

APLIKASI TEKNOLOGI IRADIASI GAMMA DAN PENYIMPANAN BEKU SEBAGAI UPAYA PENURUNAN BAKTERI PATOGEN PADA SEAFOOD : KAJIAN PUSTAKA

The Implementation of Gamma Irradiation Technology and Frozen Storage for Decreasing Pathogens Bacteria In Seafood : A Review

Fabryana Noor Anggita Putri^{1*}, Agustin Krisna Wardani¹, Harsojo²

1) Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, FTP, Universitas Brawijaya Malang

2) Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

*Penulis Korespondensi, Email: fabryana_noor92@gmail.com

ABSTRAK

Seafood merupakan salah satu produk pangan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia karena memiliki kandungan protein yang tinggi, namun *seafood* juga memiliki umur simpan yang relatif singkat karena rentan terhadap cemaran mikroba patogen. Bakteri patogen yang umumnya terdapat dalam *seafood* diantaranya *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* dan *Vibrio* sp. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan kombinasi iradiasi gamma dan penyimpanan beku. Iradiasi gamma merupakan salah satu teknologi pengolahan pangan yang bertujuan untuk menurunkan jumlah mikroba patogen dengan merusak *DNA* pada bakteri tersebut dan tanpa menyebabkan perubahan sensoris dalam produk tersebut. Untuk memaksimalkan proses iradiasi gamma dilakukan pula dengan kombinasi penyimpanan beku yang dapat menghambat kegiatan enzim dan reaksi kimia dalam sel bakteri sehingga dapat mencegah bakteri memperbaiki *DNA* pasca iradiasi. Dengan penggunaan aplikasi teknologi iradiasi gamma dan penyimpanan beku diharapkan dapat meningkatkan keamanan pangan pada *seafood* tanpa mempengaruhi kualitas sensorisnya.

Kata kunci : Bakteri Patogen, Iradiasi Gamma, Penyimpanan Beku, *Seafood*

ABSTRACT

Seafood is one of the highly consumed food product in Indonesia which has high protein content, but seafood also have a relatively short time of storage because it is very susceptible to pathogen microbial contamination. Pathogens bacteria that commonly found in seafood including Salmonella sp., Staphylococcus aureus, Escherichia coli and Vibrio sp. One of the promising way is using the combination of gamma irradiation and frozen storage. Gamma irradiation is one of the food processing technology that aims to reduce the number of microbial pathogens by damaging the DNA in bacteria without causing sensory changes in the product. To maximize the gamma irradiation process can be carried out also with a combination of frozen storage which can inhibit the activity of enzymes and chemical reactions in the bacterial cell so as to prevent bacterial DNA repair after irradiation. By using the application of gamma irradiation and frozen storage technology is expected to improved the safety of seafood without affecting the sensory value.

Keywords : Frozen Storage, Gamma Irradiation, Pathogen Bacteria, *Seafood*

PENDAHULUAN

Pangan merupakan kebutuhan esensial bagi setiap manusia untuk pertumbuhan maupun mempertahankan hidup karena pangan merupakan sumber gizi bagi manusia, namun pangan juga merupakan sumber makanan bagi mikroba yang dapat menimbulkan

penyakit. Keracunan pangan atau *foodborne disease*, terutama yang disebabkan oleh bakteri patogen masih menjadi masalah yang serius di berbagai negara termasuk Indonesia. Mikroba patogen menduduki posisi teratas sebagai penyebab keracunan makanan yaitu berkisar 80 – 90 % [1]. *The Council for Agricultural Science and Technology (CAST)* menunjukkan adanya 6 – 33 juta kasus penyakit diare dan sekitar 9000 kematian setiap tahunnya yang disebabkan oleh bakteri patogen [2]. Bakteri patogen yang banyak terdapat dalam bahan pangan diantaranya yaitu *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* dan *Vibrio* sp. [3].

Pertumbuhan mikroba pada *seafood* juga dapat menyebabkan perubahan fisik atau kimia yang tidak diinginkan, sehingga menjadi tidak layak lagi untuk dikonsumsi [1]. Oleh karena itu perlu dilakukan proses pengolahan atau pengawetan pangan yang dapat mereduksi atau menghilangkan mikroba dalam bahan pangan. Menurut *International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI)* pada tahun 2000, dari semua proses penanganan pascapanen untuk mengurangi jumlah mikroba patogen, iradiasi dinilai paling komprehensif, dengan lebih dari 40 tahun penelitian di seluruh dunia mengenai manfaat dan keamanan teknologi pengolahan ini untuk perbaikan kualitas keamanan pangan. Tujuan utama pengolahan pangan dengan iradiasi adalah untuk mengurangi atau menghilangkan mikroba pembusuk dan patogen yang mungkin ada dalam makanan tanpa menyebabkan perubahan sensoris dalam produk tersebut [4].

Radiasi akan memutuskan ikatan fosfodiester dan ikatan hidrogen pada untai *DNA* mikroba sehingga pertumbuhannya terhambat. Akan tetapi dimungkinkan sel mikroba akan mampu memperbaiki *DNA*-nya sehingga akan tumbuh kembali. Oleh karena itu untuk meningkatkan efektifitas pengolahan iradiasi maka perlu dikombinasikan dengan penanganan lain yaitu dengan penyimpanan beku [5]. Suhu beku dapat menghambat atau menghentikan kegiatan enzim serta merusak sistem koloidal dari protoplasma dan menyebabkan denaturasi didalam sel mikroba sehingga pertumbuhan mikroba menjadi terhambat [6].

Iradiasi Pada Bidang Pangan

Iradiasi adalah suatu teknik penggunaan energi radiasi untuk penyinaran bahan secara sengaja dan terarah [7]. Iradiasi bahan pangan merupakan salah satu teknologi pengolahan pangan yang bertujuan untuk membunuh cemaran biologis berupa bakteri patogen, virus, jamur, dan serangga yang dapat merusak bahan pangan tersebut dan membahayakan konsumen dengan cara mengionisasi bahan pangan tersebut dengan menggunakan sinar tertentu. Iradiasi juga dapat mencegah penuaan bahan pangan yang disebabkan karena faktor internal pangan tersebut, misalnya pertunasan, sehingga berfungsi sebagai pengawet, serta dapat membuat bahan pangan tetap segar karena proses iradiasi sendiri merupakan proses pada suhu ambient [8].

Iradiasi pangan menggunakan energi elektromagnetik tertentu, yaitu energi dari radiasi pengion. Radiasi pengion adalah radiasi dengan energi yang mampu membuat elektron suatu atom terpental dari tempatnya yang mengakibatkan atom netral berubah menjadi ion positif, yaitu atom yang kehilangan elektronnya. Contoh radiasi pengion ialah radiasi ultraviolet, radiasi alpha (α), sinar beta (β) dan sinar gamma (γ). Radiasi gamma inilah yang digunakan untuk pengawetan bahan pangan [9]. Sinar gamma memiliki gelombang elektromagnetik yang bergerak dengan kecepatan tinggi, hampir menyamai kecepatan cahaya, arahnya tidak dipengaruhi medan magnet, tidak memiliki muatan, jarak lintasan relatif panjang dan mempunyai daya ionisasi kecil serta daya tembus yang tinggi [10].

Dalam hal ionisasi, radiasi gamma berinteraksi dengan bahan melalui tiga proses utama, yaitu efek fotolistrik, efek penghamburan Compton dan efek produksi pasangan. Pada efek fotolistrik, energi foton diserap oleh elektron orbit, sehingga elektron tersebut terlepas dari atom. Elektron yang dilepaskan akibat efek fotolistrik disebut fotoelektron. Efek fotolistrik terutama terjadi pada foton berenergi rendah yaitu antara energi +0,01 MeV hingga +0,5 MeV. Pada efek Compton, foton dengan energi $h\nu$ berinteraksi dengan elektron terluar dari atom, selanjutnya foton dengan energi $h\nu$ dihamburkan dan elektron tersebut dilepaskan dari ikatannya dengan atom dan bergerak dengan energi kinetik tertentu. Proses

produksi pasangan hanya terjadi bila foton datang / 1,02 MeV. Apabila foton semacam ini mengenai inti atom berat, foton tersebut akan lenyap dan akan timbul sepasang elektron-positron [11].

Sumber radiasi yang dapat digunakan untuk proses pengawetan bahan pangan terdiri dari 4 macam, yaitu Cobalt-60 (^{60}Co), Caesium-137 (^{137}Cs) masing masing menghasilkan sinar gamma, mesin berkas elektron dan mesin generator sinar-x [12]. Sinar gamma yang dipancarkan oleh radionukleotida ^{60}Co dan ^{137}Cs merupakan sumber iradiasi pengion yang telah banyak digunakan untuk aplikasi komersial pengawetan makanan [13]. Pada umumnya sinar gamma yang digunakan untuk radiasi adalah hasil peluruhan inti atom ^{60}Co karena ^{60}Co memiliki energi radiasi yang lebih besar sehingga mempunyai daya tembus yang besar dan tersedia di pasaran. ^{60}Co adalah sejenis metal yang mempunyai karakteristik hampir sama dengan nikel. ^{60}Co memancarkan dua sinar gamma dengan energi masing-masing sebesar 1,17 MeV dan 1,33 MeV yang mempunyai waktu paruh 5,27 tahun. Sinar gamma dapat ditahan oleh materi dengan jumlah massa besar yang memiliki nomor atom dan densitas tinggi, contohnya timbal. Dosis dan laju dosis sinar gamma dapat ditentukan dengan mengatur penahan dan jarak [10].

Radiasi gamma dilakukan dengan pemberian dosis tertentu dengan jangka waktu dari menit ke jam yang lama waktu pemberian dosis tergantung pada ketebalan dan volume produk yang akan diiradiasi. Dosis iradiasi yaitu jumlah energi radiasi yang diserap ke dalam bahan. Satuan yang digunakan saat ini adalah gray (Gy) yaitu energi yang dihasilkan radiasi pengion yang diserap bahan per satuan massa. Satu gray = 1 Joule/kg [14] [15]. *Codex Alimentarius Commission* FAO/WHO menganjurkan dosis iradiasi yang boleh digunakan pada iradiasi pangan tidak melebihi 10 kGy. Jumlah energi ini sebenarnya sangat kecil, setara dengan jumlah panas yang diperlukan untuk meningkatkan suhu air 2,4°C. Oleh karena itu pangan yang diiradiasi dengan dosis dibawah 10 kGy hanya mengalami perubahan yang sangat kecil serta aman dikonsumsi oleh manusia [13].

Terdapat tiga prinsip proses radiasi dalam industri pangan yang diklasifikasikan berdasarkan dosis yang dapat digunakan untuk memperpanjang umur simpan, yaitu radapertisasi (dosis tinggi) dengan penggunaan dosis iradiasi berkisar antara 30 sampai 50 kGy, radisidasi (dosis sedang) dengan penggunaan dosis berkisar antara 1 sampai 10 kGy, dan radurisasi (dosis rendah) dengan penggunaan dosis berkisar antara 0,4 sampai 2,5 kGy [16].

Mekanisme Iradiasi dalam Menghambat Pertumbuhan Mikroba

Pengaruh radiasi pada organisme hidup terutama terkait dengan perubahan kimia tergantung pada faktor fisik dan fisiologis dari organisme hidup tersebut. Parameter fisik meliputi laju dosis, distribusi dosis, dan kualitas radiasi. Sedangkan parameter fisiologis yaitu suhu, kadar air, dan konsentrasi oksigen [17]. Pada prinsipnya proses pengawetan bahan pangan dengan iradiasi gamma, sinar-x ataupun berkas elektron akan menimbulkan eksitasi, ionisasi dan perubahan kimia. Eksitasi adalah suatu keadaan dimana sel hidup dalam keadaan peka terhadap pengaruh dari luar. Sedangkan ionisasi adalah proses peruraian senyawa kompleks atau makromolekul menjadi fraksi atau ion radikal bebas. Perubahan kimia timbul sebagai akibat dari eksitasi, ionisasi dan reaksi-reaksi kimia yang terjadi baik saat berlangsung maupun setelah proses iradiasi selesai. Bila perubahan kimia terjadi dalam sel hidup, maka akan menghambat sintesis *DNA* yang menyebabkan proses pembelahan sel atau proses kehidupan normal dalam sel akan terganggu dan terjadi efek biologis [18] [19].

Tindakan radiasi pada organisme dapat memberikan dua efek yaitu efek langsung dan efek tidak langsung. Efek langsung terjadi akibat adanya tumbukan langsung energi radiasi atau elektron dalam mikroba yang menyebabkan terputusnya ikatan rantai pada *DNA* dan mempengaruhi kemampuan sel untuk bereproduksi dan bertahan. Efek tidak langsung terjadi apabila radiasi mengenai molekul air yang merupakan komponen utama dalam sel sehingga terjadi proses radiolisis pada molekul air dan terbentuk radikal bebas [20] [21].

Beberapa perubahan sifat fisika kimia yang terjadi akibat iradiasi dapat menimbulkan perubahan dan hilangnya basa nitrogen, pemutusan ikatan hidrogen, pemutusan rantai gula

fosfat dari masing-masing polinukleotida dari DNA (*single strand break*), pemutusan rantai yang berdekatan pada kedua polinukleotida dari DNA (*double strand break*), dan terbentuknya ikatan silang intramolekuler (*base damage*). Kebanyakan mikroba mampu untuk memperbaiki kerusakan *single strand break*. Beberapa pustaka menyebutkan bahwa mikroba yang sensitif tidak dapat memperbaiki *double strand break*, sedangkan mikroba yang menunjukkan resistensi yang lebih tinggi mempunyai kapasitas untuk memperbaiki *double strand breaks*. Hasil perbaikan atau penyusunan kembali DNA tersebut dapat sama atau berbeda dengan semula. Penyusunan ulang yang berbeda dapat berakibat pada kematian sel, mutasi atau transformasi [22].

Setiap mikroorganisme memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap radiasi gamma. Beberapa mikroorganisme sangat sulit untuk dihambat atau bahkan dibunuh dengan radiasi gamma, namun sebagian mikroorganisme juga mudah mati dengan pemberian radiasi gamma [23]. Tingkat kerusakan sel mikroba berkaitan erat dengan resistensi mikroba terhadap iradiasi yang dinyatakan dengan nilai D_{10} [16]. Nilai D_{10} merupakan dosis iradiasi (kGy) yang diperlukan untuk mengurangi jumlah mikroba sebesar 10 kali lipat (satu siklus log) atau diperlukan untuk membunuh 90% dari jumlah total. Semakin tinggi nilai D_{10} suatu bakteri menunjukkan makin tahan bakteri tersebut terhadap iradiasi [24]. Ketahanan mikroba terhadap radiasi pengion dipengaruhi oleh beberapa faktor penting diantaranya [23]:

1. Ukuran dan susunan struktur DNA dalam sel mikroba
2. Senyawa yang berhubungan dengan DNA dalam sel, seperti peptida, nukleoprotein, RNA, lipid, lipoprotein dan ion logam.
3. Oksigen. Kehadiran oksigen selama proses iradiasi meningkatkan pengaruh dalam menginaktivasi mikroba. Dalam kondisi anaerob, nilai D_{10} beberapa bakteri vegetatif meningkat dengan faktor 2,5 - 4,7 bila dibandingkan dengan kondisi aerob.
4. Kadar air. Mikroorganisme paling tahan ketika disinari dalam kondisi kering. Hal ini terutama karena jumlah rendah atau tidak adanya radikal bebas yang terbentuk dari molekul air dengan radiasi, dan dengan demikian tingkat efek tidak langsung pada DNA akan rendah atau bahkan tidak ada.
5. Suhu. Perlakuan pada suhu tinggi dalam kisaran sub-lethal di atas 45°C, sinergis meningkatkan efek bakterisida radiasi pengion pada sel vegetatif. Mikroba vegetatif jauh lebih tahan terhadap radiasi pada suhu *subfreezing* dibandingkan pada suhu kamar. Dalam keadaan beku, difusi radikal akan lebih banyak dibatasi.
6. Media. Komposisi media mikroba memainkan peran penting dalam menentukan nilai D_{10} . Nilai D_{10} untuk mikroba tertentu dapat berbeda dalam berbagai media.
7. Kondisi pasca radiasi. Mikroba yang bertahan setelah perlakuan iradiasi akan lebih sensitif terhadap kondisi lingkungan (suhu, pH, nutrisi, inhibitor, dll) dibandingkan dengan sel-sel yang tidak diberi perlakuan iradiasi.

Keamanan Pangan Iradiasi

Pada pertemuan di Geneva pada bulan Mei 1992, *World Health Organization* (WHO) menyatakan bahwa iradiasi merupakan cara yang aman untuk mengawetkan suplai makanan dunia. Pernyataan WHO ini dikeluarkan sehubungan dengan munculnya kekhawatiran konsumen akan keracunan sebagai efek sampingannya. Pada pertemuan tersebut juga WHO menyimpulkan bahwa makanan yang diiradiasi sampai tingkat tertentu tidak menimbulkan masalah gizi dan bahaya racun [8].

Pada tahap energi yang tinggi radiasi pengion dapat menjadikan beberapa bagian tertentu dalam pangan bersifat radioaktif, akan tetapi di bawah batas ambang energi tertentu reaksi ini tidak terjadi. Berdasarkan hasil percobaan dan perkiraan teori, pada tahun 1980 Komite Pakar Gabungan FAO/IAEA/WHO mengenai Keamanan Pangan yang Diiradiasi menyarankan pembatasan penggunaan sumber iradiasi dalam pengolahan pangan. Batasnya adalah tahap energi di bawah tahap yang menimbulkan radioaktivitas dalam pangan yang diolah. Pangan yang diolah dengan radiasi sesuai dengan saran Komite tersebut tidak menjadi radioaktif [15]. Batas maksimal energi sumber radiasi yang dapat dipakai adalah 5 MeV untuk sinar gamma dan sinar-X, dan 10 MeV untuk berkas elektron. Radioaktivitas imbas baru akan timbul pada atom atom bahan yang diiradiasi yang

digunakan diatas 5 MeV untuk radiasi gamma. Batas energi energi untuk sumber elektron lebih tinggi karena radioaktivitas imbas yang timbul pada energi kurang 16 MeV sangat sedikit jumlahnya dan relatif berumur pendek [25].

FDA menetapkan bahwa pada kemasan produk pangan yang telah diiradiasi harus mencantumkan logo radura (*radiation durable*). Iradiasi pangan di Indonesia dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 826/MENKES/PER/XII/1987, Nomor 152/MENKES/SK/II/1995, dan Nomor 701/MENKES/PER/VII/2009, serta Undang-undang Pangan RI Nomor 7/1996, Label Pangan Nomor 69/1999 paragraf 34, dan peraturan perdagangan internasional tentang komersialisasi komoditi pangan iradiasi dan peraturan standar internasional *Codex Alimentarius Commission* untuk makanan iradiasi [13].

Ditinjau dari aspek kimia dan nutrisi, bahan pangan yang mengalami pengolahan iradiasi mengalami perubahan yang lebih sedikit. Perubahan karakteristik kimia karena pengaruh radiasi dapat meningkat apabila terjadi peningkatan dosis yang juga bergantung pada jumlah dan komposisi bahan. Pada dosis rendah (sampai 1 kGy) kehilangan zat gizi dari pangan tidak bermakna. Pada dosis sedang (1-10 kGy) kehilangan vitamin dapat terjadi pada pangan yang terkena udara selama iradiasi atau penyimpanan. Pada dosis tinggi (10-50 kGy) kehilangan vitamin dapat dikurangi dengan upaya perlindungan iradiasi pada suhu rendah dan menghilangkan oksigen selama proses pengolahan dan penyimpanan. Beberapa vitamin yaitu riboflavin, niasin, dan vitamin D, tidak begitu peka terhadap iradiasi. Vitamin lain, yaitu vitamin A, B, B1, E, dan K, mudah rusak [15] [26].

Pengaruh radiasi bervariasi, iradiasi dapat menyebabkan denaturasi protein pada pemberian dosis iradiasi tinggi. Ionisasi menyebabkan suatu pembentangan molekul-molekul protein dan menjadikan tempat-tempat tertentu lebih mudah diserang oleh enzim. Enzim dapat diinaktivasikan baik dengan pengaruh langsung maupun tidak langsung dengan radiasi pengion [27]. Radiasi juga dapat mengubah sifat fisika dan kimia dari bahan pangan berkarbohidrat tinggi namun tindakan ini tidak nyata mempengaruhi gizinya. Sedangkan pengaruh radiasi terhadap lipid sangat bergantung pada susunan asam lemak dan asam lemak tak jenuh yang lebih mudah dioksidasi dibandingkan yang jenuh. Perubahan kimia berkurang apabila radiasi produk dilakukan pada suhu rendah dan tidak ada cahaya serta oksigen [28].

Kombinasi Iradiasi Gamma dengan Penyimpanan Beku

Iradiasi mampu meningkatkan daya awet bahan pangan, mempertahankan mutu dan menjaga kebersihan bahan pangan, namun pada dasarnya iradiasi bukan ditujukan untuk menggantikan semua proses pengawetan konvensional, tetapi untuk melengkapi atau dikombinasikan dengan proses pengawetan lain misalnya dengan penyimpanan beku [8]. Perlakuan kombinasi antara iradiasi gamma dengan penyimpanan beku perlu dilakukan untuk mengurangi dosis iradiasi yang akan digunakan. Tanpa kombinasi perlakuan dengan penyimpanan beku maka akan meningkatkan dosis iradiasi gamma yang akan digunakan. Hal ini dapat meningkatkan biaya iradiasi yang digunakan.

Penyimpanan beku merupakan suatu cara pengawetan bahan pangan dengan cara membekukan bahan pada suhu di bawah titik beku pangan tersebut. Penyimpanan beku atau dengan terbentuknya es (ketersediaan air menurun), maka kegiatan enzim dan mikroba dapat dihambat atau dihentikan serta mencegah reaksi-reaksi kimia sehingga dapat mempertahankan mutu (rasa dan nilai gizi) bahan pangan. Walaupun penyimpanan beku dapat mereduksi jumlah mikroba yang sangat nyata tetapi tidak dapat mensterilkan makanan dari mikroba [6].

Penyimpanan beku akan meningkatkan konsentrasi elektrolit di dalam sel mikroba karena air bebas membeku membentuk kristal es dan merusak sistem koloidal dari protoplasma (misalnya sistem koloid protein) serta menyebabkan denaturasi protein didalam sel mikroba [29]. Penyimpanan beku dapat menyebabkan kematian atau kerusakan subletal pada sebagian sel. Sel yang mengalami kerusakan subletal dapat tumbuh secara normal dan dapat berkembang biak jika ditumbuhkan dalam medium yang kaya akan nutrisi.

Ketahanan sel mikroba terhadap proses pembekuan dipengaruhi oleh kemampuan mikroba tersebut untuk tetap hidup selama dehidrasi pada waktu medium membeku [29] [30].

Ketahanan mikroba selama penyimpanan beku juga dipengaruhi oleh jenis mikroba, komposisi medium penyimpanan, status nutrisi, fase pertumbuhan sebelum mikroba dibekukan, suhu penyimpanan beku, kecepatan pembekuan, lama penyimpanan beku, kecepatan *thawing*, metode yang digunakan untuk menentukan jumlah sel yang hidup, dan media yang digunakan [31].

Aplikasi Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku pada Produk Seafood

Seafood merupakan salah satu bahan pangan yang mudah rusak (*perishable food*) dan sebagai bahan pangan yang berpotensi mengandung bahaya (*potentially food/PHF*). Hal ini karena *seafood* memiliki faktor-faktor yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme diantaranya tingginya kandungan gizi terutama pada kandungan proteinnya. Keberadaan mikroorganisme dalam *seafood* sangat mempengaruhi kualitas dan keamanan produk pangan tersebut [32]. Produk-produk *seafood* seperti ikan, udang, kerang, dan sebagainya mempunyai potensi besar sebagai penyebab keracunan makanan. Meskipun makanan-makanan hasil laut segera dikonsumsi setelah ditangkap, tetapi pencemaran oleh bakteri patogen dapat terjadi selama penangkapan, penanganan dan pengolahan [30].

Mikroflora normal yang terdapat pada produk *seafood* diantaranya *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*, dan *Bacillus*. Sedangkan bakteri patogen enterik pada *seafood* yang dapat ditularkan oleh manusia dan hewan pada umumnya *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Parameter lingkungan yang mempengaruhi mikroflora tersebut meliputi suhu, salinitas, nutrisi, dan pencemaran limbah dari perairan disekitarnya [3] [32].

Bakteri-bakteri patogen tersebut dapat mengakibatkan penyakit pada manusia, misalnya *E. coli* yang mampu menyebabkan gejala seperti kholera, disentri, gastroenteritis, diare dan berbagai penyakit saluran pencernaan lainnya [33], *S. aureus* mampu menyebabkan hemolisis, membentuk koagulasi, dan mampu meragikan manitol [34], *Salmonella* sp. dapat menyebabkan reaksi peradangan pada traktus intestinal [35] dan *Vibrio* sp. mampu menghasilkan enterotoksin penyebab keracunan makanan dengan gejala nyeri perut, diare, mual dan jarang disertai muntah [36].

Penggunaan teknologi iradiasi gamma dan penyimpanan beku pada *seafood* dilakukan untuk mencegah terjadinya pembusukan dan kerusakan serta membunuh mikroba patogen, mikroba pembusuk, dan mikroba berbahaya lainnya yang dapat meningkatkan keamanan pangan pada produk *seafood*.

Beberapa penelitian terkait aplikasi iradiasi gamma dan penyimpanan beku pada produk *seafood* telah dilakukan di Indonesia, salah satunya adalah aplikasi iradiasi gamma dan penyimpanan beku pada kerang hijau. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa iradiasi gamma dan penyimpanan beku memberikan pengaruh terhadap penurunan jumlah bakteri patogen pada kerang hijau. Dengan penggunaan dosis iradiasi sebesar 1,5 dan 3 kGy dengan penyimpanan beku selama 3 dan 6 hari jumlah cemaran bakteri aerob (ALT), bakteri koliform, *E. coli* dan *S. aureus* pada kerang hijau dapat direduksi masing-masing hingga 2, 4, 4 dan 1 *log cycles*. Dan pada penentuan nilai D_{10} terbukti bahwa bakteri *S. aureus* lebih resisten bila dibandingkan dengan *E. coli* karena *S. aureus* merupakan bakteri Gram positif yang mempunyai dinding sel lebih tebal dan banyak mengandung peptidoglikan dibandingkan dengan bakteri *E. coli* yang merupakan bakteri Gram negatif dan hanyamemiliki dinding sel yang sangat tipis [32] [37].

SIMPULAN

Aplikasi kombinasi teknologi iradiasi gamma dan penyimpanan beku berpotensi untuk menurunkan bakteri patogen pada produk *seafood* dengan merusak *DNA* bakteri sehingga aktivitas mikroba menjadi terhambat. Kombinasi teknologi ini juga terbukti aman karena tidak menimbulkan sifat radioaktif serta mampu meningkatkan keamanan produk pangan tanpa menyebabkan perubahan kualitas sensoris pada produk *seafood*.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Sibuea, P. 2006.' Waspada! Keracunan Pangan Pengungsi'. Dalam Harsojo dan Darsono. Kandungan Mikroba Dan Logam Berat Pada Berbagai Jenis Kerang Yang Dipasarkan. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi Vol. 9:2 2013*. Jakarta.
- 2) Thayer, D.W., Josephson, E.S., Brynjolfsson, A, and Giddings, G.G. 1996. 'Radiation Pasteurization of Food'. Dalam R.A Molins (ed.). 2001. Food Irradiation: Principles And Applications. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- 3) Cook, D.W. 1991. 'Microbiology of Bivalve Molluscan Shellfish'. Dalam Ward, D.R and Hackney C. (ed.). Microbiology of Marine Food Products. Van Nostrand Reinhold. New York.
- 4) International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI). 2000. Irradiation of Fish, Shellfish and Frog Legs. International Consultative Group on Food Irradiation established under the aegis of FAO, IAEA, WHO. International Atomic Energy Agency. Vienna.
- 5) Molins, R.A. 2001. Food Irradiation: Principles And Applications. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- 6) Rohana, A. 2002. Pembekuan. Dalam Khairunnisa, I. 2011. Kombinasi Iradiasi Dan Penyimpanan Pada Suhu Beku Terhadap Kandungan Bakteri Pada Daging Sapi Asal Rumah Potong Hewan Di Kabupaten Serta Kota Bogor. Skripsi. IPB. Bogor.
- 7) Darussalam, M. 1996. Radiasi dan Radioisotop Prinsip Kegunaannya Dalam Biologi, Kedokteran, dan Pertanian. Tarsito. Bandung.
- 8) Dwiloka, B. 2002. Bahan Kuliah Iradiasi Pangan. Universitas Semarang. Semarang.
- 9) Surindro, T.S. 2013. Seminar Produk Teknologi Nuklir Dalam Bidang Pertanian Dan Pangan. Pusat Diseminasi IPTEK Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional. Jakarta.
- 10) Ikmalia. 2008. Analisa Profil Protein Isolat Escherichia coli S1 Hasil Iradiasi Sinar Gamma. Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- 11) Yudi. 2008. Interaksi Radiasi Nuklir. Infonuklir.com News. Pusat Diseminasi IPTEK Nuklir (PDIN). Jakarta.
- 12) Irawati, Z. 2006. Aplikasi Mesin Berkas Elektron pada Industri Pangan. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PTAPB – BATAN, Yogyakarta, 87 -94.
- 13) Irawati, Z. 2007. Pengembangan Teknologi Nuklir Untuk Meningkatkan Keamanan dan Daya Simpan Bahan Pangan. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi 3:2*, 41-54.
- 14) Wahyudi, P., Suwahyono U., Harsoyo, Mumpuni A., dan Wahyuningsih D. 2005. Pengaruh Pemaparan Sinar Gamma Isotop Cobalt-60 Dosis 0,25-1 kGy Terhadap Daya Antagonistik *Trichoderma harzianum* Pada *Fusarium oxysporum*. *Berk. Penel. Hayati:10*, 143-151. Pusat Aplikasi Isotop & Radiasi – BATAN, Pasar Jumat. Jakarta.
- 15) Hermana. 1991. Iradiasi Pangan. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- 16) Cahyani, A.F.K., Wiguna, L.C., Putri, R.A., Masduki, V.V., Wardani A.K., dan Harsojo. 2015. Aplikasi Teknologi Hurdle Menggunakan Iradiasi Gamma Dan Penyimpanan Beku Untuk Mereduksi Bakteri Patogen Pada Bahan Pangan : Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri 3:1*, 73-79.
- 17) Anonim. 2010. Interaksi Radiasi Dengan Sel Hidup. <http://cafe-radiologi.blogspot.com/2010/08/interaksi-radiasi-dengan-sel-hidup.html?m=1>. Tanggal akses 25/12/2013.
- 18) Maha, M. 1982. Prospek Penggunaan Tenaga Nuklir dalam Bidang Teknologi Pangan. PATIR - BATAN. Jakarta.
- 19) Maha, M. 1985. Pengawetan Pangan dengan Iradiasi. Himpunan makalah ringkas. Seminar Perkembangan Teknologi Nuklir dan Dampaknya pada Kurikulum SMTA. Jakarta 29-30 April 1985. PATIR - BATAN. Jakarta.
- 20) Anang, H. 1986. Iradiasi Makanan-Prospek Penggunaannya di ASEAN. Risalah Seminar Nasional Pusat Aplikasi Isotop Radiasi BATAN. Jakarta, 13-14 Maret 1986. Jakarta: PATIR-BATAN. Hlm 41-49.
- 21) Adams, M.R. and Moss, M.O. 2008. Food Microbiology Third Edition. RSC Publishing. Cambridge.

- 22) Tetriana, D dan Sugoro, I. 2007. Aplikasi Teknik Nuklir Dalam Bidang Vaksin. *Jurnal Alara Vol. 1. PTKMR – BATAN, PATIR – BATAN Pasar Jum’at. Jakarta.*
- 23) Aquino, K.A.S. 2012. ‘Sterilization by Gamma Irradiation’. Dalam Adrovic, Feriz (ed.). *Gamma Radiation. InTech. Europe.*
- 24) Whitby, J. L. and Gelda, A. K. 1979. ‘Use of Incremental Doses of Cobalt 60 Radiation As a Means to Determining Radiation Sterilization Dose’. Dalam Aquino, K.A.S. 2012. *Sterilization by Gamma Irradiation. InTech. Europe.*
- 25) Derr. 1998. *Food Irradiation : The Basic, Food Safety Consultant. www.food-irradiation.com/basil.*
- 26) Murray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J. 1996. *Detection Methods for Irradiated Foods, Current Status. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK.*
- 27) Desrosier, N.W. 1988. *Teknologi Pengawetan Pangan. Universitas Indonesia. Jakarta.*
- 28) Harris, R.S. dan Karmas E. 1989. *Evaluasi Gizi Pada Pengolahan Bahan Pangan. ITB. Bandung.*
- 29) Yuliatin, F. 2008. *Kemampuan Bertahan Salmonella selama Proses Pembekuan Es. Skripsi. IPB. Bogor*
- 30) Fardiaz, S. 1990. ‘Mikrobiologi Pengolahan Pangan Lanjut’. Dalam Khairunnisa, I. 2011. *Kombinasi Iradiasi Dan Penyimpanan Pada Suhu Beku Terhadap Kandungan Bakteri Pada Daging Sapi Asal Rumah Potong Hewan Di Kabupaten Serta Kota Bogor. Skripsi. IPB. Bogor.*
- 31) Lund, B.M., Baird-Parker, T.C., Gould, G.W. 2000. *The Microbiological Safety and Quality of Food. Aspen Publisher, Inc. Gaithersburg, Maryland.*
- 32) Putri, F.N.A. 2014. *Aplikasi Teknologi Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Beku Sebagai Upaya Penurunan Bakteri Patogen Pada Kerang Hijau Segar (Perna viridis) (kajian Dosis Iradiasi dan Lama Penyimpanan). Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.*
- 33) Kurniadi, Y., Saam, Z., dan Afandi, D. 2013. *Faktor Kontaminasi Bakteri Escherichia coli Pada Makanan Jajanan di Lingkungan Kantin Sekolah Dasar Wilayah Kecamatan Bangkinang. Jurnal Ilmu Lingkungan. Universitas Riau. Riau.*
- 34) Warsa, U.C. 1994. ‘Staphylococcus’. Dalam *Buku Ajar Mikrobiologi Kedokteran. Edisi Revisi, hal. 103-110. Penerbit Binarupa Aksara. Jakarta.*
- 35) Health Protection Agency (HPA).2007. *Identification of Salmonella species. National Standard Method BSOP ID 24 Issue 2. http:www.hpa-standardmethods.org.uk/pdf_sops.asp.*
- 36) Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2009. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan. SNI 7387:2009. Jakarta Pusat.*
- 37) Pradana, R.R. 2012. *Aplikasi Iradiasi Gamma dan Penyimpanan Suhu Dingin Terhadap Jumlah Bakteri Pada Daging Segar Bagian Sandung Lamur (Brisket). Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.*