10 kGy harus mengacu pada undang-undang yang berlaku. Tabel 1 menyajikan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang batas dosis maksimum untuk lima komoditi makanan iradiasi yang diperbolehkan di Indonesia.

Tabel 1. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang makanan iradiasi*)

No.	Jenis Komoditi	Tujuan radiasi	Dosis maks. (kGy)
1.	Rempah/rimpang dan sayuran kering, bumbu	Disinfestasi serangga & dekontaminasi mikroba	10
2.	Umbian segar	Menghambat pertunasan	0,15
3.	Udang beku & paha kodok beku	Mengeliminasi pertumbuhan <i>Salmonella spp.</i>	7
4.	Ikan kering/asin	Memperpanjang masa simpan	5
5.	Bebijian & sereal	Disinfestasi serangga dan mengeliminasi bakteri patogen	5

* PERMENKES : 152/MENKES/SK/11/1995

Jenis komoditi bahan pangan yang telah diiradiasi di iradiator swasta di Indonesia pada tahun 2005-2006 (33) dalam tingkatan uji coba antara lain makanan bayi, tepung tapioka, panili, karagenan, oat, ekstrak malt, sereal, dan daun basil, sedangkan untuk tujuan komersial adalah produk beku, pengemas makanan, coklat bubuk, rempah-rempah dan sayuran kering. Volume total komoditi pangan iradiasi untuk tujuan komersial mencapai 4.071 ton pada tahun 2005, dan 3.346 ton pada tahun 2006.

Pada tahun 2004, BPOM telah menerbitkan 10 seri buku pedoman cara mengiradiasi yang baik yang dapat dimanfaatkan baik oleh perorangan dan perusahaan maupun para eksportir makanan (34) sebagai berikut:

Pedoman Otorisasi Iradiasi Pangan secara umum atau berdasarkan kelompok pangan (ISBN 979-3665-00-92); Pedoman untuk Membasmi Serangga pada Ikan Kering dan Ikan Asin (ISBN 979-98509-7-53); Pedoman untuk Pengendalian Mikroflora pada Ikan, Paha Kodok dan Udang (ISBN 979 98509-8-34); Pedoman untuk Mengendalikan Patogen dan Mikroflora Lain pada Bumbu, Rempah-Rempah dan Ramuan Lain yang Berasal dari Sayuran (ISBN 979-98509-3-25); Pedoman untuk Membasmi Serangga pada Biji-Bijian Sereal (ISBN 979-98509-1-67); Pedoman untuk Mengendalikan Serangga pada Buah dan Kacang Tree Nuts Kering (ISBN 979-98509-9-19); Pedoman untuk Menghambat Pertunasan pada Umi Lapis dan Umi Akar (ISBN 979-98509-6-7); Pedoman untuk Mengendalikan Patogen dan/atau Memperpanjang Masa Simpan Daging dan Unggas yang Terkemas (ISBN 979-98509-2-46); Pedoman untuk Memperpanjang

Masa Simpan Pisang, Mangga, Pepaya (ISBN 979-98509-4-08); dan Pedoman untuk Membasmi Serangga pada Buah Segar (ISBN 979-98509-5-910).

Aplikasi sterilisasi iradiasi pada dosis tinggi untuk makanan siap saji berbasis resep tradisional Indonesia sudah diteliti baik dari aspek mikrobiokogik, karakteristik fisiko-kimia maupun uji sensorik. Produk tersebut dipersiapkan untuk pasien rumah sakit dan masyarakat yang rentan penyakit, serta bagi siapapun yang memerlukannya. Iradiasi pada dosis 45 kGy dikombinasikan dengan suhu rendah selama proses radiasi, dikemas secara vakum menggunakan bahan plastik laminasi ternyata dapat mensterilkan produk sekaligus memperpanjang masa simpan selama 1,5 tahun pada suhu kamar yaitu $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ tanpa merubah kualitasnya. Meskipun legalitas dari BPOM belum ada, namun beberapa jenis bahan pangan olahan atau pangan siap saji berbasis ikan, ternak dan unggas sudah mulai diperkenalkan kepada masyarakat yang memerlukan bantuan pangan khususnya bagi mereka yang tidak memiliki fasilitas pendingin, atau mereka yang berada di lokasi terpencil dan memerlukan makanan siap santap (29).

PENUTUP

Sampai saat ini, pemanfaatan teknologi radiasi secara meluas untuk keamanan dan memperpanjang daya simpan komoditi pangan masih menghadapi tantangan berat yaitu masalah pro dan kontra terhadap produk pangan atau bahan makanan yang diproses dengan radiasi. Aplikasi teknologi radiasi untuk bahan pangan secara komersial masih perlu didukung dengan program sosialisasi yang intensif. Hambatan berupa penerimaan publik terhadap produk pangan atau makanan iradiasi disebabkan oleh masalah kurangnya pemahaman masyarakat terhadap manfaat teknologi iradiasi pangan, atau karena masalah kompetisi bisnis dari negara pengimpor. Agar radiasi pangan dapat diimplementasikan secara optimal baik untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun internasional diperlukan dukungan kuat dari para pihak pemangku kepentingan di semua sektor baik dari instansi pemerintah maupun kalangan dunia usaha dan masyarakat melalui program promosi yang terpadu dan sinergik.

DAFTAR PUSTAKA

1. JAY, J.M., MODERN FOOD MICROBIOLOGY, 5-th edition, Chapman & Hall, International Thomson Publishing, New York, USA (1996).
2. GRECZ, Z., ROWLEY, D.B., and MATSUYAMA (1981), The Action of Radiation on Bacteria and Viruses, Preservation of Food by Radiation, Vol II., IAEA p. 167.

3. MILLER, R.B., *Electronic Irradiation of Foods, An Introduction to the Technology*, Springer Science+Business Media, Inc., USA (2005).
4. DIEHL, J.F., *SAFETY OF IRRADIATED FOODS*, Marcel Dekker, Inc., New York, USA (1990).
5. MURRAY, TK., Nutritional aspects of food irradiation, in: *Recent advances in Food Irradiation*, (P.S.Elias and A.J. Cohan eds.) Elsevier Biomedical Press, The Netherlands (1983). p. 203-216.
6. DERR, D., *Food Irradiation: the basic*, Food safety consultant, Glen Burnie, Maryland, <http://www.food-irradiation.com/basic> (1998).
7. TAKEHISA, M., *Process and product control of electron beam (EB) processing*, Presented at IAEA/FAO Regional (RCA) Workshop on Electron Beam Processing for Food Irradiation, 22 October-2 November 1990, Japan (1990).
8. MACHI, S., *Application of electron accelerator worldwide*, in: *Proceedings of the FNCA Workshop on Application of Electron Accelerator* (Yoshii F. and Kume T. eds), January 28-February 1, 2002, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), Takasaki, Japan (2003) p. 9-14.
9. HARIYADI, P., *Peran dan potensi mesin berkas elektron (electron beam) dalam meningkatkan keamanan pangan*, Disajikan pada Seminar Pendayagunaan Hasil Litbangyasa IPTEK Nuklir V dan Bursa Teknologi, 12 Oktober 2004, Pusat Pendayagunaan IPTEK Nuklir (PPDIN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Jakarta (2004).
10. BRYNJOLFSSON, A., *Interaction of gamma-rays, X-rays, and fast electrons with food and food components*, International facility for Food Irradiation Technology, PO Box 230, 6700 AE Wageningen, The Netherlands (1980).
11. KUNSTADT, P., *Economics of food irradiation*, in : *Irradiation for Food Safety and Quality* (P. Loaharanu and P.Thomas eds.) Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA (2001) p. 129-157.
12. MORRISON, R.M., *An economic analysis of electron accelerators and Cobalt-60 for irradiating food*, Economic Research Service , United States Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1762 (1989) p. 1-38.
13. ANOMYNOUS, *Dosimetry for food irradiation*, IAEA Technical Reports Series No. 409, International Atomic Energy Agency, Vienna (2002).
14. BELITZ, H.D. and GROSCH, W., *FOOD CHEMISTRY*, 2nd edition. Translation from the fourth German edition by M. Burghagen et.al., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany (1999).

15. CLELAND, M.R., HERER, A.S. and COKRAGAN, A., Economics of machine sources for irradiation of food, in : *Irradiation for Food Safety and Quality* (P. Loaharanu and P.Thomas eds.) Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA (2001) p. 158-168.
16. ANONYMOUS, Codex Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation facilities used for the Treatment of Foods (CAC/RCP 10-1979, Rev.1), Codex Alimentarius Commission, Vol. XV, Geneva (1984).
17. Mc. MURRAY, C.H., Food irradiation-the challenge, in: *Food Irradiation and the Chemist* (D.E.Johnston and M.H. Stevenson eds.)The Proceedings of an International Symposium Organized by the Food Chemistry Group of The Royal Society of Chemistry as Part of the Annual Chemical Congress, Queen University Belfast 10-11 April 1990, Special publication No. 86, Royal Society of Chemistry (1990) p. 1-12, ISBN 0-85186-857-6.
18. ANONYMOUS, Fact about food irradiation, A series of fact sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (1999).
19. ANONYMOUS, Ionizing energy in food processing and pest control : II.Applications, Task Force Report No. 115, June 1989, Council for Agricultural Science and Technology, 137 Lynn Avenue, Ames Iowa, USA. (1989).
20. THAYER, D.W., Wholesomeness of irradiated foods, *Food Technol.* 18 (5): 132- 135 (1994).
21. ANONYMOUS, High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy, WHO Technical Report Series no. 890, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, World Health Organization, Geneva (1999).
22. BASSON, R.A., Advances in radiation chemistry of food and food component-an overview, in: *Recent advances in Food Irradiation*, (P.S.Elias and A.J. Cohan eds.) Elsevier Biomedical Press, The Netherlands (1983). P. 7-25.
23. McMURRAY, C.H., STEWART, E.M., GRAY, R., PEARCE, J., *Detection Methods for Irradiated Foods, Current Status*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom (1996).
24. SATIN, M., *FOOD IRRADIATION, A guide book*, Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania, USA (1993).
25. DIEHL, J.F., Achievements in food irradiation during the 20th century, in : *Irradiation for Food Safety and Quality* (P. Loaharanu and P.Thomas eds.) Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA (2001) p 1-8.

-
26. BASSON, R.A., Recent advances in radiation chemistry of vitamins, in: Recent advances in Food Irradiation, (P.S.Elias and A.J. Cohan eds.) Elsevier Biomedical Press, The Netherlands (1983). p. 189-201.
 27. ANONYMOUS, Codex General Standard for Irradiated Foods (Codex Stan 106-1983 –Rev. 1-2003) Codex Alimentarius Commission, Geneva (2003).
 28. ELIAS, P.S., Toxicological aspects of food irradiation, in: Recent advances in Food Irradiation, (P.S.Elias and A.J. Cohan eds.) Elsevier Biomedical Press, The Netherlands (1983). p. 235-245.
 29. IRAWATI, Z., MAHA,M., ANSORI, N., NURCAHYA,C.M. and ANAS,F., “Development of shelf-stable foods fish pepes, chicken and meat dishes through radiation processing”, Radiation processing for safe, shelf-stable and ready to eat food, proceedings of a final Research Co-ordination Meeting held in Montreal, Canada, 10-14 July 2000, IAEA-TECDOC-1337, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (2003) p. 85-99.
 30. SOEKARTO, ST. Penilaian Organoleptik untuk Industri pangan dan hasil pertanian,. Jakarta: Bhatara Karya Aksara, (1985) Hal. 1,78.
 31. NAYGA Jr., R.M.,POGHOSYAN, A. and NICHOLS, J., “Will consumers accept irradiated food products?” International Journal of Consumer Studies, 28,2, March, (2004) p. 178-185.
 32. DEPKES RI., Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 152/MENKES/SK/II/1995 tentang Perubahan Atas Lampiran Peraturan Menteri Kesehatan No. 826/MENKES/PER/XII/1987 mengenai Makanan Iradiasi (1995).
 33. ANONIM, Uji coba dan komersialisasi makanan iradiasi, PT. Perkasa Sterilindo, Cibitung Bekasi (2006). Komunikasi pribadi.
 34. ANONIM, Panduan cara iradiasi yang baik, Badan Pengawas Obat dan Makanan, Jakarta (2004).