

P3TIR/S.001/2003

APLIKASI TEKNIK NUKLIR DIBIDANG
PERIKANAN

Harsojo dan L. Andini

APLIKASI TEKNIK NUKLIR DIBIDANG PERIKANAN*

Harsojo** dan L. Andini**

ABSTRAK

APLIKASI TEKNIK NUKLIR DIBIDANG PERIKANAN. Penerapan iradiasi pangan dibidang perikanan diantaranya untuk mengurangi kehilangan pasca panen, meningkatkan keamanan pangan, mengurangi polusi atau kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan kimia. Di Indonesia teknologi iradiasi telah diteliti dan dikembangkan sejak tahun 1968. Pada saat ini telah digunakan secara komersial dengan adanya legalisasi dari Departemen Kesehatan RI berupa peraturan MENKES RI No. 826/MENKES/PER/XII/1987 dan dilengkapi dengan keputusan MENKES RI No. 152/MENKES/SK/11/1995. Pada bulan November 1996 Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan (POM) Dep.Kes memberikan persetujuan penambahan satu jenis bahan pangan lagi yaitu cabe merah segar. Dengan demikian sudah ada 6 (enam) komoditi pangan yang boleh diiradiasi di Indonesia hingga saat ini. Komoditi tersebut antara lain ikan kering, paku kodok dan udang beku.

Kata kunci: Iradiasi, ikan, pengawetan makanan.

PENDAHULUAN

Penelitian dan pengembangan teknologi iradiasi pangan telah mengalami perjalanan panjang selama lebih dari 40 tahun. Dalam sejarah teknologi pangan, belum ada satupun teknologi lain yang melalui penelitian, pengujian, sorotan tantangan dan perdebatan yang demikian banyak seperti iradiasi. Oleh sebab itu sebagai akibatnya telah tersedia sejumlah publikasi ilmiah tentang iradiasi pangan yang meliputi aspek kimia, fisika, mikrobiologi, gizi, toksikologi, keamanan fasilitas teknologi, ekonomi dlsb (1). Informasi tersebut selanjutnya menjadi bahan pertimbangan oleh para pakar dan pembuat kebijakan untuk mengesahkan dan merekomendasikan penggunaan iradiasi sebagai salah satu teknologi atau alternatif yang aman dan bermanfaat.

Manfaat dari penerapan iradiasi pangan antara lain untuk mengurangi kehilangan pasca panen, meningkatkan keamanan pangan, mengurangi polusi atau kerusakan lingkungan akibat

* Dibawakan pada Seminar Nasional "Aplikasi Teknik Nuklir di Bidang Perikanan, Peternakan dan Pertanian" di UNIBRA, Malang 17 September 2002.

** Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Batan, Jakarta

penggunaan bahan kimia. Pemanfaatan iradiasi telah banyak digunakan secara komersial akan tetapi menurut LOAHARANU yang dikutip dari MAHA (1), volume pangan iradiasi yang diproduksi masih sangat sedikit dibandingkan dengan menggunakan teknologi lain. Hal ini disebabkan penggunaannya belum meluas akibat masih kurangnya pengetahuan masyarakat, produsen dan juga kebijakan pemerintah tentang teknologi ini, serta hambatan perizinan.

Keamanan pangan sangat penting bagi kesehatan masyarakat, oleh karena itu pemerintah berkewajiban melindungi dan mempertinggi derajat kesehatan masyarakat. Ada dua permasalahan penting yang berkaitan dengan penyediaan pangan, yaitu kehilangan pangan dalam jumlah yang besar dan penyakit serta kematian akibat kerusakan pangan yang tercemar dapat dihindari. Dari semua jenis keracunan makanan ternyata lebih dari 90% disebabkan oleh kontaminasi mikroba dan sisanya disebabkan oleh bahan kimia (2).

Makanan yang dikonsumsi manusia berasal dari tumbuh-tumbuhan dan hewan. Sedangkan secara alami, habitat dari mikroba adalah tumbuh-tumbuhan dan hewan. Untuk keperluan hidupnya mikroba memerlukan bahan organik (karbohidrat, protein dan lemak) yang diubah menjadi energi dan komponen anorganik. Oleh karena itu makanan manusia berupa yang masih mentah maupun olahannya merupakan media yang baik bagi mikroba untuk berkembang biak.

Ikan merupakan salah satu sumber protein dan juga sebagai bahan baku industri pengolahan, sehingga industri tersebut bergantung pada besarnya produksi perikanan. Dilain pihak produksi perikanan, baik untuk konsumsi dalam negeri maupun ekspor memerlukan pengolahan dan penanganan yang baik.

Menurut LUBIS (3) kerusakan atau pembusukan produk perikanan disebabkan oleh mikroorganisme akibat penanganan pasca panen dan pengemasan yang kurang baik. Teknik pengawetan, penanganan dan pengolahan hasil-hasil perikanan antara lain pemindangan dan pengasapan, pada penanganan ikan segar dilakukan dengan cara pemberian es, pembekuan dll.

Ikan asin setengah kering umumnya cepat rusak atau busuk karena gangguan mikroba dan serangga. Menurut AHMED et al dan LOAHARANU yang dikutip dari MAHA dkk (4)

gangguan oleh serangga pada ikan kering dan ikan asin dapat dicegah dengan menggunakan dosis iradiasi rendah masing-masing yaitu 0,20 dan 2,25 kGy.

Pengasapan merupakan salah satu cara pengawetan bahan pangan yang berdasarkan pada penurunan kadar air dan pengendapan berbagai senyawa yang bersifat pengawet yang berasal dari sumber asap yang digunakan. Di samping itu fungsi panas yang berasal dari pengasapan dapat menekan pembusukan yang disebabkan oleh proses enzimatik dan aktivitas mikroba. Menurut MAHA dan HARSOJO (5), di Indonesia ada dua macam ikan asap yaitu ikan asap setengah kering dengan kadar air 55-65%, misalnya bandeng asap Sidoarjo dan ikan asap dengan kadar air 12-20%, misalnya lais, lele, roa asap dari Manado dll. Jenis pertama cepat membusuk karena aktivitas mikroba, sedang jenis kedua cepat rusak karena gangguan serangga dan kapang. Serangga yang menyerang ikan asap kering terutama berasal dari jenis *Dermestes sp* dan *Necrobia rufipes*.

Disamping itu pertumbuhan kapang perlu dicegah, karena beberapa jenis diantaranya dapat memproduksi mikotoksin yang membahayakan bagi kesehatan konsumen. Untuk menghilangkan kapang dengan iradiasi diperlukan dosis yang tinggi karena kapang umumnya tahan terhadap iradiasi, terutama bentuk spora.

Komoditi lain yang juga termasuk perikanan ialah rajungan (*Portunus pelagicus*), udang windu (*Penaeus monodon*). Komoditi rajungan dan udang windu meningkat dari tahun ke tahun. Permintaan yang meningkat disebabkan rasa daging yang sangat gurih, nilai gizi cukup tinggi. Rajungan maupun udang merupakan bahan makanan yang cepat membusuk. Pembusukan ini dapat dihindari dengan cara iradiasi yang akan memperpanjang daya simpan karena akan membunuh bakteri pembusuk, patogen dan serangga. Menurut RASHID dkk (6), cemaran tersebut terjadi pada saat panen, penanganan dan transportasi. Cara umum yang dilakukan yaitu dengan pendinginan menggunakan es segera setelah panen dan proses pencucian di pabrik digunakan air yang menggunakan klor dengan tujuan untuk mengurangi kandungan mikroba dan membunuh bakteri patogen (6). Akan tetapi cara tersebut menimbulkan permasalahan baru dengan terjadinya penurunan kualitas atau adanya residu kimia.

Disamping mikroba yang menyebabkan pembusukan ikan, serangga juga mempunyai peranan yang perlu mendapat perhatian. Kerusakan oleh serangga dapat mencapai 30%. Menurut PABLO yang dikutip dari SINAGA (7) ada hubungan antara kadar garam dan

pertumbuhan serangga. Pada kadar garam yang tinggi didapatkan jumlah larva "flesh fly" lebih sedikit. Kadar air juga mempengaruhi jenis serangga yang menyerang.

Disamping pengawetan produk perikanan, yang dapat dilakukan juga ialah memanfaatkan limbah peternakan untuk pakan tambahan ikan. Limbah peternakan seperti kotoran ayam masih dapat didaur ulang untuk dimanfaatkan sebagai pupuk atau pakan tambahan ikan karena masih mengandung bahan organik. Kotoran ayam mudah didapatkan, akan tetapi sebelum dimanfaatkan perlu dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi bakteri patogen (8). Masalah yang dihadapi dalam pemanfaatan kotoran ayam ialah adanya bakteri patogen seperti *Salmonella*, *Escherichia coli*, dll (9) yang dapat mencemari lingkungan di sekitarnya. Salah satu proses untuk meniadakannya dapat dilakukan dengan perlakuan kombinasi antara pengeringan dengan bantuan sinar matahari dan iradiasi (9). Di beberapa tempat di Jawa Barat dikenal dengan sistim pemeliharaan berupa "LONGYAM" yang berarti perpaduan antara peternakan ayam di atas dan kolam ikan di bawahnya. Hal ini menurut NINGRUM (10) tidak dibenarkan lagi karena dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Dalam makalah ini akan dibahas tentang aplikasi teknik nuklir di bidang perikanan baik untuk produk maupun pakan ikan.

PRINSIP-PRINSIP IRADIASI PANGAN

Iradiasi adalah suatu pancaran energi atau energi yang berpindah. Perpindahan ini dapat melalui partikel-partikel yang bergerak dalam ruang atau melalui gerak gelombang cahaya. Zat yang dapat memancarkan iradiasi disebut radioaktif (11). Zat radioaktif adalah zat yang mempunyai inti atom tidak stabil, sehingga zat tersebut mengalami transformasi spontan menjadi zat dengan inti atom yang lebih stabil atau stabil dengan mengeluarkan partikel atau sifat sinar tertentu. Proses transformasi spontan ini disebut peluruhan, sedangkan proses pelepasan partikel atau sinar tertentu disebut iradiasi. Iradiasi yang terjadi akibat peluruhan inti atom dapat berupa partikel alpha (α), partikel beta (β) dan sinar gamma (γ).

Sinar gamma adalah sinar atau gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek dengan daya tembus yang sangat besar (12). Sinar gamma diperoleh dari peluruhan zat radioaktif yang dipancarkan dari atom dengan kecepatan

tinggi karena adanya kelebihan energi. Panjang gelombang sinar gamma lebih pendek dari sinar X, tetapi energinya lebih besar (11). Sinar gamma dapat dihasilkan dari peluruhan inti atom Cobalt-60.

Cobalt-60 adalah sejenis logam yang mempunyai karakteristik hampir sama dengan besi atau nikel. Cobalt-60 dibuat dalam reaktor atom dengan cara menembakkan Cobalt-59 yang diperoleh dari alam dengan berkas-berkas neutron yang dihasilkan oleh reaktor. Radioisotop ini memancarkan dua sinar gamma dengan energi masing-masing sebesar 1,17 MeV dan 1,33 MeV (12).

Satuan untuk dosis iradiasi dinyatakan dalam energi yang diserap per kilogram massa bahan, yaitu Joule/kg bahan. Dalam satuan standar internasional dinamakan Gray (Gy). Secara numerik $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg}$ bahan. Satuan dosis iradiasi yang lama adalah rad (radiation absorbed dose) yang didefinisikan sebagai $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Joule/kg}$ bahan atau $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$ atau $100 \text{ krad} = 1 \text{ kGy}$ (11).

Apabila sampel dilalui oleh setiap bentuk radiasi pengion energi yang melewatinya akan diserap dan menghasilkan pasangan ion. Energi yang diserap oleh tumbukan radiasi pengion dengan partikel bahan menyebabkan eksitasi dan ionisasi beribu-ribu atom dalam lintasannya, dan terjadi dalam waktu kurang dari 0,001 detik. Iradiasi pertama menyebarkan energinya ke seluruh volume penyerap, sehingga banyak elektron yang dibebaskan dari atom pada proses ionisasi, dapat memiliki energinya sendiri yang cukup untuk mengionisasi atom-atom yang lain (13). Peristiwa tersebut dapat menimbulkan efek biologis karena mengubah proses kehidupan normal dalam benda tersebut. Perubahan proses dapat terjadi karena radiasi pengion sangat efektif untuk menghambat sintesis DNA yang mengakibatkan proses pembelahan sel terganggu. Sifat inilah yang dipakai sebagai dasar pengawetan dengan iradiasi (13).

MANFAAT APLIKASI IRADIASI PANGAN

Teknologi iradiasi pangan sudah semakin dikenal oleh masyarakat, tidak mustahil penerapan teknologi ini akan semakin menunjukkan perannya dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat sebagai teknologi alternatif pengawetan pangan.

Secara teknologis, proses pengawetan pangan dengan iradiasi mempunyai beberapa keunggulan (14-16), antara lain:

1. Iradiasi tidak menaikkan suhu sehingga tidak mempengaruhi kesegaran penampakan bahan yang diproses.
2. Iradiasi mempunyai daya tembus yang besar, sehingga dapat membunuh/mensterilkan berbagai jenis bakteri dan hama dengan dosis yang relatif rendah dan tidak menimbulkan sifat resisten pada hama.
3. Pemilihan bahan pengemas menjadi lebih leluasa karena tidak harus bahan yang tahan panas.
4. Tidak meninggalkan residu kimia pada bahan makanan karena proses yang terjadi adalah proses fisika dan tidak membuat produk menjadi radioaktif.
5. Iradiasi merupakan teknologi yang ramah lingkungan karena tidak ada limbah proses yang dibuang ke lingkungan.
6. Teknik ini dapat dilakukan pada makanan yang sudah dikemas (kemasan akhir). Saat ini teknologi iradiasi telah digunakan secara komersial atau telah berada pada tahap tinggal landas di banyak negara, namun volume pangan iradiasi yang diproduksi masih sangat sedikit bila dibandingkan dengan proses teknologi lain (17).

Selain itu iradiasi dapat pula menghilangkan atau mengeliminasi mikroba yang mencemari bahan pangan, seperti kapang, khamir, bakteri pembusuk, patogen dan serangga (Tabel 1) (18). Iradiasi dapat pula digunakan untuk membasmi hama perusak bahan pangan (19).

KEAMANAN PANGAN IRADIASI

Informasi mengenai keamanan pangan iradiasi sangat penting artinya dalam upaya pemasyarakatan pangan iradiasi dan penerimaan konsumen terhadap produk tersebut. Konsumen ataupun calon konsumen tentunya memerlukan informasi tersebut, terutama efek iradiasi terhadap pangan dan kesehatan sebelum mereka mengkonsumsi makanan iradiasi. Semua keputusan mengenai penerimaan makanan iradiasi (19), apakah sebagai pilihan pribadi konsumen atau kebijakan pemerintah, mencerminkan penilaian mengenai efek iradiasi terhadap pangan, terhadap organisme dan bahan lain yang mencemari pangan, dan yang terpenting terhadap kesehatan dan kesejahteraan konsumen.

Dalam penentuan keamanan pangan iradiasi, peninjauan tidak hanya dari segi toksikologi, bebas radioaktif, tetapi juga dari segi gizi dan mikrobiologi (20 dan 21).

1. Aspek Keamanan Iradiasi.

Proses pengawetan dengan iradiasi telah ditetapkan batas maksimal energi sumber iradiasi yang dapat dipakai yaitu 5 MeV untuk sumber iradiasi gamma serta sinar X dan 10 MeV untuk berkas elektron. Batasan ini diambil karena radioaktivitas imbas baru mungkin timbul pada atom-atom, bahan yang diiradiasi, bila menggunakan energi sumber yang lebih besar. Sinar gamma dari Co-60 mempunyai energi maksimal 1,33 MeV, sedangkan yang dari Cs-137 hanya 0,66 MeV. Dengan demikian penggunaan kedua jenis radionuklida ini sudah menjamin terhindarnya pembentukan radioaktivitas imbas pada makanan yang diiradiasi. Kesimpulan ini bukan hanya berdasarkan teori, tetapi juga berdasarkan bukti dari hasil pengukuran rutin yang dilakukan pada fasilitas yang memerlukan iradiasi. Hal ini terbukti misalnya pada dinding atau benda lain yang terdapat di dalam ruang iradiasi yang terus menerus mendapat iradiasi, tetapi tidak berubah menjadi radioaktif (21).

Menurut DERR dalam ZUBAIDAH (22) kemungkinan adanya residu zat radioaktif yang berasal dari sumber iradiasi pada makanan yang diiradiasi juga tidak didapatkan karena radionuklida sumber iradiasi tersimpan rapat di dalam kapsul logam berlapis dua. Iradiasi gamma sama prosesnya dengan sinar X yang dipakai untuk rontgen dalam kesehatan, dimana tidak meninggalkan residu apapun pada pasien dan juga pada lingkungan sehingga iradiasi makanan merupakan teknologi ramah lingkungan.

2. Aspek kimia radiasi.

Radiasi pengion dapat menimbulkan perubahan kimia pada bahan yang dilaluinya. Energi yang diserap oleh makanan yang diiradiasi jauh lebih sedikit daripada energi yang diserap oleh makanan yang dipanaskan. Akibatnya perubahan kimia yang disebabkan oleh iradiasi secara kuantitatif lebih sedikit daripada perubahan karena pemanasan. Untuk pemakaian dosis tinggi (sterilisasi) iradiasi dapat dilakukan dengan kombinasi proses konvensional seperti pengaturan suhu, kadar air dan dalam suhu nitrogen cair dan kondisi vakum sehingga mengurangi kerusakan komposisi kimia pada bahan makanan yang diiradiasi (23).

3. Aspek Gizi.

Perubahan kimia yang timbul sebagai akibat iradiasi tentunya juga akan mempengaruhi nilai gizi. Makanan yang diiradiasi dengan dosis 1 kGy tidak menunjukkan kehilangan gizi yang nyata sedang pada dosis sedang (1-10 kGy) dapat terjadi penurunan beberapa vitamin. Beberapa vitamin yang tahan iradiasi ialah riboflavin, niacin dan vitamin D sedang vitamin lainnya seperti A, B, C dan E merupakan vitamin yang peka akan iradiasi. Penurunan kadar vitamin dalam makanan sebagai akibat iradiasi terjadi seperti pada proses panas bahkan dalam proses panas penurunannya lebih besar.

4. Aspek Mikrobiologi.

Pada proses pengawetan makanan dengan iradiasi dapat dibedakan 3 macam dosis iradiasi yang dapat digunakan, yaitu dosis rendah (1 kGy), dosis sedang (1-10 kGy), dan dosis tinggi (10-50 kGy) (11). Dosis tinggi ditujukan untuk membunuh semua mikroba yang ada sehingga tidak menimbulkan masalah. Pada penggunaan dosis rendah dan sedang semula dikhawatirkan adanya perubahan genetik pada mikroba yang masih hidup dan dapat menghasilkan mutan yang lebih patogen atau resisten terhadap iradiasi. Kemungkinan seperti ini telah banyak diteliti namun belum pernah ditemukan (24).

Bakteri patogen yang sering mencemari bahan makanan ialah *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella*, *Vibrio*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*. Pada umumnya bakteri tersebut peka akan iradiasi kecuali *Clostridium botulinum* (25). Hal yang perlu diperhatikan pada teknologi apapun yang dipakai untuk menjamin makanan tersebut aman adalah faktor *GMP (Good Manufacturing Practice)* dan *HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points)* (13).

5. Aspek toksikologi.

Perubahan komposisi bahan yang diiradiasi secara kualitatif sangat kecil. Uji toksikologi terhadap makanan iradiasi dilakukan dengan prosedur yang jauh lebih teliti dan kompleks bila dibandingkan dengan pengujian terhadap proses-proses sebelumnya, karena sejak awal keamanan makanan iradiasi sangat banyak dipertanyakan (24).

Dalam studi toksikologi sampai saat ini tidak pernah ditemukan suatu bukti bahwa iradiasi dapat menimbulkan keracunan. Bahkan untuk pasien rumah sakit yang membutuhkan makanan steril telah dilegalisir di 6 negara yaitu Finlandia (100 kGy), Korea (100 kGy), Belanda (112,5 kGy), Afrika Selatan (50 kGy), Inggris (100 kGy) dan Kroasia (45 kGy) (26).

PENGGUNAAN IRADIASI DI INDONESIA

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Menghilangkan bakteri patogen.

Kontaminasi bakteri patogen yang berada dalam pangan/bahan pangan sangat tidak diharapkan karena sangat berbahaya bagi kesehatan. Beberapa contoh bakteri patogen yang berbahaya ialah *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, spesies *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*. Salah satu bakteri yang tidak boleh ada dalam makanan ialah spesies *Salmonella*. Infeksi yang diakibatkan oleh spesies *Salmonella* sering terjadi yang dapat mengakibatkan kematian. Salah satu cara untuk mengeliminasi bakteri patogen tersebut ialah dengan iradiasi. Untuk mengetahui kepekaan bakteri terhadap iradiasi dapat dilihat dari nilai D_{10} . Nilai D_{10} adalah suatu nilai yang menyatakan besarnya dosis iradiasi yang diperlukan untuk menurunkan populasi mikroorganisme tertentu menjadi 10% dari jumlah awal atau faktor 10 atau 1 desimal.

Dalam keadaan beku, pergerakan radikal hidroksil tidak berpengaruh langsung terhadap sel bakteri. Oleh sebab itu bakteri menjadi lebih tahan terhadap iradiasi (27 dan 28).

2. Menghilangkan semua mikroba yang ada (steril).

Salah satu produk perikanan yang saat telah diteliti adalah pepes ikan mas yang tahan disimpan lebih dari satu tahun pada suhu ruangan dengan rasa yang tetap enak dan aman untuk dikonsumsi (29).

Dalam studi toksikologi sampai saat ini tidak pernah ditemukan suatu bukti bahwa iradiasi dapat menimbulkan keracunan. Bahkan untuk pasien rumah sakit yang membutuhkan makanan steril telah dilegalisir di 6 negara yaitu Finlandia (100 kGy), Korea (100 kGy), Belanda (112,5 kGy), Afrika Selatan (50 kGy), Inggris (100 kGy) dan Kroasia (45 kGy) (26).

PENGGUNAAN IRADIASI DI INDONESIA

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Menghilangkan bakteri patogen.

Kontaminasi bakteri patogen yang berada dalam pangan/bahan pangan sangat tidak diharapkan karena sangat berbahaya bagi kesehatan. Beberapa contoh bakteri patogen yang berbahaya ialah *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, spesies *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*. Salah satu bakteri yang tidak boleh ada dalam makanan ialah spesies *Salmonella*. Infeksi yang diakibatkan oleh spesies *Salmonella* sering terjadi yang dapat mengakibatkan kematian. Salah satu cara untuk mengeliminasi bakteri patogen tersebut ialah dengan iradiasi. Untuk mengetahui kepekaan bakteri terhadap iradiasi dapat dilihat dari nilai D_{10} . Nilai D_{10} adalah suatu nilai yang menyatakan besarnya dosis iradiasi yang diperlukan untuk menurunkan populasi mikroorganisme tertentu menjadi 10% dari jumlah awal atau faktor 10 atau 1 desimal.

Dalam keadaan beku, pergerakan radikal hidroksil tidak berpengaruh langsung terhadap sel bakteri. Oleh sebab itu bakteri menjadi lebih tahan terhadap iradiasi (27 dan 28).

2. Menghilangkan semua mikroba yang ada (steril).

Salah satu produk perikanan yang saat telah diteliti adalah pepes ikan mas yang tahan disimpan lebih dari satu tahun pada suhu ruangan dengan rasa yang tetap enak dan aman untuk dikonsumsi (29).

LEGALISASI PEMAKAIAN IRADIASI

Proses iradiasi pangan dapat dilegalisasi penggunaannya bila telah dapat dibuktikan bahwa makanan iradiasi aman untuk dikonsumsi. Pada tahun 1971, dibentuk suatu proyek internasional di Karlsruhe, Jerman yang bertugas mengumpulkan informasi dan melakukan penelitian tentang keamanan pangan iradiasi. Selanjutnya datanya diserahkan kepada suatu komisi ahli FAO/IAEA/WHO untuk dievaluasi. Sebagai hasil dengan adanya rekomendasi JECFI 1980 menyatakan bahwa semua bahan pangan yang diiradiasi sampai 10 kGy aman untuk dikonsumsi manusia tanpa diuji toksisitasnya. Pada tahun 1980 baru 22 negara yang memberikan izin dan pada tahun 1988 menjadi 33 negara termasuk Indonesia (13). Di Indonesia teknologi iradiasi telah diteliti dan dikembangkan sejak tahun 1968. Pada saat ini telah digunakan secara komersial karena legalisasi dari Departemen Kesehatan RI berupa Peraturan MENKES RI No. 826/MENKES/PER/XII/1987 dan dilengkapi dengan keputusan MENKES RI No. 152/MENKES/SK/II/1995 (30) (Tabel 2). Pada bulan November 1996 Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan DepKes RI memberikan lagi persetujuan penambahan satu jenis yaitu cabe merah segar. Dengan demikian sudah ada enam kelompok pangan yang boleh diiradiasi di Indonesia. Dalam Undang-Undang Pangan RI No 7 tahun 1996 tentang pangan iradiasi diatur dalam pasal 14. Untuk tujuan mengiradiasi selain fasilitas iradiator di PSTIR juga telah tersedia fasilitas iradiator komersial yaitu PT Perkasa Sterilindo (Indogamma) yang telah dioperasikan sejak tahun 1992 di Cibitung, Bekasi.

Berdasarkan ketentuan Codex yang berlaku saat ini semua jenis pangan yang diiradiasi sampai dengan dosis 10 kGy dinyatakan aman untuk dikonsumsi. Pada bulan September 1997, WHO mengeluarkan *press release* yang menyatakan bahwa pangan yang diiradiasi lebih dari 10 kGy pun aman untuk dikonsumsi karena berdasarkan hasil penelitian ilmiah telah dibuktikan bahwa pangan yang diiradiasi sampai 75 kGy pun masih aman asal cita rasa makanan tersebut tidak banyak berubah (31). Selain itu perlu diketahui bahwa kemasan iradiasi harus ditandai label/logo yang dibubuhi tulisan RADURA (*Radiation Durable*) yang artinya bahan pangan tersebut diproses dengan radiasi dan aman untuk dikonsumsi. Logo tersebut adalah salah satu perjanjian/ketentuan International yang harus dipatuhi semua negara yang menggunakan teknologi iradiasi dalam industri pangan. Logo tersebut dilengkapi dengan keterangan tentang tujuan iradiasi seperti memperpanjang

masa simpan, bebas hama, bakteri patogen, menghambat pertumbuhan/memunda pematangan atau makanan steril. Dengan demikian konsumen diberi informasi yang jelas dan lengkap sehingga konsumen bebas memilih sendiri pangan yang ingin dibeli.

JENIS BAHAN PANGAN YANG TELAH DITELITI

Di Puslitbang Teknologi Isotop Dan Radiasi, BATAN hasil perikanan dan olahannya yang telah diteliti sampai saat ini adalah sebagai berikut (4, 5, 32 – 40):

1. Ikan kembung (*Rastrelliger negletus*)
2. Bandeng asap (*Chanos chanos*)
3. Ikan asap (Siluridae)
4. Kodok segar, dan kodok beku
5. Ikan teri kering
6. Daging bekicot (*Achatina fulica*)
7. Bandeng presto (*Chanos chanos forskal*)
8. Pepes ikan mas (*Cyprinus carpio* Linn)
9. Bakso ikan
10. Otak-otak ikan
11. Rajungan (*Portunus pelagicus*)
12. dll

Hasil-hasil penelitian tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan sanitasi serta daya awet bahan pangan.

HASIL BEBERAPA PENELITIAN PERIKANAN DAN OLAHANNYA YANG TELAH DILAKUKAN DI PUSLITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI, BATAN a.l:

Bandeng asap (32)

Pengawetan dengan cara penggaraman umumnya mempunyai kadar air dan garam masing-masing sebesar 60 dan 3%. Kadar air yang tinggi menyebabkan produk cepat membusuk karena aktivitas mikroba. Daya simpannya hanya berkisar antara 3 dan 7 hari, sehingga daerah pemasarannya sangat terbatas. Menurut SUNYOTO dkk dan ILYAS dkk yang dikutip dari MAHA (32) menyatakan bahwa perlakuan asam sorbat saja ternyata belum mampu menekan proses kemunduran mutu yang disimpan pada suhu kamar.

Penyimpanan pada suhu rendah dapat memperpanjang daya simpan tetapi cara tersebut masih terlalu mahal. Angka TVBN dan VRS bandeng asap dan angka bakteri yang diperlakukan dengan sorbat dan iradiasi selama penyimpanan pada suhu kamar dapat dilihat pada Gambar 1-3. Pada gambar tersebut terlihat kenaikan angka TVBN dan VRS pada kontrol lebih cepat dari contoh yang diiradiasi, demikian pula angka bakterinya.

Nilai rata-rata organoleptik bandeng asap yang diperlakukan dengan kalium sorbat, diiradiasi dengan bermacam-macam dosis iradiasi dan disimpan pada suhu kamar dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa nilai organoleptik contoh yang tidak diiradiasi lebih cepat menurun dibandingkan dengan contoh yang diiradiasi.

Ikan kembung (*Rastrelliger negletus*) (4).

Hasil penelitian MAHA (32 dan 40) menunjukkan perlakuan kombinasi antara senyawa anti kapang (kalium sorbat) dengan iradiasi menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Pada Tabel 4 terlihat perendaman dalam larutan kalium sorbat 1 dan 2% pada ikan kembung meninggalkan residu masing-masing sebesar 0,06 dan 0,12%. Perlakuan dosis 4 kGy dapat menurunkan angka bakteri sebesar 2 desimal, sedang perlakuan dengan sorbat saja tidak menunjukkan penurunan angka bakteri yang berarti. Akan tetapi perlakuan kombinasi dapat menurunkan angka bakteri yang sangat nyata, yaitu sekitar 1-2 desimal untuk perlakuan dengan larutan 1-2% sorbat diikuti iradiasi dengan dosis 2 kGy, dan sekitar 4 desimal pada dosis 4 kGy. Demikian pula serangan kapang akan terhambat dengan perlakuan kombinasi tersebut.

Gambar 4 menunjukkan hasil penentuan angka TVBN pada contoh ikan asin selama penyimpanan. Terlihat selama penyimpanan, angka TVBN pada ikan yang tidak diiradiasi meningkat lebih cepat dibandingkan dengan ikan yang diiradiasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembusukan terjadi lebih cepat pada yang tidak diiradiasi. Makin tinggi dosis iradiasi, angka TVBN akan makin lambat kenaikannya.

Tabel 5 menunjukkan hasil organoleptik contoh ikan asin selama penyimpanan. Nilai organoleptik makin menurun selama penyimpanan dan penurunan tersebut lebih cepat pada kontrol dibandingkan dengan yang diiradiasi.

Pada contoh ikan yang tidak diperlakukan dengan kalium sorbat, gangguan kapang banyak sekali yang mulai terlihat pada hari ke lima disertai terjadinya pelendiran. Pada contoh ikan yang diperlakukan dengan kalium sorbat tidak terlihat pertumbuhan kapang, kecuali pelendiran yang makin berkurang dengan bertambahnya kadar sorbat dan dosis iradiasi. Pada contoh ini meskipun kulit luar berlendir, tetapi daging ikan tetap baik (Tabel 6).

Ikan asap. (5)

Pada penelitian ini digunakan ikas lais (*Siluridae*) asap dari Palembang yang dikemas dalam film plastik polietilen densitas rendah dengan tebal 0,1 mm. Setiba di laboratorium ikan langsung diangin-anginkan beberapa jam, kemudian dibagi 3. Kelompok I langsung dikemas (A), kelompok II dikeringkan di bawah sinar matahari (kadar air 8-9%), lalu dikemas (B). Kelompok III dicelup dalam larutan kalium sorbat 4% lalu dikeringkan dibawah sinar matahari hingga mencapai kadar air 9% (C). Selanjutnya ketiga macam contoh diiradiasi dengan dosis 0; 0,5; 1,2; dan 4,0 kGy dan disimpan pada suhu kamar.

Pada Tabel 7 dan 8 terlihat bahwa setelah pengeringan angka bakteri meningkat, tetapi setelah diiradiasi terlihat penurunan angka bakteri dan kapang serta khamir lebih besar pada contoh ikan yang lebih kering. Iradiasi dengan dosis 0,5; 1,0; 2,0; dan 4,0 kGy masing-masing dapat menurunkan angka bakteri pada contoh A sebesar 56,4; 76,2; 96,3; dan 98,3%, pada contoh B sebesar 96,6; 98,5,99,4 dan 99,0% dan pada contoh C sebesar 90,9; 98,5; 99,6 dan 99,9%. Hal ini menunjukkan bahwa daya tahan mikroba menurun setelah pengeringan. Penambahan sorbat mempengaruhi daya tahan mikroba terutama kapang baik terhadap iradiasi maupun kondisi penyimpanan dengan a_w rendah. Pada dosis 2 kGy semua kapang dan khamir dalam contoh C sudah tidak tumbuh lagi, sedang pada contoh A dan B baru dapat langsung dibunuh pada dosis 4 kGy. Pada penyimpanan yang agak lama ternyata kandungan mikroba semua contoh ikan menurun, baik yang diiradiasi maupun yang tidak diiradiasi. Hal ini menunjukkan bahwa harga a_w antara 0,4-0,5 cukup baik untuk menekan pertumbuhan mikroba pada ikan asap. Setelah penyimpanan 4 bulan, pada contoh A yang tidak diiradiasi terlihat adanya serangga dari jenis *Necrobia*. *Necrobia* merupakan predator terhadap *Dermestes* yaitu serangga perusak ikan yang utama walaupun *Necrobia*

tidak merusak, adanya serangga ini dapat menciptakan kondisi yang baik untuk pertumbuhan mikroba yang ada.

Rajungan (*P. pelagicus*) (41).

Pada penelitian ini rajungan diperoleh dari tempat pelelangan di Muara Angke, Jakarta Utara. Bahan pengemas yang digunakan ialah kantong plastik jenis polietilena. Sampel diiradiasi dengan dosis 0, 1, 3, dan 5 kGy. Setelah diiradiasi sampel dibagi 2 untuk disimpan pada suhu $5^{\circ} - 10^{\circ} \text{C}$ dan suhu beku ($-18^{\circ} - -20^{\circ} \text{C}$).

Pada Tabel 9 terlihat daging rajungan yang diiradiasi pada dosis 3 kGy mengalami penurunan angka bakteri sebesar 3 desimal, sedang pada sampel yang diiradiasi dengan dosis 5 kGy tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan sampel yang diiradiasi dengan dosis 3 kGy. Pada pengamatan hari ke 11, angka bakteri telah mencapai 10^7 koloni/g, sedang persyaratan mutu hasil perikanan memberikan batas maksimal total bakteri sebesar 10^5 koloni/g. Dengan demikian penyimpanan mulai hari ke 3 tanpa perlakuan iradiasi dan penyimpanan pada hari ke 7 yang telah diiradiasi dengan dosis 5 kGy tidak memenuhi persyaratan tersebut.

Pada Tabel 10 terlihat pada penyimpanan minggu ke 0, 7, 10 dan 13 minggu sampel yang diiradiasi dengan dosis 3 kGy terjadi penurunan angka bakteri yang berkisar 1-3 desimal. Sampel yang tidak diiradiasi dan disimpan pada suhu beku masih memenuhi persyaratan hingga minggu ke 7, sedang sampel yang diiradiasi dengan dosis 5 kGy masih memenuhi persyaratan walaupun disimpan hingga minggu ke 13.

Pengaruh iradiasi dan penyimpanan masing-masing pada suhu $5^{\circ} - 10^{\circ} \text{C}$ dan suhu beku terhadap pH dapat dilihat pada Tabel 11 dan 12. Perlakuan iradiasi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap perubahan pH baik pada penyimpanan suhu $5^{\circ} - 10^{\circ} \text{C}$ maupun pada suhu beku. Kisaran pH pada penyimpanan $5^{\circ} - 10^{\circ} \text{C}$ adalah 6,93 - 7,53; sedangkan pada suhu beku berkisar antara 6,93 - 7,35.

Udang windu (*P. monodon*) (42).

Udang yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari salah satu perusahaan pembekuan udang di Jakarta. Sampel diiradiasi dengan dosis 0 - 10 kGy dengan interval

dosis 2 kGy. Uji organoleptik dilakukan, meliputi kesukaan terhadap warna, bau, tekstur dan rasa berdasarkan skala hedonik 1 sampai 7 menurut SOEKARTO (43).

Pengaruh iradiasi terhadap angka bakteri dapat dilihat pada Tabel 13. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa pada dosis iradiasi diatas 8 kGy tidak didapatkan pertumbuhan bakteri. Kontaminasi awal pada udang windu berkisar antara $2,4 \times 10^6$ koloni/g. Pada perlakuan dengan dosis 2 kGy terjadi penurunan angka bakteri sebesar 1 desimal, dan pada dosis 6 kGy terjadi penurunan angka bakteri sebesar 3 desimal. Bila dilihat dari persyaratan cemaran bakteri yang dikeluarkan oleh DirJen POM (44) maka dosis 4 kGy **memenuhi persyaratan tersebut.**

Pengaruh iradiasi terhadap angka bakteri koli dapat dilihat pada Tabel 13. Pada Tabel tersebut terlihat kontaminasi awal pada udang sebesar $1,5 \times 10^6$ koloni/g dan pada dosis 6 kGy, bakteri koli tidak didapatkan lagi. Pada dosis iradiasi 4 kGy terjadi penurunan angka bakteri koli sebesar 2 desimal.

Uji rata-rata organoleptik terhadap udang windu dapat dilihat pada Tabel 14. Hasil uji organoleptik sampel yang diiradiasi sampai dengan dosis 10 kGy tidak terjadi perubahan warna yang berarti. Akan tetapi pada uji organoleptik untuk bau, tekstur dan rasa pada dosis iradiasi diatas 6 kGy terjadi perbedaan yang nyata dibandingkan dengan dosis dibawah 6 kGy. Hasil penelitian DWILOKA (45) menunjukkan bahwa iradiasi tidak berpengaruh terhadap kadar air, protein, lemak dan karbohidrat (Tabel 15).

PEMANFAATAN LIMBAH PETERNAKAN (46 - 48).

Pada Tabel 16 terlihat bahwa pemanfaatan limbah sebagai pakan tambahan ikan dapat memberikan nilai konversi yang kompetitif dibandingkan dengan pelet komersial. Nilai konversi merupakan bilangan yang menunjukkan berapa kg jumlah pakan yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kg daging ikan. Nilai konversi untuk pelet kotoran ayam iradiasi dibanding dengan pelet komersial untuk ikan mas adalah 1,17 : 1,41, untuk ikan gurami adalah 0,16 : 0,13, sedang untuk ikan nila adalah 0,071 : 0,075.

Efek sinar gamma pada *P. casei* (Linnae) (7).

Pada Tabel 17 terlihat bahwa stadium pupa dengan dosis 0,05 kGy kematiannya mencapai 75%. Hal ini menunjukkan bahwa stadium pupa lebih tahan terhadap iradiasi dibandingkan dengan stadium larva.

Tabel 18 menunjukkan persentase kadar garam dan kadar air yang berhubungan dengan jumlah imago *P. casei*. Pada Tabel tersebut terlihat semakin tinggi kadar garam jumlah imago semakin berkurang dan keadaan ikan nampak baik.

Pepes ikan mas (*Cyprinus carpio* Linn) (29).

Pada penelitian ikan mas di kukus dengan menggunakan pressure cooker selama 45 dan 60 menit pada suhu 120° C. Selanjutnya diiradiasi pada suhu - 47° C dengan dosis 45 kGy dan kemudian disimpan pada suhu kamar. Uji organoleptik ikan pepes steril iradiasi yang disimpan pada suhu kamar selama 18 bulan dapat dilihat pada Tabel 19. Kualitas ikan pepes yang dimasak selama 45' maupun 60' tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Perbedaan hanya terlihat pada bentuk tulang, misalnya pada pepes ikan yang dimasak selama 60' terlihat tulangnya lebih lunak. Pada pepes ikan yang dimasak selama 45' kemudian diiradiasi dengan dosis 45 kGy menghasilkan sedikit bau akan tetapi dengan lamanya penyimpanan bau ini akan hilang.

Tabel 20 menunjukkan pH, kadar air, lemak dan protein pada ikan pepes steril iradiasi selama penyimpanan 18 bulan pada suhu kamar. Parameter yang diamati tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa ikan tersebut tidak mengalami pembusukan.

KESIMPULAN

Teknologi iradiasi dapat dimanfaatkan antara lain untuk memperpanjang masa simpan, disinfestasi hama, membunuh mikroorganisme. Telah banyak hasil penelitian di P3TIR yang telah dikembangkan tetapi sampai saat ini baru enam kelompok bahan pangan yang telah dilegalisir oleh DepKes RI. Pemasyarakatan iradiasi pangan perlu ditingkatkan supaya masyarakat, produsen atau industri pangan, para ilmuwan dan juga pejabat pemerintah mengetahui bahwa pengawetan dengan iradiasi aman untuk dikonsumsi.

DAFTAR PUSTAKA

1. MAHA, M., Status iradiasi pangan saat ini dan arah pengembangannya, Penel dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan radiasi (1998) 15.
2. WINARNO, F.G., Makanan tradisional keamanan, gizi, dan khasiat, dibawakan pada Seminar Pengembangan Pangan Tradisional dalam Rangka Penganekaragaman Pangan, Peringatan Hari Pangan Sedunia XIII, Jakarta Oktober 1993 (1993).
3. LUBIS, B., Pandangan tentang penggunaan iradiasi dalam pengawetan komoditi perikanan di Indonesia, Ris. Sem. Nas. Pengawetan Makanan dengan Iradiasi, BATAN (1983) 73.
4. MAHA, M, S. HARSONO dan E.G. SIAGIAN, Pengawetan ikan kembung (*Rastrelliger negletus*) asin dengan penambahan kalium sorbat dan iradiasi, Maj. BATAN XIII 2 (1980) 42.
5. MAHA, M. dan HARSOJO, Penggunaan iradiasi untuk mencegah gangguan kapang pada ikan asap kering, Ris. Pertemuan Ilmiah Apl. Teknik Nuklir di Bid. Pertanian dan Biologi (1983) 489.
6. RASHID, H.O., ITO, H., and ISHIGAKI, I., Distribution of pathogenic vibrio and other bacteria in imported frozen shrimps and their decontamination by gamma irradiation, *World Journal of Microbiol and Bacteriology* 8 (1992) 494.
7. SINAGA, R., Efek radiasi sinar gamma pada *Propiophila casei* (Linnae). Pengaruh kadar garam dan air dalam ikan peda pada pertumbuhan *P. casei*, Maj. BATAN XIV 3 (1981) 12.
8. RASYAF, M., Bahan makanan unggas di Indonesia, Penerbit Kanisius, Yogyakarta (1990).
9. HARSOJO, ANDINI, L. S., NAZLY, H., SUWIRMA, S., and DANIEL, J., Radiation disinfection of manure for animal feed supplement, *ATOM INDONESIA* 15 2 (1989) 13.
10. NINGRUM, S., Penentuan besarnya kebutuhan protein untuk pertumbuhan benih ikan mas *Cyprinus carpio*, Bull. Penel. Perikanan Darat Th. 3 No. 2 (1982).
11. Mc LAUGHLIN, W.L., A.W. BOYD, K.H. CHODWICK, J.C. Mc DONALD and A. MILLER, *Dosimetry for radiation processing*, Taylor and Francis, New York (1989)
12. DIEHL, J.F., *Safety of irradiated food*, Marcel Dekker, INC 270 Madison Avenue, New York 10016
13. MURANO, E.A., *Food irradiation*, Iowa State University Press (1995) 90.

14. HILMY, N., Iradiasi rempah dan jamu, suatu tinjauan pustaka, Ris. Sem. Nas. Pengawetan Makanan dengan Iradiasi, Jakarta 6-8 Juni 1983 (1983) 143.
15. WINARNO, F.G., Iradiasi makanan, Kompas Desember (1991).
16. HARSOJO, L. ANDINI dan ROSALINA, S.H., Keracunan makanan asal ternak oleh mikroorganisme, PANGAN VIII 30 (1996) 35.
17. MAHA, M., Status iradiasi pangan saat ini dan arah pengembangannya, Ris. Pertemuan Ilmiah Litbang APISORA (1998) 15.
18. ZUBAIDAH, I., Iradiasi sebagai teknologi alternatif mengatasi masalah pasca panen, Buletin BATAN XXI 2 (2000) 1.
19. HERMANA, Iradiasi pangan, ITB Bandung (1991).
20. MAHA, M., Prospek penggunaan tenaga nuklir dalam bidang teknologi pangan, Buletin BATAN III 2 (1982) 19.
21. THAYER, D.W., Wholesomeness of irradiated foods, Food Tech. 18 5 (1994) 132.
22. ZUBAIDAH, I., Pengawetan makanan dengan teknik radiasi, P3TIR, BATAN, belum dipublikasi (1999).
23. MAHA, M., Sterilisasi bahan minuman dan penyedap makanan untuk pasien rumah sakit dengan iradiasi gamma, Majalah BATAN XXVIII 1-2 (1995) 15.
24. MAHA, M., Keamanan bahan pangan yang diawetkan dengan iradiasi, Lap. Teknis PAIR/P.311/1988 PAIR-BATAN (1988).
25. ANDINI, L.S., Pertumbuhan optimal bakteri patogen *Salmonella* dan Dekontaminasinya pada daging ayam dengan iradiasi gamma, Disajikan pada Presentasi Ilmiah Peneliti Muda di PAIR-BATAN, Jakarta (1995).
26. ANONYMOUS, Supplement to food irradiation, Newsletter, IAEA, 19-20 October 1995 (1995).
27. KIM, A.Y. dan D.W. THAYER, Radiation induce cell lethality of *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 cooperative effect of hydroxyl radical and oxygen, Rad. Res. 36 (1995) 144.
28. THAYER, D.W. and BOYD, G., Development a predictive model for the effect of ionizing radiation and environmental factors on *Salmonella typhimurium*, Food Safety Res. Unit Eastern Regional Res. Center, Agricultural Res. Service, US Department of Agricultural, Wyndmoor, USA (1996).
29. MAHA, M., Z. IRAWATI, N. ANSORI, C.M. NURCAHYA dan F. ANAS, Preservation of fish pepes using gamma irradiation, Pros.Sem. Nas. Industri Pangan

30. 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)
31. OLSON, D.G., Irradiation of food, *Food Tech.* 52 1 91998) 56.
32. MAHA, M, S. HARSONO, Ch. RAHAYU, E.G SIAGIAN, N. SUYUTI, Pengawetan bandeng asap dengan perlakuan kombinasi kalium sorbat dan iradiasi, *Maj. BATAN XII* 2 (1979) 7.
33. WELLY DARWIS, Pengawetan kodok segar, kodok beku dengan perlakuan dosis iradiasi dan lama penyimpanan, Skripsi FMIPA, Universitas Andalas (1983).
34. DINA MUSTAFA, Pengaruh iradiasi dan pengemasan bebas oksigen pada daya awet teri kering, Skripsi Fak. MIPA, Universitas Indonesia (1985)
35. PERANGINANGIN, R., SITI RAHAYU, POSMA R. TAMBUNAN dan SUMPENCO PUTRO, Pengaruh iradiasi terhadap mutu daging bekicot (*Achatina fullica*) rebus beku, *Ris. Sem. Nas. Proses Radiasi* (1986) 337.
36. SUDINI, Pengaruh iradiasi gamma terhadap mutu bandeng (*Chanos chanos Forkskal*) presto pada penyimpanan suhu beku dan suhu kamar, Thesis Fak. Perikanan Institut Pertanian Bogor (1986).
37. MAYA SUSWATI, Pengaruh iradiasi gamma terhadap daya awet pepes ikan mas (*Cyprinus carpio* Linn) pada penyimpanan suhu kamar, Karya Ilmiah, Fak. Perikanan, Institut Pertanian Bogor (1987).
38. LOUISE MARTHA RISAKOTTA, Pengaruh iradiasi gamma terhadap daya awet bakso ikan pada penyimpanan suhu dingin, Karya Ilmiah, Fak. Perikanan, Institut Pertanian Bogor (1989).
39. FITRIANA SARYANTI, Pengaruh iradiasi gamma pada kualitas otak-otak ikan selama penyimpanan, Skripsi, Fak. Farmasi, Universitas Pancasila (1994).
40. MAHA, M, S. HARSONO, E.G. SIAGIAN, Ch. RAHAYU, Combined gamma irradiation and potassium sorbate treatment to extend the self-life of precooked chub mackerel (*Rastrelliger sp*), *ATOM INDONESIA* 4 1 (1978) 1.
41. HARSOJO, ROSALINA, S.H., ANDINI, L.S., dan AFRIANTI, N., Pengaruh iradiasi terhadap kandungan bakteri dan pH pada daging rajungan (*Portunus pelagicus*), *Pros. Sem. Nas. Pangan* (1999) 28.
42. HARSOJO, ROHADI, D., ANDINI, L.S. dan ROSALINA, S., Pengaruh iradiasi terhadap cemaran bakteri pada udang windu (*Penaeus monodon*), dibawakan pada Pertemuan Ilmiah APISORA, Jakarta 6-7 November 2001.

30. 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)
31. OLSON, D.G., Irradiation of food, *Food Tech.* 52 1 91998) 56.
32. MAHA, M, S. HARSONO, Ch. RAHAYU, E.G SIAGIAN, N. SUYUTI, Pengawetan bandeng asap dengan perlakuan kombinasi kalium sorbat dan iradiasi, *Maj. BATAN XII* 2 (1979) 7.
33. WELLY DARWIS, Pengawetan kodok segar, kodok beku dengan perlakuan dosis iradiasi dan lama penyimpanan, Skripsi FMIPA, Universitas Andalas (1983).
34. DINA MUSTAFA, Pengaruh iradiasi dan pengemasan bebas oksigen pada daya awet teri kering, Skripsi Fak. MIPA, Universitas Indonesia (1985)
35. PERANGINANGIN, R., SITI RAHAYU, POSMA R. TAMBUNAN dan SUMPENCO PUTRO, Pengaruh iradiasi terhadap mutu daging bekicot (*Achatina fullica*) rebus beku, *Ris. Sem. Nas. Proses Radiasi* (1986) 337.
36. SUDINI, Pengaruh iradiasi gamma terhadap mutu bandeng (*Chanos chanos Forkskal*) presto pada penyimpanan suhu beku dan suhu kamar, Thesis Fak. Perikanan Institut Pertanian Bogor (1986).
37. MAYA SUSWATI, Pengaruh iradiasi gamma terhadap daya awet pepes ikan mas (*Cyprinus carpio* Linn) pada penyimpanan suhu kamar, Karya Ilmiah, Fak. Perikanan, Institut Pertanian Bogor (1987).
38. LOUISE MARTHA RISAKOTTA, Pengaruh iradiasi gamma terhadap daya awet bakso ikan pada penyimpanan suhu dingin, Karya Ilmiah, Fak. Perikanan, Institut Pertanian Bogor (1989).
39. FITRIANA SARYANTI, Pengaruh iradiasi gamma pada kualitas otak-otak ikan selama penyimpanan, Skripsi, Fak. Farmasi, Universitas Pancasila (1994).
40. MAHA, M, S. HARSONO, E.G. SIAGIAN, Ch. RAHAYU, Combined gamma irradiation and potassium sorbate treatment to extend the self-life of precooked club mackerel (*Rastrelliger sp*), *ATOM INDONESIA* 4 1 (1978) 1.
41. HARSOJO, ROSALINA, S.H., ANDINI, L.S., dan AFRIANTI, N., Pengaruh iradiasi terhadap kandungan bakteri dan pH pada daging rajungan (*Portunus pelagicus*), *Pros. Sem. Nas. Pangan* (1999) 28.
42. HARSOJO, ROHADI, D., ANDINI, L.S. dan ROSALINA, S., Pengaruh iradiasi terhadap cemaran bakteri pada udang windu (*Penaeus monodon*), dibawakan pada Pertemuan Ilmiah APISORA, Jakarta 6-7 November 2001.

43. SOEKARTO, S.T., Penilaian organoleptik untuk idustri pangan dan hasil pertanian, Bhatara Karya Aksara, Yogyakarta (1985).
44. DEPKES R.I., Keputusan DirJen Pengawasan Obat dan Makanan No. 03726/B/SK/VII/89 tentang Batas Maksimum Cemarkan Mikroba Dalam Makanan (1989).
45. DWILOKA, B., Pengaruh iradiasi terhadap beberapa sifat protein udang windu (*Penaeus monodon*). Thesis Program Pasca Sarjana, IPB-Bogor (1993).
46. HARSOJO, ANDINI, L.S., SUWIRMA, S., dan NAZLY, H., Pelet kotoran ayam iradiasi sebagai pakan tambahan ikan gurami, Ris. Sem. Nas. APISORA, BATAN (1996) 37.
47. HARSOJO, ANDINI, L.S., SUWIRMA, S., dan ROSALINA, S., Pengaruh pemberian pakan kotoran ayam iradiasi terhadap pertumbuhan dan kandungan logam berat pada ikan mas (*Cyprinus carpio* L.), Ris. Pertemuan Ilmiah Litbang APISORA (1998) 175.
48. HARSOJO, ANDINI, L.S., ROSALINA, S., dan SUWIRMA, S., Limbah agroindustri dan peternakan ayam sebagai pakan tambahan ikan nila, Ris. Pertemuan Ilmiah Litbang Teknologi Isotop dan Radiasi (2000) 175.

Tabel 1. Besarnya dosis iradiasi untuk tujuan pengawetan*

No	Tujuan Pengawetan	Besarnya dosis (kGy)
1	Menghambat pertunasan	0,05 – 0,12
2	Menunda kematangan buah-buahan	0,10 – 1,25
3	Disinfestasi serangga	0,20 – 0,80
4	Menghilangkan parasit dalam daging segar	0,10 – 3,00
5	Menurunkan kandungan mikroba	0,50 – 10,00
6	Menghilangkan mikroba patogen	3,00 – 10,00
7	Membunuh semua mikroba yang ada	25,00 - 60,00

*Dikutip dari ZUBAIDAH (18).

Tabel 2. Komoditi pangan yang telahizinkan untuk diproses iradiasi*

No.	Komoditi	Tujuan iradiasi	Batas dosis Maksimal (kGy)
1	Rempah-rempah Daun-daunan dan Bumbu kering	Mencegah/menghambat Pertumbuhan serangga dan mikroba.	10
2	Umbi-umbian	Menghambat pertunasan	0,15
3	Udang beku dan paha kodok beku	Menghilangkan bakteri Salmonella.	7
4	Ikan kering	Memperpanjang masa simpan.	5
5	Uji-bijian	Menghilangkan serangga dan bakteri patogen.	5

*Dikutip dari PERMENKES No. 152/MENKES/SK/11/1995 (29)

Tabel 3. Hasil uji organoleptik bandeng asap yang diperlakukan dengan kalium sorbat, iradiasi, dan disimpan pada suhu kamar*

Masa simpan (hari)	Bau			Warna			Rasa			Tekstur		
	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4
0	6,7	7,2	6,8	7,4	7,4	7,4	7,6	7,6	7,0	7,1	7,1	7,2
5	6,9	6,8	6,8	7,4	7,6	7,6	6,4	6,8	6,9	7,1	7,6	7,4
10	6,7	6,9	6,8	6,8	6,8	6,5	7,2	7,8	7,6	7,3	7,8	7,6
15	5,9	5,8	6,9	6,6	6,0	6,9	5,7	6,1	6,9	6,6	6,3	6,7
20	4,2	5,4	6,6	5,7	5,8	6,4	5,0	5,4	7,0	5,4	6,7	6,6

*Dikutip dari MAHA (32).

Tabel 4. Pengaruh kombinasi kalium sorbat dan iradiasi pada angka bakteri dan kapang*

Contoh	Residu kalium sorbat (%)	Angka bakteri (koloni/g)			Mulai berkapang (hari)		
		Dosis (kGy)					
		0	2	4	0	2	4
S ₀	-	5,13 x 10 ⁸	3,13 x 10 ⁸	2,10 x 10 ⁶	10	10	-
S ₁	0,06	1,56 x 10 ⁸	2,33 x 10 ⁶	2,27 x 10 ⁴	10	16	35
S ₂	0,12	2,67 x 10 ⁸	1,49 x 10 ⁷	2,50 x 10 ⁴	10	-	-

- = tidak tumbuh

S₀ = tidak mengandung kalium sorbat

S₁ = mengandung kalium sorbat 1%

S₂ = mengandung kalium sorbat 2%

• Dikutip dari MAHA (4)

Tabel 5. Hasil uji organoleptik ikan kembung asin*

Masa Simpan (minggu)	Bau			Warna			Rasa			Tekstur		
	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4
0	5,6	6,2	5,5	5,9	6,1	6,8	5,9	6,6	6,0	6,1	6,1	6,1
3	5,6	6,2	5,7	4,7	6,1	6,2	6,6	6,7	6,6	5,4	6,2	6,3
6	4,7	6,1	5,6	3,4	5,4	5,3	6,0	6,4	6,2	4,7	5,9	5,8
9	5,4	2,4	5,2	4,6	3,5	5,1	5,8	3,9	6,0	5,6	5,1	5,1
12	4,0	3,2	5,7	4,5	3,0	5,7	4,9	4,5	4,9	4,7	4,5	5,9
15	2,7	4,1	4,7	2,9	5,3	5,0	-	-	5,9	3,6	4,4	4,6

*Dikutip dari MAHA (4)

Tabel 6. Pertumbuhan kapang dan pelendiran pada bandeng asap yang disimpan pada suhu kamar*

Kadar K-sorbat (%)	Dosis iradiasi (kGy)	Mulai berjamur (hari)	Mulai berlendir (hari)
0	0	5	
	1	5	
	2	5	Idem
	4	9	
2	0	-	8
	1	-	9
	2	-	9
	4	-	9
4	0	-	8
	1	-	9
	2	-	9
	4	-	11
6	0	-	11
	1	-	11
	2	-	11
	4	-	18

Dikutip dari MAHA (4)

Tabel 7. Angka bakteri ikan lais asap sesudah dan sebelum diiradiasi dan disimpan*

Dosis (kGy)	Lama penyimpanan (bulan)								
	0			2			4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	1950	3250	4400	$1,7 \times 10^8$	$2,0 \times 10^0$	5750	17000	6050	575
0,5	850	110	400	33000	3000	750	1150	250	200
1,0	465	49	66	2250	325	475	480	120	28
2,0	72	20	18	1450	18	43	18	45	2
4,0	27	3	4	20	9	2	1	-	-

- = tidak tumbuh

A = ikan lais asap dengan kadar air sekitar 12% dan a_w sekitar 0,50

B = ikan lais asap dengan kadar air sekitar 8-9% dan a_w sekitar 0,40-0,42

C = ikan lais asap yang telah diberi kalium sorbat dan berkadar air sekitar 9,6% dengan a_w sekitar 0,45

* Dikutip dari MAHA dan HARSOJO (5)

Tabel 8. Angka kapang dan khamir ikan lais asap sesudah dan sebelum diiradiasi dan disimpan*

Dosis (kGy)	Lama penyimpanan (bulan)								
	0			2			4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	6350	475	1500	2800	675	175	825	58	100
0,5	2400	250	490	2000	125	125	115	35	-
1,0	950	125	18	825	73	15	58	2	-
2,0	27	35	-	70	9	-	15	1	-
4,0	-	-	-	2	-	-	-	-	-

- = tidak tumbuh

A = ikan lais asap dengan kadar air sekitar 12% dan a_w sekitar 0,50

B = ikan lais asap dengan kadar air sekitar 8-9% dan a_w sekitar 0,40-0,42

C = ikan lais asap yang telah diberi kalium sorbat dan berkadar air sekitar 9,6% dengan a_w sekitar 0,45

* Dikutip dari MAHA dan HARSOJO (5)

Tabel 9. Pengaruh iradiasi dan penyimpanan pada suhu 5° – 10° C terhadap angka bakteri (log) daging rajungan*

Pengamatan hari ke -	Dosis iradiasi (kGy)			
	0	1	3	5
0	5,40	4,03	2,77	2,48
3	6,34	5,25	3,87	3,39
7	6,88	6,07	5,67	5,40
11	7,63	6,39	6,07	5,57

*Dikutip dari HARSOJO dkk (41)

Tabel 10. Pengaruh iradiasi dan penyimpanan pada suhu beku terhadap angka koli (log) daging rajungan*

Pengamatan Minggu ke	Dosis iradiasi (kGy)			
	0	1	3	5
0	5,17	4,03	2,77	2,48
7	5,04	4,48	3,71	3,65
10	5,43	4,54	3,73	3,42
13	6,26	5,26	5,19	4,22

*Dikutip dari HARSOJO dkk (41)

Tabel 11. Pengaruh iradiasi dan penyimpanan pada suhu 5° - 10° C terhadap pH daging rajungan*

Pengamatan Hari ke	Dosis iradiasi (kGy)			
	0	1	3	5
0	7,40	7,20	7,38	7,28
3	6,98	7,05	6,93	7,00
7	7,13	7,18	6,98	6,93
11	7,53	7,30	7,43	7,05

*Dikutip dari HARSOJO dkk (41)

Tabel 12. Pengaruh iradiasi dan penyimpanan pada suhu beku terhadap pH daging rajungan*

Pengamatan Minggu ke	Dosis iradiasi (kGy)			
	0	1	3	5
0	7,38	7,30	7,20	7,18
7	7,00	7,10	7,15	7,18
10	7,03	7,05	7,08	7,13
13	6,93	7,18	6,93	7,00

*Dikutip dari HARSOJO dkk (41)

Tabel 13. Pengaruh iradiasi terhadap angka bakteri dan koli pada udang windu*

Dosis iradiasi (kGy)	Angka bakteri (koloni/g)	Angka koli (koloni/g)
0	$2,1 \times 10^9$	$1,5 \times 10^7$
1	$4,2 \times 10^7$	$4,0 \times 10^5$
4	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^2$
6	$3,0 \times 10^2$	-
8	-	-
10	-	-

- = tidak tumbuh

* Dikutip dari HARSOJO dkk (42)

Tabel 14. Hasil uji organoleptik udang windu iradiasi*

Dosis iradiasi (kGy)	Warna	Bau	Tekstur	Rasa
0	4,30	6,43	6,55	5,00
2	3,88	6,38	6,50	5,00
4	3,90	6,18	5,83	5,00
6	3,55	5,83	6,33	5,00
8	3,93	4,05	2,85	2,85
10	3,65	3,1	1,75	1,48

*Dikutip dari HARSOJO dkk (42)

Tabel 15. Pengaruh iradiasi terhadap kadar air, protein, lemak dan karbohidrat*

Dosis (kGy)	Air (%)	Protein (%)	Lemak (%)	Karbohidrat (%)
0	81,46	14,19	0,13	3,36
1	80,47	16,52	0,09	1,91
3	80,79	16,53	0,19	1,70
5	81,90	15,59	0,13	1,63
7	80,62	15,82	0,12	2,50
9	80,86	15,74	0,12	2,30

* Dikutip dari DWILOFA (45)

Tabel 16. Nilai konversi beberapa macam pakan ikan*

Jenis pakan	Nilai konversi		
	ikan mas	ikan gurami	ikan nila
Pelet kotoran ayam iradiasi	1,17	0,16	0,071
Pelet komersial	1,41	0,13	0,075

*Dikutip dari HARSOJO dkk (46 - 48).

Tabel 17. Pengaruh iradiasi gamma pada *P. casei*.*

% kematian	Dosis iradiasi (kGy)	
	0	0,05
Pupa	5,71	78,65
Larva	0,80	93,96

* Dikutip dari ROSALINA (7)

Tabel 18. Persentase kadar garam dan kadar air pada pengawaran hubungannya dengan jumlah imago*

Kadar garam	Kadar air	Jumlah imago	Keterangan
6,21	52,66	15,8	Rusak berkapang
7,73	43,33	9,4	Rusak berkapang
14,29	45,66	4,7	Baik
16,38	40,66	1,9	Baik

*Dikutip dari ROSALINA (7)

Tabel 19. Hasil organoleptik ikan pepes steril iradiasi yang disimpan pada suhu kamar selama 18 bulan.*

Penyimpanan (bulan)	Penampakan		Bau		Rasa		Tekstur	
	45°	60°	45°	60°	45°	60°	45°	60°
0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
4	2,0	3,0	4,5	4,5	4,5	5,0	4,0	4,5
8	4,5	4,5	4,0	4,0	4,5	5,0	4,5	4,5
12	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0
18	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0

Dikutip dari MAHA (29)

5 = sangat baik, 4 = baik, 3 = rata-rata, 2 = jelek, 1 = sangat jelek

Tabel 20. Hasil pH, kadar air, kadar lemak, dan kadar protein ikan pepes steril iradiasi yang disimpan selama 18 bulan pada suhu kamar.*

Penyimpanan (bulan)	pH		Kadar air (%)		Kadar lemak (%)		Kadar protein (%)	
	45°	60°	45°	60°	45°	60°	45°	60°
0	6,31	6,29	61,31	62,02	6,03	27,54	-	-
6	6,08	6,10	60,22	61,90	29,27	27,65	23,03	23,33
12	5,95	6,05	61,19	61,93	27,65	28,95	21,42	20,96
18	6,05	5,95	56,82	59,69	21,78	23,03	18,58	18,96

- = tidak ada data

*Dikutip dari MAHA (29)