

PERKEMBANGAN DAN PROSPEK PROSES RADIASI PANGAN DI INDONESIA

[Development and Prospect of Food Radiation Processing in Indonesia]

Zubaidah Irawati

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional
PO Box 7002 Jakarta JKSL 12070

Diterima 11 Juli 2008 / Disetujui 22 Desember 2008

SUMMARY

Several factors such as insufficient harvesting and handling methods as well as inadequate methods of storage and distribution, poor processing techniques and poor quality of raw materials used in making ready to eat foods may lead to the cumulative causes of food borne illness particularly in developing countries. Public trend in the world nowadays are demanding access to more and more fresh eating products practical but nutritious, safe and preferably processed under non thermal treatments. The new and emerging post harvest technologies in controlling pathogen and maintaining quality of food products is ionizing radiation, because it is applicable for almost all type of foods without impairing the overall quality as well as sensory attributes. The foods either fresh, dried, or ready to eat meals in the packages can be exposed to ionizing radiation for different purposes such as quarantine measures, control of sprouting and germination, shelf-life extension of perishable foods, delaying ripening and aging of fruits and vegetables, destruction of parasites and harmful pathogenic microorganisms. International trade of agricultural commodities opens the possibility of the movement of pests such as insects from country to country. The countries involve in this business have established laws and regulations, including international trade regulation of irradiated foods, in order to minimize the risk and trade barrier. The future of food irradiation is filled with promise although the needs for this technique relates to consumer acceptance. Consumers will grow to appreciate the technology for the lifesaving and good food availability. It should be kept in mind that irradiation is controlling contamination and it does not prevent it.

Key words : consumer acceptance, food irradiation, post harvest losses

PENDAHULUAN

Radiasi pengion merupakan proses non-termal diharapkan dapat mengatasi masalah kerusakan pangan pasca panen karena memiliki beberapa keunggulan yang tidak ditemukan pada teknik konvensional, diantaranya adalah tidak meninggalkan residu apapun di dalam produk, efektif dan efisien, dan mampu mempertahankan kesegaran bahan tetap alami (Crawford, 2001; Satin, 2001). Teknik tersebut dapat diaplikasikan pada komoditi pertanian termasuk bahan pangan segar (buah dan sayuran), kering (biji-bijian, rempah, sereal) (Anonymous, 1999a), semi basah (pangan olahan), bahkan pangan siap saji (Anonymous, 1999b). Aplikasi radiasi pengion pada bahan pangan yang dapat pula dikombinasikan dengan perlakuan fisika lainnya dapat dimanfaatkan untuk menunda pematangan dan menghambat pertunasan, karantina, membasmi serangga, kapang/khamir, bakteri, parasit, dan membasmi mikroba patogen pembentuk spora.

Adanya pergeseran pola dan gaya hidup masyarakat Indonesia akibat kesibukan dan kegiatan diluar rumah, serta kesadaran akan mengkonsumsi pangan berkualitas menunjukkan peningkatan yang nyata pada sepuluh tahun terakhir. Masyarakat saat ini lebih menginginkan jenis makanan yang cepat saji, praktis, namun tetap aman, higienis dan berkualitas. Berdasarkan hal ini, telah dikembangkan produk pangan siap saji berbasis resep

tradisional yang disterilkan dengan radiasi pengion dosis tinggi yang memiliki prospek karena berkualitas, praktis, tahan lama, dan aman dikonsumsi. Produk tersebut akan bermanfaat bagi pasien yang memiliki imunitas rendah, masyarakat terisolir dengan alasan bencana alam atau pekerjaan (*off-shore*), atau keperluan lain (Irawati, *et al.* 2003a, 2003b; Febriana, 2005). Pangan siap saji yang disterilkan dengan sinar gamma telah diperkenalkan pula kepada masyarakat korban bencana alam Tsunami tahun 2004 melalui Palang Merah Indonesia dibawah koordinasi Badan Tenaga Nuklir Nasional yang bekerjasama dengan Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi-RI (Anonim, 2005), dan melalui Departemen Sosial untuk korban bencana alam di Yogyakarta tahun 2006 (Sulistiyawati, 2006). Akan tetapi, pada umumnya masyarakat masih belum memahami arti penting dari teknologi tersebut. Oleh karena itu, teknik diseminasi dan sosialisasi yang dilakukan secara kontinyu, efektif dan efisien kepada masyarakat pengguna masih perlu ditingkatkan.

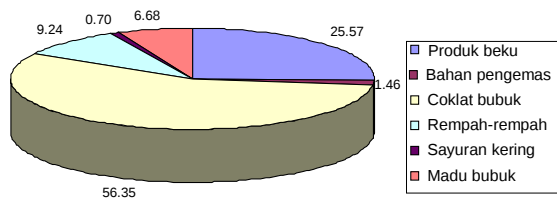
Makalah ini membahas perkembangan dan prospek iradiasi pangan di Indonesia, antara lain mencakup pemahaman teknologi, prasarana dan sarana iradiasi, regulasi dan dasar hukum, dan komersialisasi iradiasi pangan. Diharapkan teknologi radiasi pengion dapat dimanfaatkan untuk mengamankan komoditi pertanian pasca panen dari kerusakan berlanjut selama distribusi dan penyimpanan (Irawati, 2006).

ASPEK KEAMANAN DAN PERKEMBANGAN IRADIASI PANGAN

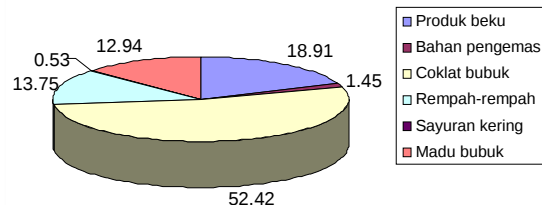
Keberhasilan proses radiasi pada komoditi pertanian dan bahan pangan hanya akan dicapai apabila mengikuti petunjuk cara iradiasi yang baik antara lain kondisi bahan pangan, fasilitas iradiator lengkap dengan sarananya (Anonymous, 1984; Anonymous, 2002), teknik pengemasan, sumber daya manusia (Diehl, 1990), tujuan iradiasi, dan kondisi saat distribusi dan penyimpanan (Irawati, 2007). Legalitas pemerintah dan penerimaan konsumen terhadap iradiasi pangan merupakan aspek utama dan memiliki peranan penting di dalam implementasi teknologi di masyarakat, baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang. Peraturan iradiasi pangan yang wajib ditaati oleh hampir 40 negara mengacu pada standar internasional CODEX Alimentarius (CODEX Alimentarius Commission of *Irradiated Foods Rev.1-2003*) (Anonymous, 2003) dan standar internal yang dikeluarkan oleh masing-masing negara anggota.

Indonesia merupakan negara anggota *International Atomic Energy Agency* (IAEA), yang pro aktif di dalam mengembangkan dan mengaplikasikan teknologi radiasi pada bahan pangan termasuk aspek keamanannya yang ditinjau dari aspek mikrobiologi dan kimia sejak tahun 1969

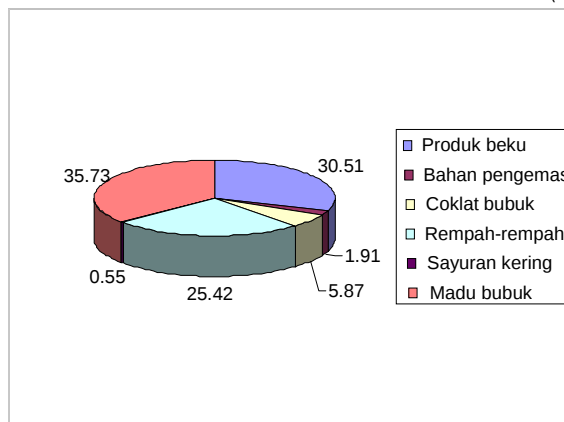
sampai saat ini. Kegiatan tersebut meliputi kontrak penelitian dan pengembangan teknologi iradiasi mulai dari produk mentah sampai olahan (Irawati *et al.*, 2003a; Irawati, 2006), pertukaran informasi tentang perkembangan makanan iradiasi di negara Asia Pasifik (Anonymous, 2001; Anonymous, 2003), bantuan teknis dalam bentuk tenaga ahli dan peralatan, serta aspek yang lain. Uji coba komersialisasi iradiasi pangan di Indonesia untuk komoditi pangan segar, kering, dan beku telah dirintis oleh fasilitas iradiator swasta di Cibitung, Bekasi pada tahun 1982, dan mulai dikomersialisasikan di lintas perdagangan internasional sejak diberlakukan regulasi oleh Menteri Kesehatan pada tahun 1987 (peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomer No. 826/ MENKES/ PER/ XII/ 1987 dan No. 152/ MENKES/ SK/ II/ 1995) (Anonymous, 1999; Depkes RI, 1995). Label pangan No. 69/1999 par.34, peraturan standar internasional untuk makanan iradiasi (CODEX Alimentarius *Commission-Irradiated foods Rev.1-2003*) (Anonymous, 2003) dan peraturan perdagangan internasional untuk pangan iradiasi tujuan karantina (Irawati, 2007). Peraturan tentang iradiasi pangan lainnya adalah Undang Undang Pangan RI No.7/1996 yang dijabarkan ke dalam Peraturan Pemerintah RI No. 28 tahun 2004 (Anonim, 2004). Perkembangan komersialisasi radiasi pangan di Indonesia tahun 2005-2007 (Anonim, 2007) disajikan pada Gambar 1-3.



(1) Tahun 2005



(2) Tahun 2006



(3) Tahun 2007

Gambar 1-3 Komersialisasi iradiasi pangan di Indonesia periode 2005-2007.

Pada gambar tersebut terlihat bahwa iradiasi pangan di Indonesia menunjukkan peningkatan dari tahun ke-tahun untuk komoditi tertentu, tetapi juga mengalami penurunan untuk jenis produk lainnya. Hal ini disebabkan oleh permintaan pasar dunia yang tidak menentu, beberapa eksportir mengiradiasi di luar negeri sesuai permintaan *buyers*, bencana alam, dll. Sebaliknya, komersialisasi iradiasi pangan akan mengalami peningkatan pada saat produk pangan tanpa radiasi dari para eksportir ditolak oleh negara pengimpor seperti Amerika, Eropa Barat, dan beberapa negara di Asia Pasifik dengan alasan jumlah kontaminasi mikroba tinggi, ditemukan adanya bahan kimia berbahaya, menjelang Natal dan pergantian tahun, Paskah, musim panas dan musim dingin. Dilaporkan pula bahwa permintaan iradiasi pangan dunia pada tahun 2012 diprediksi akan meningkat sebesar US\$ 2.3 juta. Di Indonesia, industri pemasok bahan baku komoditi pangan sudah menggunakan jasa iradiasi untuk pasar domestik sejak 5 tahun terakhir dan terus menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun.

PENGARUH DAN MANFAAT IRADIASI PENGION PADA BAHAN PANGAN

Sejak beberapa dekade, para ilmuwan dan ahli rekayasa senantiasa berusaha untuk mendapatkan terobosan teknologi pengolahan pangan yang baru namun tetap alami, sehingga dapat memenuhi permintaan konsumen. Beberapa tren pangan global yang ada dikalangan masyarakat saat ini adalah mengkonsumsi jenis makanan yang mengandung rendah gula dan rendah lemak, menyehatkan, instan, organik, tanpa bahan pengawet kimia, pengawetan non-termal, dan pengolahan bahan yang seminimal mungkin menimbulkan kerusakan protein, lemak dan minyak (Gregory, 2005).

Teknik penanganan bahan pangan pada tahapan pasca panen merupakan titik kritis dan akan menentukan kualitas dari produk akhir. Komoditas pertanian akan selalu terkontaminasi oleh benda asing sejak dilapangan seperti tanah, mikroba patogen, pestisida, dll. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang handal, sehingga kelak dapat diperoleh produk yang bagus dan berkualitas.

Proses pasteurisasi pada bahan pangan di dalam kemasan merupakan salah satu cara untuk membunuh atau menginaktivasi mikroba patogen sekaligus dapat memperpanjang masa simpannya. Pada prinsipnya, ada dua cara proses pasteurisasi yaitu secara teknik konvensional dengan menggunakan panas (*thermal processing*) dan proses non termal / proses "dingin" (*non-thermal processing*).

Teknologi pengawetan pangan yang masih dikategorikan langka untuk diaplikasikan adalah iradiasi pangan menggunakan sumber radionuklida, proses dengan tekanan tinggi, *pulse-electric field pasteurization*, *high intensity pulse lights*, *high intensity pulsed-magnetic field*, dan perlakuan ozon (Satin, 2001; Gregory, 2005).

Kandungan dan sifat-sifat bahan pangan serta jenis bahan pengemas yang akan digunakan perlu dikaji lebih awal sebelum teknik pengawetan apapun akan

diaplikasikan, karena akan menimbulkan reaksi kimia yang akhirnya dapat berpengaruh pada kualitas bahan tersebut.

Pengaruh iradiasi pada bahan pangan dibedakan atas dua hal yaitu pengaruh langsung (*direct effect*) dan tidak langsung (*indirect effect*). Pada pengaruh langsung, penyinaran dengan radiasi pengion dapat menyebabkan kerusakan sel jaringan baik pada mikroba terutama yang bersifat patogen dan pembusuk (Morrison, 1989) maupun pada bahan pangan. Hal tersebut disebabkan adanya energi deposisi pada komponen kritis sel yang disebut asam deoksiribonukleat (DNA) di dalam khromosom yang membawa informasi genetik sel dan membran sel (Grecz *et al.*, 1981). Pengaruh iradiasi secara tidak langsung disebabkan adanya hasil tumbukan sinar dengan sel atau molekul tertentu sehingga terbentuk molekul dan radikal bebas yang sangat reaktif antara lain hidrogen peroksida dan radikal hidroksil bersifat oksidator kuat yang dapat bereaksi dengan bahan pangan yang disinari. Prinsip ini yang dimanfaatkan untuk membunuh serangga dengan berbagai stadia dan mikroba patogen termasuk bakteri berspora yang terbawa sejak awal (*indigenous contamination*) di dalam bahan pangan. Efektivitas dan efisiensi proses radiasi pada bahan pangan bergantung pada beberapa faktor antara lain adalah tingkat sensitivitas serangga dan mikroba, sifat intrinsik bahan seperti gizi makro (protein, karbohidrat, dan lemak), dan gizi mikro (vitamin dan mineral) (Darwis, 2006), pH, kadar air, suhu (Murray, 1983), aktivitas air, dan sifat produk lain (Basson, 1983), serta kondisi lingkungan radiasi (jenis sumber, dosimetri, dosis, oksigen, dan suhu) (Basson, 1983). Paparan radiasi pengion pada dosis rendah (≤ 1 kGy) dapat dimanfaatkan untuk menunda pematangan buah dan menghambat pertunasan; dosis sedang (2 -10 kGy) untuk membasmi serangga dan parasit, mikroba patogen, dan kapang / khamir, dosis tinggi (> 10 kGy) untuk membasmi seluruh mikroba patogen termasuk mikroba pembentuk spora.

Hampir semua teknologi memiliki batasan dan ketentuan yang wajib dipatuhi oleh pengguna yang akan memanfaatkan teknologi tersebut. Agar supaya bahan pangan yang diiradiasi tidak memberikan dampak negatif dan merugikan konsumen, maka sebelum mengiradiasi bahan pangan, industri pangan diwajibkan memahami secara rinci seluruh aspek yang terkait dengan proses radiasi, kondisi bahan pangan, dan melakukan iradiasi pangan sesuai dengan *Standard Operating Prosedure* (SOP) yang berlaku serta pedoman cara iradiasi pangan yang baik (Diehl, 1990). Buku paket 10 seri pedoman Cara Iradiasi Yang Baik masing-masing berisi panduan lengkap berdasarkan jenis produk pangan yang telah dikeluarkan oleh *International Consultative Group of Food Irradiation* (ICGFI) telah diadopsi oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dan diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia pada tahun 2004. Pedoman tersebut sudah dimanfaatkan baik oleh perorangan, perusahaan maupun oleh para eksportir bahan pangan sampai saat ini.

Pihak BATAN bekerjasama dengan fasilitas layanan jasa iradiasi pangan membantu memberikan

pengarahan dan pemahaman kepada industri pangan tentang hal ini.

IRADIASI BAHAN PANGAN DENGAN SINAR GAMMA

Jenis radionuklida yang lazim digunakan pada saat ini adalah Cobalt-60 yang bukan hasil fisi melainkan hasil penembakan Cobalt-59 dengan neutron selama 1.5 tahun (Morrison,1989). Cobalt-60 di dalam aplikasinya dilindungi oleh pembungkus *stainless steel* dan disimpan di dalam kolam air deionisasi pada kedalaman 6 meter yang terletak di dalam ruangan berlapis tebal (emisi sinar gamma 1.17 dan 1.33 MeV, radiasi β 0.31 MeV) dengan waktu paruh 5.2 tahun dan meluruh dalam bentuk nikel yang stabil dan tidak bersifat radioaktif. Sumber lain yang dapat digunakan adalah Cesium-137 yang memiliki beberapa sifat yang sedikit berbeda dengan Cobalt-60 (emisi radiasi gamma 0.66 MeV, radiasi β 0.51 MeV dan 1.18 MeV) dengan waktu paruh 30 tahun. Meskipun demikian, Cesium-137 akan meluruh pula dalam bentuk Barium yang stabil dan tidak mengandung radioaktif (Diehl,1990).

Sinar gamma memiliki daya tembus yang tinggi dengan panjang gelombang yang sangat pendek yaitu berada di dalam rentang 10^{-7} – 10^{-10} cm atau energi foton antara 10^3 – 10^6 eV. Ditinjau dari waktu paruh dan persyaratan ramah lingkungan serta efisiensi biaya, maka cobalt-60 lebih banyak digunakan untuk mengiradiasi bahan pangan baik dalam skala laboratorium maupun skala industri. Sumber radiasi Cobalt-60 dengan kapasitas ≥ 3 MCi dengan efisiensi penyerapan dosis 100% maka dapat diasumsikan bahwa fasilitas tersebut mampu mengiradiasi bahan pangan 4.44 ton/detik pada dosis 10 Gy atau 10 kGy untuk mengiradiasi 16 ton/jam. Apabila efisiensi paparan 25%, maka iradiator tersebut mampu mengiradiasi 4 ton/jam untuk dosis 10 kGy (Diehl,1990). Di dalam prakteknya, apabila kapasitas sumber iradiator cukup besar, maka ada 2 hal pokok yang perlu dipertimbangkan yaitu kecepatan konveyor dan kecepatan sistim transportasi produk ke dalam dan keluar dari iradiator (loading dan unloading). Komersial iradiator gamma yang beroperasi saat ini diseluruh dunia sudah lebih dari 150 fasilitas dan diantaranya telah berjalan sejak 20 tahun lalu.

IRADIASI BAHAN PANGAN DENGAN MESIN BERKAS ELEKTRON (MBE)

Seperti halnya cobalt-60, pengawetan bahan pangan dengan mesin berkas elektron (MBE) juga merupakan salah satu teknik pasteurisasi dingin. Teknik tersebut mampu mengeliminasi mikroba patogen penyebab penyakit yang diderita oleh 76 juta orang penduduk Amerika Serikat dan akibat penyakit ini, sekitar 5200 orang meninggal setiap tahunnya (Gregory,2005).

Berkas elektron (*electron beam*) adalah arus elektron berenergi, dimana elektron mendapatkan energi kinetik melalui medan elektrik. Berkas elektron dihambat oleh

elektron diluar inti akibat muatan negatif akan memberikan sebagian energinya kepada atom dan selanjutnya memberikan pancaran elektron sekunder sebagai hasil dari suatu reaksi. Elektron tersebut akan berinteraksi dengan atom lain, menghasilkan semburan elektron yang lebih banyak dan energinya akan diserap oleh bahan yang diiradiasi. Energi yang diserap tersebut akan menghasilkan radikal bebas, sehingga dapat menimbulkan reaksi kimia pada bahan yang dilaluinya. Oleh karena elektron merupakan salah satu komponen atom, maka elektron bersifat mutlak pembawa energi (Anonim, 2004). Mekanisme kerja dari MBE pada prinsipnya adalah menyinari bahan pangan yang dilewatkan melalui elektron yang dihasilkan oleh mesin pemercepat elektron. Elektron yang dihasilkan tersebut meningkatkan kecepatan energi pada gelombang mikro yang mendekati kecepatan cahaya (186,000 mil/detik). Elektron yang dipercepat tersebut kemudian melepaskan energinya dan merusak mikroba perusak yang terbawa di dalam bahan pangan. Proses tersebut berlangsung sangat cepat, sehingga tidak meningkatkan suhu dan tidak meninggalkan residu pada bahan yang diproses dengan teknik tersebut (Gregory,2005). Agar proses iradiasi bahan pangan dengan MBE tidak timbul bau (*radiation odour*) akibat produksi ozon yang sebagian terserap ke dalam bahan tersebut, maka proses kontrol terhadap produksi ozon akibat penyinaran dapat dicegah baik dengan cara dihisap keluar maupun dibuang dengan teknik lain (Anonim, 2004).

Sekitar 1000 mesin berkas elektron telah dioperasikan diseluruh dunia baik untuk mengiradiasi bahan pangan maupun non pangan seperti polimer, produk kesehatan, pengamanan lingkungan dengan berbagai tujuan aplikasi yang berbeda.

Iradiasi pada bahan pangan dengan MBE ditujukan untuk menekan proses pembusukan akibat kontaminasi mikroba, meningkatkan keamanan pangan dan mempertahankan kualitas serta mencegah kerusakan berlanjut selama penyimpanan (Kashiwagi, 2003). Iradiasi menggunakan elektron dipercepat (*linear accelerator*) dengan energi sebesar 10 MeV, dan kekuatan (*power*) sebesar 10 kW telah diaplikasikan dalam skala komersial di Perancis sejak tahun 1990 untuk tujuan dekontaminasi bakteri *Salmonella* dan *Staphylococcus* pada daging unggas. Odessa di Ukraina memanfaatkan MBE 1.2-1.5 MeV, 40 kW dengan disain curah digunakan untuk disinfestasi biji-bijian pasca panen. Daging segar dan produk olahannya dalam bentuk beku diiradiasi di Amerika menggunakan MBE berenergi tinggi (10 MeV, 4 kW) (ITO,2003).

Berdasarkan tingkat energi yang dimiliki, MBE dapat digolongkan ke dalam 3 kategori yaitu : elektron energi rendah (low energy accelerators /soft electrons : 150 KeV–2 MeV), elektron energi sedang (medium energy accelerators : 2.5 – 8 MeV) dan energi tinggi (high energy accelerators : > 9 MeV).

Sistim yang akan diterapkan di dalam proses iradiasi bahan pangan dengan MBE harus memperhatikan beberapa faktor yaitu : perbandingan antara dosis maximum dan dosis minimum (Dose uniformity : D_{max}/D_{min}),

pemanfaatan efisiensi yang merupakan fraksi dari energi elektron yang diserap sebagai dosis yang bermanfaat untuk produk yang akan diiradiasi (Machi, 2002), berat, volume dan jenis produk dan kemasan, ketebalan, ukuran/lebar, dosis yang diinginkan, teknik penanganannya dan kondisi iradiasi (dosimetri, suhu bahan pangan, oksigen). Parameter lain yang perlu diperhatikan pada alat MBE adalah tegangan pemercepat, arus berkas (*beam current*) dan lebar berkas paparan iradiasi (*irradiation width*).

RADIONUKLIDA vs MESIN BERKAS ELEKTRON SEBAGAI SUMBER RADIASI PENGION

Baik pada fasilitas iradiator gamma maupun elektron dipercepat keduanya merupakan proses radiasi yang saling melengkapi. Iradiasi gamma lebih tepat diterapkan untuk mengiradiasi produk dalam bentuk besar, densitas tinggi, dan di dalam wadah yang tebal. Elektron dipercepat lebih baik diterapkan untuk mengiradiasi bahan yang tipis, pelapisan permukaan, laminasi, rata, ramping, tepung curah, cairan yang mengalir, atau produk cair yang memerlukan laju dosis tinggi secara terus menerus (Miller, 1995; Morrison, 1989). Pada kondisi tertentu, suatu produk dapat diiradiasi dengan MBE atau iradiator gamma, akan tetapi ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan sebelum membangun instalasi kedua jenis sumber radiasi pengion diantaranya ialah total biaya investasi, kontrol selama proses, dan hasil akhir yang diperoleh berkaitan dengan efisiensi dari kedua jenis sumber tersebut (Danu, 2003) serta berbagai keunggulan di dalam mengaplikasikan teknologi radiasi untuk meningkatkan kualitas bahan pangan itu sendiri (Upatham, 2003).

Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh sumber radiasi pengion yang berasal dari MBE diantaranya adalah bahwa MBE memiliki kemampuan mengiradiasi yang tinggi, ekonomis dalam hal proses, dapat dengan mudah dinyalakan dan dimatikan, tidak meluruh dan sumbernya tidak meninggalkan sampah, lebih mudah diterima oleh masyarakat sebagai fasilitas iradiator. Akan tetapi MBE memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah memiliki parameter proses yang rumit yaitu tegangan pemercepat (*acceleration voltage*), arus berkas elektron (*electron beam current*), lebar scan (*scan width*), kecepatan konveyor (*conveyor speed*), *bulk flow rate*, distribusi produk (*product distribution*) dan densitas produk (*bulk density*). Efisiensi proses dan distribusi dosis sangat bergantung pada seleksi parameter tersebut dan kombinasinya serta disesuaikan dengan konfigurasi produk atau bahan pangan di dalam kemasan yang umum digunakan adalah karton. MBE energi tinggi ($> 9 \text{ MeV}$), hanya memiliki kemampuan penetrasi ke dalam produk yang diiradiasi sebesar 4 g/cm^2 (Diehl, 2001). Konversi berkas elektron ke dalam sinar X melalui Bremsstrahlung sesuai dengan batasan yang diperbolehkan, dapat meningkatkan kemampuan daya tembus sehingga kelak dapat digunakan untuk mengiradiasi bahan pangan

dalam kapasitas dan skala kemasan yang lebih besar (Takehisa, 1990).

Pada disain iradiator yang baik, maka MBE, Cobalt-60 dan Cesium-137 masing-masing dapat mencapai nilai efisiensi sebesar 50%, 30%, dan 20%. Apabila bahan pangan diiradiasi dengan dosis 10 kGy, maka MBE dengan tenaga 1kW mampu mengiradiasi bahan pangan sebanyak 180 kg, Cobalt-60 dengan kapasitas 67 kCi mampu mengiradiasi 108 kg dan Cesium-137 dengan kapasitas sumber 308 kCi mampu memproses 72 kg. Meskipun demikian, fasilitas iradiator menggunakan sumber radiasi mesin berkas elektron relatif lebih rumit dan memerlukan sumber daya manusia yang khusus terlatih dibandingkan dengan sumber radionuklida.

Sampai saat ini, di Indonesia fasilitas iradiator menggunakan sumber Cobalt-60 lebih mudah digunakan dan ekonomis karena komoditas pertanian pada umumnya dalam bentuk *bulk* dan dalam kapasitas besar. Tren dan prospek kegiatan iradiasi pangan di seluruh dunia termasuk Indonesia adalah melakukan kegiatan pengembangan iradiasi pangan olahan dan siap saji berbasis resep tradisional dan pengembangan aplikasi teknik radiasi yang relatif langka pada bahan pangan (*novel application*) untuk tujuan yang berbeda sesuai keperluan masyarakat pengguna akhir (*end users*).

KESIMPULAN

Iradiasi pada bahan pangan merupakan teknologi non-termal yang aman, efektif dan efisien dan tidak dapat dipisahkan dari serangkaian tahapan jaminan mutu yang telah diterapkan sebelum bahan pangan diiradiasi sampai saat didistribusikan dan disimpan.

Indonesia memiliki potensi dan prospek cerah untuk meningkatkan mutu dan keamanan komoditi pangan dengan memanfaatkan radiasi pengion, karena persaingan dagang dengan negara lain di pasar global yang semakin ketat. Meskipun masih terjadi pro dan kontra terhadap penerimaan iradiasi pangan oleh publik, namun permintaan pasar dunia terhadap pasokan bahan pangan yang diiradiasi terus meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [Anonim]. 2004a. *Panduan Cara Iradiasi yang Baik*. Jakarta: Badan Pengawas Obat dan Makanan.
- [Anonim]. 2004b. Peraturan Pemerintah No. 28/2004 : Keamanan, Mutu dan Gizi Pangan, Ditetapkan tanggal 5 Oktober 2004 di Jakarta.
- [Anonim]. 2005. 14 Januari 2005. BATAN siapkan makanan siap saji untuk Aceh. *Republika*: hal/kolom : 9/3-4.
- [Anonim]. 2007. Data komersialisasi iradiasi pangan 2005-2007, PT. Rel-Ion, Bekasi (tidak dipublikasi)

- [Anonim]. 1984. 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.
- [Anonim]. 1995. The development of X-Ray machines for food irradiation, *Proceedings of a consultant meeting*; Vienna, 16-18 October 1995 .Austria.
- [Anonim]. 1999a. Fact about food irradiation, A series of fact sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- [Anonim]. 1999b. 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]. Geneva: World Health Organization.
- [Anonim]. 1999c. The FAO/IAEA (RCA) workshop on development of a harmonized protocol on irradiation as a quarantine treatment of fresh
- [Anonim]. 1999. horticultural commodities (RAS-5-034). Manila, The Philippines, 7-9 April 1999. Vienna: Joint FAO/IAEA, Division of Nuclear Techniques and Agriculture, International Atomic Energy Agency
- [Anonim]. 2001. Process control of irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment. *Working material. Report of the FAO/IAEA (RCA) Workshop*; Beijing, 6-10 August 2001. Austria: IAEA.
- [Anonim]. 2002. Dosimetry for food irradiation. *IAEA Technical Reports Series No. 409*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Codex Alimentarius Commission. 2003a. *Codex General Standard for Irradiated Foods*. Geneva: Codex Alimentarius Commission; (Codex Stan 106-1983 –Rev. 1-2003).
- [Anonim]. 2003b. FAO/IAEA (RCA) Project Coordinators Meeting (PCM) on the application of irradiation for improving food safety, security and trade. *Working material*; Manila, 20-24 January 2003. Vienna: IAEA.
- Basson RA. 1983a. Advances in radiation chemistry of food and food component-an overview. Di dalam: Elias PS and Cohan AJ, editor. *Recent advances in Food Irradiation*. The Netherlands: Elsevier Biomedical Press. hlm. 7-25.
- Basson RA. 1983b. Recent advances in radiation chemistry of vitamins. Di dalam: : Elias PS and Cohan AJ, editor. *Recent advances in Food Irradiation*. The Netherlands: Elsevier Biomedical Press. hlm. 189-201.
- Crawford LM. 2001. Challenges and opportunities for food irradiation in the 21st century. Di dalam: Loaharanu P and Thomas P, editor. *Irradiation for Food Safety and Quality. Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing*. Pennsylvania: Technomic Publishing Co Inc. Lancaster. hlm.9-16.
- Danu S. 2003. The use of low energy electron accelerator for processing of liquid matter in Indonesia. Di dalam: Yoshii F and Kume T, editor. *Indonesia Country Report. Proceedings of the FNCA 2002 Workshop on Application of Electron Accelerator – Radiation System for Liquid Samples*; 16-20 December 2002. Takasaki: Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). hlm.51-56.
- Darwis D. 2006. Sterilisasi produk kesehatan (Health care products) dengan radiasi berkas elektron. *Risalah Pertemuan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*. Edisi khusus Juli 2006. Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Badan Tenaga Nuklir Nasional. hlm. 78-86. ISSN 1411-1349.
- DEPKES RI. 1995. 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.
- Diehl JF. 1990. *Safety of Irradiated Foods*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Diehl JF. 2001. Achievements in food irradiation during the 20th century. Di dalam: Loaharanu P and Thomas P, editor. *Irradiation for Food Safety and Quality. Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing*. Pennsylvania: Technomic Publishing Co, Inc, Lancaster. hlm. 1-8.
- Febriana B. 4 Juni 2005. Makanan awet setahun, Ilmu dan Teknologi. *Majalah Berita Mingguan GATRA*, No. 29 Tahun ke XI: hlm. 82.
- Grecz Z, Rowley DB and Matsuyama. 1981. The action of radiation on bacteria and viruses. *Preservation of Food by Radiation*. Vol II. Vienna: IAEA. hlm. 167.
- Gregory SR. 2005. Technology for global trends in food. Di dalam: *Seminar Nasional Teknologi Inovatif Pasca Panen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian*; Bogor, 7-8 September 2005. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian bekerjasama dengan Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

- Irawati Z, Maha M, Ansori N, Nurcahya CM and Anas F. 2003a. Development of shelf-stable foods fish pepes, chicken and meat dishes through radiation processing. Di dalam: Radiation processing for safe, shelf-stable and ready to eat food. *Proceedings of a final Research Co-ordination Meeting*; Montreal, Canada, 10-14 Juli 2000. Vienna: IAEA-TECDOC-1337, International Atomic Energy Agency. hlm. 85-99.
- Irawati Z, Natalia L, Ansori N, Nurcahya CM, Anas F, Syafarudin M. 2003b. Di dalam: *Inoculation packed studies on the shelf-stable food products: I. Effects of gamma irradiation at 45 kGy on the survival of Clostridium sporogenes spores in the foods (preliminary results)*. Radiation processing for safe, shelf-stable and ready to eat food *Proceedings*; Montreal, Canada, 10-14 Juli 2000. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) –FRCM, IAEA-TECDOC-1337, (2003). hlm. 100-115.
- Irawati Z, Natalia L, Nurcahya CM and Anas F. 2006. The role of medium radiation dose on microbiological safety and shelf-life of some traditional soups. Di dalam: *International Meeting on Radiation Processing*; Kuala Lumpur, 26 February – 3 March 2006. Accepted for publication in *International Journal of Radiation Physics and Chemistry*.
- Irawati Z. 2006. Aplikasi mesin berkas elektron pada industri pangan. Di dalam: *Risalah Pertemuan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*. Edisi khusus Juli 2006. Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Badan Tenaga Nuklir Nasional. hlm. 87-94. ISSN 1411-1349.
- Irawati Z. 2007a. Aplikasi teknik nuklir untuk meningkatkan keamanan dan daya simpan bahan pangan. Di dalam: *Seminar sehari HAKTEKNAS XII-DWP-LPND RISTEK*; Jakarta 30 Agustus 2007 (belum dipublikasi).
- Irawati Z. 2007b. Pengawetan pangan dengan teknik radiasi. Di dalam: *Lokakarya Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Nuklir*; Semarang, 4-7 Nopember 2007. Jakarta: diselenggarakan oleh Pusat Diseminasi IPTEK Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional. (belum dipublikasi).
- Ito H. 2003. *Application of EB Processing for Food Irradiation*. Japan: Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute. (tidak dipublikasi).
- Kashiwagi M. 2003. Medium and high energy electron beam processing system. Di dalam: Yoshii F and Kume T, editor. *Proceedings of the FNCA Workshop on Application of Electron Accelerator*; Takasaki, 28 January- 1 February 2002. Japan: Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). hlm. 72-85.
- Machi S. 2003. Application of electron accelerator worldwide. Di dalam: Yoshii F and Kume T, editor. *Proceedings of the FNCA Workshop on Application of Electron Accelerator*; Takasaki, 28 January-1 February 2002. Japan: Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). hlm. 9-14.
- Miller RB. 1995. *Electronic Irradiation of Foods: An Introduction to The Technology*. USA: Springer Science + Business Media, Inc (2005). ISBN: 0-387-23784-4.
- [Anonim]. 1995. The development of X-Ray machines for food irradiation. Di dalam: *Proceedings of a consultants meeting*; Vienna, 16-18 October 1995. Austria: [penerbit tidak diketahui].
- Morrison RM. 1989. An economic analysis of electron accelerators and Cobalt-60 for irradiating food. *Technical Bulletin* 1762:1-38. United States: Economic Research Service, Department of Agriculture.
- Murray TK. 1983. Nutritional aspects of food irradiation. Di dalam: Elias PS and Cohan AJ, editor. *Recent Advances in Food Irradiation*. The Netherlands: Elsevier Biomedical Press. hlm. 203-216.
- Satin M. 1993. *Food Irradiation: a guide book*. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc.
- Satin M. 2001. Modern trends in post-production technology. Di dalam : Loaharanu P and Thomas P, editor. *Irradiation for Food Safety and Quality Proceedings of FAO/IAEA/WHO. International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing*. Pennsylvania: Technomic Publishing Co, Inc, Lancaster. hlm. 103- 117.
- Sulistiyawaty AR. 2006. Rendang siap saji, pangan alternatif kondisi darurat. Kompas Yogyakarta <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0606/12/jogja/25238.htm> [12 Juni 2006].
- Takehisa M. 1990. Process and product control of electron beam (EB) processing. Di dalam: *Presented at IAEA/FAO Regional (RCA) Workshop on Electron Beam Processing for Food Irradiation*; Japan, 22 October-2 November 1990.
- Upathum C S. 2003. Current and future industrial application of electron accelerators in Thailand. Di dalam: Yoshii F and Kume T, editor *Proceedings of the FNCA Workshop on Application of Electron Accelerator*; Takasaki, 28 January-1 February 2002. Japan: Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). hlm. 49-53.