

METODE RADIASI IONIZING DALAM MEMPERTAHANKAN KUALITAS BUAH DAN SAYURAN PASCA PANEN

IONIZING RADIATION METHOD IN MAINTAINING THE QUALITY OF FRUIT AND VEGETABLES POST HARVEST

Akhmad Rosyidan Rifaldi¹⁾, Donny Harya Juanda¹⁾, Kendid Mahmudi¹⁾, Trapsilo Prihandono¹⁾, Wina Tiodora Br Sinuraya²⁾, May Yani Br Sembiring²⁾

¹⁾Program Studi Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember. Jl. Kalimantan No. 37-Kampus Bumi Tegalboto Kotak Pos 159 Jember, Jawa Timur, 68121, Indonesia

²⁾Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jambi, Jl. Jambi-Muaro Bulian No. Km. 15, Mandalo Darat, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi
Korespondensi: kendidmahmudi.fkip@unej.ac.id

ABSTRAK

Menjaga kualitas buah dan sayur setelah panen menjadi masalah penting bagi industri pertanian dimana hasil pertanian banyak mengalami kerusakan sebelum dikonsumsi. Metode radiasi ionizing telah menjadi pendekatan yang efektif dalam mempertahankan kualitas buah dan sayuran pasca panen. Radiasi ionizing, termasuk sinar gamma dan berkas elektron, telah terbukti efektif dalam memperpanjang masa simpan bahan pangan dan mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh mikroba patogen. Radiasi ionizing berfungsi dengan mengionisasi bahan pangan menggunakan sinar tertentu, sehingga membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroba berbahaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran metode radiasi ionizing dalam mempertahankan kualitas buah dan sayuran pasca panen. Penelitian ini menggunakan penelitian deskriptif kualitatif melalui studi pustaka atau studi literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan radiasi ionizing telah berhasil memperlambat penyusutan berat bahan pangan, menghambat pertumbuhan bakteri berbahaya seperti *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, dan *E-coli*, serta mempertahankan aktivitas antioksidan dalam buah dan sayuran. Faktor-faktor seperti dosis radiasi, keberadaan oksigen, kandungan air, suhu, dan komposisi media memengaruhi efektivitas radiasi dalam memerangi mikroba.

Kata kunci: Bahan Pangan, Radiasi Ionizing, Sinar Gamma

ABSTRACT

*Maintaining the quality of fruit and vegetables after harvest is an important problem for the agricultural industry where many agricultural products are damaged before consumption. The ionizing radiation method has become an effective approach in maintaining the quality of fruit and vegetables after harvest. Ionizing radiation, including gamma rays and electron beams, has been proven effective in extending the shelf life of foodstuffs and reducing damage caused by pathogenic microbes. Ionizing radiation functions by ionizing food ingredients using certain rays, thereby killing or inhibiting the growth of dangerous microbes. This research aims to determine the role of the ionizing radiation method in maintaining the quality of fruit and vegetables after harvest. This research was carried out using the literature study or literature study method. The research results show that the use of radiation has succeeded in slowing down the weight loss of food, inhibiting the growth of dangerous bacteria such as *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, and *E-coli*, and maintaining antioxidant activity in fruit and vegetables. Factors such as radiation dose, presence of oxygen, water content,*

temperature, and media composition influence the effectiveness of radiation in fighting microbes.

Key words: Food Ingredients, Ionizing Radiation, Gamma Rays

PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi, keberlanjutan pangan menjadi salah satu tantangan krusial yang dihadapi oleh masyarakat di seluruh dunia. Dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan perubahan iklim yang tidak dapat diprediksi, pemenuhan kebutuhan pangan yang aman, bergizi, dan berkualitas tinggi merupakan prioritas utama. Menjaga kualitas buah dan sayur setelah panen menjadi masalah penting bagi industri pertanian saat ini. Di Indonesia, Hasil pertanian sering mengalami kerusakan sebelum sampai pada tahap konsumsi. Data menunjukkan sekitar 35-40% buah dan sayur rusak sehingga tidak dapat dimanfaatkan (Lubis, 2009)

Kondisi umum yang dapat menyebabkan pembusukan produk pangan antara lain proses fermentasi yang disebabkan oleh jamur, kapang dan bakteri, reaksi enzimatik yang dapat menyebabkan perubahan warna dan rasa, reaksi kimia serta kerusakan yang disebabkan oleh serangga dan binatang (Saidi & Wulandari, 2019). Secara alami, buah dan sayuran membawa beberapa mikroorganisme pada saat dipanen, bakteri biasanya berasal dari lingkungan sekitar, bakteri juga dapat berasal dari pengolahan suatu bahan makanan dan pada saat penyimpanan (Arini, 2017). Setelah dipanen, buah mengalami tahap pematangan yang dapat berujung pada proses pembusukan. Buah mengalami perubahan fisika-kimia selama proses pematangan, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas (Akrom & Hidayanto, 2014). Sehingga penanganan dan pengolahan pasca panen harus dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa bahan baku yang diproses bebas dari mikroorganisme pembusuk yang menghasilkan racun (Pardede, 2009).

Penelitian tentang pemeliharaan kualitas buah dan sayuran pasca panen semakin mendapat perhatian untuk mengatasi masalah ini. Salah satu teknologi alternatif yang unggul dan dapat digunakan dalam pengolahan pangan adalah Teknologi iradiasi (Kadir, 2010). Penggunaan teknologi radiasi ionizing merupakan metode yang sangat tepat digunakan dalam meningkatkan kualitas buah dan sayuran. Radiasi pengion terdiri dari partikel bermuatan seperti proton, ion berat, atau elektron positif atau negatif serta partikel tak bermuatan seperti foton atau neutron. Semua partikel ini memiliki kemampuan untuk mengionisasi melalui proses primer atau sekunder (Tschurlovits, 1997). Sinar pengion akan menyebabkan kematian mikroorganisme tetapi tidak merusak makanan itu sendiri (Satmoko *et al.*, 2020). Metode ini memiliki banyak keuntungan, termasuk kemampuan untuk mengontrol pertumbuhan mikroba patogen, mengurangi kekeuhan, memperlambat penuaan, dan bahkan mempertahankan nilai gizi produk.

Teknik iradiasi pangan telah diakui secara global sebagai salah satu metode untuk mengkarantina sayur dan buah segar. Sudah terbukti bahwa iradiasi pangan, bisa mengatasi masalah tentang kesehatan bahan pangan. Salah satu aplikasi penggunaan teknologi nuklir dalam bidang pangan adalah untuk meningkatkan keamanan, daya awet, dan sterilisasi bahan pangan tertentu (Akrom & Hidayanto, 2014). Salah satu jenis radiasi pengion yaitu sinar gamma, dimana dapat menghasilkan eksitasi, ionisasi, dan reaksi kimia yang terjadi secara langsung dan setelah iradiasi selesai (Sasmita *et al.*, 2015).

Paparan iradiasi gamma dapat menjaga mutu dan keamanan bahan pangan dengan mengurangi jumlah cemaran mikroba pada tingkat dosis yang sesuai.

Tingkat penetrasi yang tinggi, tanpa meningkatkan suhu bahan yang diolah, kemampuan untuk mengiradiasi bahan setelah dikemas, tidak meninggalkan residu, dan bersifat ramah lingkungan adalah beberapa keuntungan dari penggunaan iradiasi gamma (Winarno *et al.*, 2010). Apabila energi radiasi yang digunakan melebihi 5 MeV, sumber radiasi gamma seperti ^{60}Co , yang memancarkan energi sebesar 1,33 MeV, dan ^{137}Cs , yang memancarkan energi sebesar 0,66 MeV, tidak akan memiliki efek radioaktif pada atom-atom bahan pangan. Batas energi maksimum dari sumber radiasi gamma yang digunakan untuk melindungi bahan pangan adalah 5 MeV. Selain itu, karena radiasi yang dipancarkan bersifat berupa energi dan bukan partikel atau materi, maka residu yang tertinggal pada bahan pangan atau benda di sekitarnya tidak ada (Cahyani *et al.*, 2015).

Pada akhir tahun 1940-an dan awal tahun 1950-an, penelitian tentang penggunaan sumber radiasi untuk pengawetan makanan telah dilakukan terhadap lima jenis radiasi pengion: sinar X, elektron, neutron, partikel alpha, dan sinar ultra violet. Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa hanya elektron yang memiliki keunggulan terutama dalam efisiensi, keamanan, dan kenyamanan (Irawati, 2007). Radiasi pengion pertama kali dihasilkan oleh accelerator, partikel dengan energi 24 MeV menghasilkan sinar elektron. Pada akhir tahun 1940-an, Cobalt-60 (^{60}Co) dan Cesium-137 (^{137}Cs) ditemukan, yang menghasilkan sinar gamma dengan kekuatan penetrasi yang lebih besar. Sejak saat itu, penggunaan ^{60}Co dan ^{137}Cs sebagai sumber radiasi untuk aplikasi komersial telah meningkat (Miller, 2005).

Dalam konteks ini, kajian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif penerapan metode radiasi pengion pada industri pertanian, khususnya dalam upaya menjaga kualitas buah dan sayur pasca panen. Penelitian ini akan menguraikan prinsip dasar radiasi pengion, metode penerapannya, dan dampaknya terhadap sifat fisik, nutrisi, dan keamanan

produk. Tinjauan ini juga akan membahas perkembangan terkini penggunaan teknologi radiasi pengion, serta implikasinya terhadap pencapaian ketahanan pangan global.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian kualitatif atau penelitian yang melibatkan analisis data, dengan hasil yang diuraikan secara deskriptif. Metode yang digunakan adalah metode studi kepustakaan. Kajian literatur dianggap penting karena berfungsi sebagai landasan mengenai alasan peneliti memilih tema dan judul tertentu. Kajian pustaka biasanya terdiri dari bagian-bagian yang menjelaskan tentang teori, hasil, dan bahan penelitian yang berguna untuk penelitian berikutnya (Ridwan *et al.*, 2021). Analisis literatur dapat memberikan gambaran mengenai isu yang akan diinvestigasi, menyediakan dukungan teoritis dan konseptual bagi peneliti, serta berfungsi sebagai bahan diskusi atau pembahasan dalam konteks penelitian.

Fokus penelitian ini adalah pencarian sumber literatur yang mendalam tentang penggunaan radiasi ionizing dalam mempertahankan kualitas buah dan sayuran pasca panen. Sumber literatur yang digunakan mencakup berbagai macam jurnal ilmiah, buku, dan laporan penelitian yang menguraikan hasil eksperimen, serta ulasan literatur yang relevan. Untuk menggabungkan temuan penting dari penelitian, data data hasil studi literatur akan dianalisis secara menyeluruh dan teliti. Dimana proses analisis ini akan meningkatkan pemahaman peneliti tentang efektivitas radiasi ionizing untuk mempertahankan kualitas buah dan sayuran pasca panen. Metode ini juga memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi kemajuan terbaru dalam penelitian mengenai pemanfaatan radiasi ionizing untuk mempertahankan kualitas buah dan sayuran pasca panen. Dalam analisis ini, peneliti memperoleh pengetahuan yang lebih mendalam tentang

cara kerja radiasi ionizing dalam mempertahankan kualitas buah dan sayuran pasca panen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas buah dan sayuran pasca panen

Berdasarkan kajian literatur yang ada, bahan pangan buah dan sayuran hasil pertanian mudah rusak karena sifatnya yang mudah terpengaruh oleh faktor fisiologi, mekanik, kimiawi, dan mikrobiologi. Bahan pangan buah dan sayuran menjadi kebutuhan primer dan sumber energi bagi manusia. Namun, bahan pangan dapat berfungsi sebagai makanan bagi bakteri atau mikroorganisme patogen (Hamidy et al., 2021). Bakteri patogen merupakan bakteri yang dapat mengkontaminasi bahan pangan dan merusak kualitas bahan pangan. Beberapa bakteri patogen antara lain *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella sp.*, *Vibrio sp.*, dan *C. perfringens* (Cahyani et al., 2015).

Buah dan sayuran yang tidak diolah lebih lanjut setelah pasca panen dapat mengalami perubahan dan kerusakan sehingga tidak layak dimakan (Lubis, 2009). Karenanya, dibutuhkan usaha untuk melambatkan laju kerusakan bahan pangan guna memperpanjang daya tahannya. Pada tahun 2000, *International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI)* mengatakan, semua metode pengolahan bahan pangan pasca panen yang paling komprehensif untuk mengurangi jumlah mikroba patogen adalah iradiasi ionizing.

Iradiasi ionizing pada bahan pangan

Iradiasi adalah metode efektif dalam menjaga mutu dan memperpanjang masa simpan bahan pangan (Asiah et al., 2019). Tujuan utama iradiasi pangan adalah untuk menghilangkan cemaran mikroorganisme seperti bakteri patogen seperti, virus, fungi, dan serangga yang dapat menyebabkan kerusakan pada bahan makanan melalui proses ionisasi menggunakan radiasi khusus. (Fabryana et al., 2015).

Penerapan radiasi pengion, yang menghasilkan energi tertentu pada makanan. Jenis radiasi yang dikenal sebagai

radiasi pengion, memiliki kemampuan untuk Radiasi pengion (ionizing) merupakan bentuk radiasi yang dapat memproduksi ion saat berinteraksi dengan atom atau molekul lainnya. Beberapa contoh radiasi pengion mencakup sinar alpha (α), sinar beta (β), sinar gamma (γ), dan radiasi ultraviolet (Hamidy et al., 2021). Menurut pedoman standar internasional yang disebut *Codex General Standard*, jenis radiasi hanya 3 yang diakui dalam penggunaan iradiasi pangan, yakni sinar-X, sinar gamma, atau berkas elektron (Cahyani et al., 2015). Dari berbagai macam radiasi pengion, radiasi sinar gamma sering kali menjadi pilihan utama dalam usaha untuk mengawetkan bahan pangan.

Selain itu di Tiongkok, sering digunakan sinar gamma dan juga berkas elektron yang digunakan untuk meningkatkan mutu bahan pangan dan memperpanjang jangka waktu penyimpanannya. Dilaporkan bahwa penerapan iradiasi menggunakan berkas elektron dalam bahan pangan yang berhasil menghambat atau mengeliminasi pertumbuhan bakteri berbahaya seperti *E. coli*, *Salmonella typhimurium*, dan *Listeria monocytogenes* (Asiah et al., 2019).

Ada beberapa strategi yang dapat digunakan untuk memperlambat kerusakan bahan makanan sehingga memungkinkan mereka untuk tetap tahan lebih lama, antara lain:

1. Menerapkan panas dan pengemasan untuk meminimalisir kerusakan oleh bakteri. Proses ini melibatkan penggunaan perlakuan panas (seperti pemasakan, merebus, menggoreng, memanggang, dan penyangraian) serta mengatur keadaan udara (seperti kemasan kedap udara).
2. Menghambat pertumbuhan bakteri dalam bahan makanan yang memiliki kadar air dengan melakukan pendinginan, pengasapan, perendaman dalam larutan garam.
3. Mengurangi jumlah bakteri dengan proses pengeringan, menambahkan gula, garam untuk mengurangi kadar air.

4. Menghilangkan bakteri melalui teknik pasteurisasi dan sterilisasi.

Radiasi ionizing pada buah dan sayuran pasca panen

Dalam penggunaan teknologi iradiasi pada bahan pangan, terjadi kerusakan dan kerusakan permanen pada DNA organisme patogen. Akibatnya, kemampuan organisme tersebut untuk

berkembang biak dan memperbanyak diri hilang. Jika serangga hadir pada produk makanan, maka mereka menjadi steril dan tidak mampu berkembang biak, dan tanaman kehilangan proses pematangan alami (Ganguly et al., 2012). Iradiasi gamma juga dapat digunakan untuk mengawetkan makanan dengan mengurangi atau menghilangkan bakteri pembusuk dan memperpanjang *shelf life*.

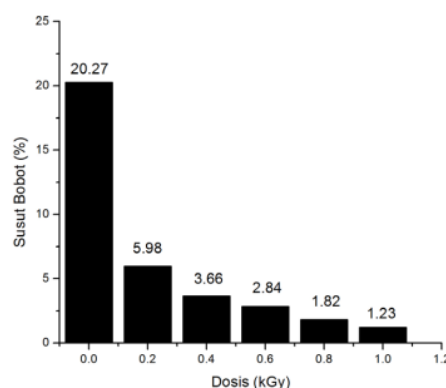
Tabel 1. Penerapan Iradiasi Dan Katagori Dosis Dalam Bahan Pangan Sumber: (BPOM, 2019)

| Produk makanan | Dosis | Tujuan |
|---|-----------------|--|
| Bawang merah, bawang putih, jahe, kentang, uni jalar dll. | 0.05 - 0.15 kGy | Menghambat pertunasan |
| Buah segar dan kering, sereal dan kacang-kacangan | 0.15 - 0.5 kGy | Disinfestasi / melindungi bahan pangan dari serangga dan parasit |
| Sayur dan buah segar | 0.25 - 1.0 kGy | Menghambat masa proses pematangan |
| Strawbeery, jamur | 1.0 - 3.0 kGy | Memperpanjang masa simpan |
| Pangan laut segar dan beku | 1.0 - 7.0 kGy | Eliminasi mikroba pembusuk dan patogen |
| Anggur dan sayuran dehidrasi | 2.0 - 7.0 kGy | Memperbaiki teknologi pangan |
| Kanan steril untuk pasien di rumah sakit | 30 - 50 kGy | Sterilisasi industri |
| Rempah | 10 - 50 kGy | Dekontaminasi |

Berdasarkan tabel 1 menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan penerapan iradiasi pada bahan pangan baik buah maupun sayuran dengan dosis rendah sampai 1 kGy dapat menghambat pertunasan pada bawang merah, bawang putih, jahe, kentang, dan ubu jalar, mencegah serangan serangga dan parasit pada kacang kacang dan buah segar serta dapat memnghambat proses pematangan juga pada buah dan sayuran segar. Sedangkan untuk dosis sedang antara 1 – 10 kGy dapat memperpanjang masa simpan pada stroberi dan jamur, eliminasi mikroorganisme pembusuk pada pangan laut segar dan memperbaiki kandungan sari buah anggur. Terakhir untuk dosis tinggi di tas 10 kGy dapat mensterilkan makanan pasien di rumah sakit dan menghilangkan keberadaan mikroorganisme pada bahan rempah rempah.

Setelah dipanen, bahan pangan akan melalui fase pematangan buah mengalami perubahan fisika dan kimia yang dapat mengurangi kualitas bahan pangan.

penyusutan pada berat buah menjadi salah satu indikator kematangan buah. Penurunan massa bahan pangan setelah dipanen dipengaruhi oleh peningkatan proses respirasi, sehingga kandungan oksigen (O₂) yang masuk menurun, sementara kandungan karbon dioksida (CO₂) yang keluar meningkat



Gambar 1. Diagram korelasi dosis radiasi terhadap penyusutan bobot Sumber: (Akrom & Hidayanto, 2014)

Hasil studi yang dilakukan oleh Akrom pada tahun 2014 menunjukkan bahwa dosis sinar gamma dan suhu penyimpanan dapat mempengaruhi penyusutan berat pada buah mangga. Penyusutan berat akan semakin kecil ketika dosis radiasi yang diterapkan semakin tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa radiasi memiliki kemampuan untuk memperlambat penyusutan berat pada buah mangga selama masa penyimpanan. Sehingga buah dapat bertahan lebih lama dan awet setelah diberikan iradiasi karena penyusutan buah akan berkurang. Penyusutan buah yang berkurang membuat proses pematangan pada buah juga semakin lambat.

Tabel 2. Aktivitas antioksidan sayuran kering iradiasi (ug AAE/g). Sumber: (Kadir & Darwis, 2020)

| No. | Jenis sayuran kering | Kontrol | Iradiasi |
|-----|----------------------|---------|----------|
| 1 | Jamur Tiram | 555,41 | 487,22 |
| 2 | Jamur Kuping | 869,45 | 314,73 |
| 3 | Jamur Shiitake | 402,15 | 407,97 |

Tabel 3. Hasil pengamatan B. Papayae yang hidup terhadap dosis 0,75 kGy Sumber: (Sugianti et al., 2012)

| Perlakuan | Ulangan | Kondisi larva | | | Mortalitas (%) |
|--------------------------|-----------|---------------|-------|------|----------------|
| | | Jumlah telur | Hidup | Mati | |
| Iradiasi 0,75 kGy | 1 | 100 | 0 | 100 | 100 |
| | 2 | 100 | 0 | 100 | 100 |
| | 3 | 100 | 0 | 100 | 100 |
| | 4 | 100 | 0 | 100 | 100 |
| | Jumlah | 400 | 0 | 400 | 100 |
| | Rata rata | 100 | 0 | 100 | 100 |
| Kontrol (tanpa iradiasi) | 1 | 100 | 68 | 12 | 12 |
| | 2 | 100 | 72 | 28 | 28 |
| | 3 | 100 | 80 | 20 | 20 |
| | 4 | 100 | 78 | 22 | 22 |
| | Jumlah | 400 | 298 | 102 | 102 |
| | Rata-rata | 100 | 74,50 | 25,5 | 25,5 |

Serangan lalat buah telah menjadi penghalang dalam ekspor buah-buahan dari Indonesia karena ketentuan karantina yang sangat ketat. Khususnya dalam mengatasi masalah ini pada mangga, tindakan pascapanen yang efektif sangat penting untuk memungkinkan masuknya mangga Indonesia ke pasar dunia (Sugianti et al., 2012). Berdasarkan hasil dari Tabel 3 dari

| | | | |
|---|---------|--------|--------|
| 4 | Seledri | 887,80 | 925,25 |
| 5 | Wortel | 541,77 | 511,37 |

Hasil analisis pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan antioksidan dalam berbagai jenis sayuran dapat dipertahankan bahkan meningkat pada dosis iradiasi yang moderat. Antioksidan dalam bahan pangan dapat mengendalikan oksidasi lemak (Kadir & Darwis, 2020). Antioksidan juga berperan dalam mengurangi proses oksidasi lemak yang dapat menyebabkan bahan pangan menjadi berbau tak sedap.

Radikal bebas dapat mempercepat pembusukan buah, tetapi antioksidan melindungi sel dari kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas. Antioksidan membantu menahan pembusukan dengan mengurangi kerusakan pada sel-sel buah, sehingga dapat memperpanjang masa ketahanannya. Karena itu, buah-buahan yang mengandung banyak antioksidan umumnya memiliki masa simpan yang lebih panjang karena lebih resisten terhadap proses oksidasi.

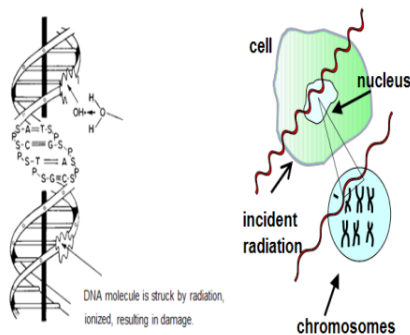
penelitian yang telah dilakukan menunjukkan dengan menerapkan dosis 0,75 kGy, larva yang terdapat di dalam buah dapat dibunuh dengan tingkat kematian mencapai 100% selama masa penyimpanan.

Mekanisme Iradiasi dalam bahan pangan

Secara prinsip, proses eksitasi, ionisasi, dan perubahan kimia termasuk

dalam metode pengawetan bahan makanan yang menggunakan iradiasi gamma, sinar-x, atau berkas elektron. Eksitasi mengacu pada kondisi di mana sel atau organisme hidup menjadi sensitif terhadap pengaruh eksternal. Ionisasi adalah proses pembentukan fraksi atau ion radikal bebas dari molekul atau senyawa kompleks lainnya (Indiarto *et al.*, 2020). Eksitasi, ionisasi, dan reaksi kimia yang terjadi selama atau setelah proses iradiasi dapat menyebabkan perubahan kimia. Perubahan kimia ini dapat menghambat sintesis DNA dalam sel hidup, yang pada akhirnya mengganggu pembelahan sel atau proses kehidupan normal sel, menyebabkan dampak biologis (Fabryana *et al.*, 2015).

Selama proses iradiasi, bahan makanan menyerap energi radiasi, yang kemudian digunakan untuk memecah ikatan kimia dalam DNA mikroba atau kontaminan serangga. Ini menyebabkan kerusakan DNA organisme kontaminan dan menghambat pertumbuhan mereka (Akinloye *et al.*, 2015)



Gambar 2. Proses pemecahan ikatan pada kromosom atau DNA. Sumber: (Akrom & Hidayanto, 2014)

Pertumbuhan bakteri dapat terhambat, yang pada gilirannya akan memperlambat proses metabolisme dalam bahan makanan. Akibatnya, proses pematangan atau pembusukan berjalan lebih lambat. Artinya, bahan pangan tidak mudah terdegradasi atau menguap, sehingga terjadi sedikit penyusutan berat.

Setiap jenis bakteri menunjukkan tingkat sensitivitas yang beragam terhadap radiasi gamma. Beberapa mikroorganisme memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh radiasi gamma, sementara yang

lain lebih rentan terhadapnya (Sutomo, 2013). Keberlanjutan daya tahan mikroba terhadap paparan radiasi berkaitan pada tingkat kerusakan sel mikroba yang diukur dalam nilai D10 (Sianipar *et al.*, 2013). Nilai D10 adalah banyaknya paparan radiasi minimum yang di butuhkan meminimalisir keberadaan mikroba sebesar 10 kali lipat. Nilai D10 yang lebih tinggi mengindikasikan tingkat ketahanan bakteri terhadap radiasi yang lebih besar. Beberapa faktor yang mempengaruhi Ketahanan bakteri terhadap radiasi ionizing seperti yang dijelaskan dalam penelitian Cahyani pada tahun 2015 yaitu

- a. sel mikroba memiliki karakteristik dan struktur DNA.
- b. Senyawa-senyawa yang terdapat dalam sel mikroba dapat memberikan dampak tidak langsung yang bervariasi terhadap reaksi radiasi.
- c. Kehadiran oksigen dapat meningkatkan kematian mikroorganisme. Oleh karena itu, nilai D10 (dosis radiasi yang diperlukan untuk membunuh 90% mikroorganisme) dalam kondisi anaerobik lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi aerobik.
- d. Kondisi kering dapat membuat mikroorganisme lebih tahan terhadap radiasi karena tidak ada pembentukan radikal bebas sehingga mengakibatkan dampak tidak langsung terhadap DNA sel mikroorganisme menjadi minim.
- e. Suhu. Kombinasi antara perlakuan iradiasi dan peningkatan suhu dalam rentang suhu subletal (di atas 45°C) akan meningkatkan efek bakterisidal pada sel vegetatif.
- f. Komposisi media. Nilai D10 mikroorganisme dapat berbeda-beda tergantung pada komposisi media yang digunakan.
- g. Kondisi pasca iradiasi. Setelah terpapar radiasi, mikroorganisme dapat memperbaiki diri.

Radiasi produk makanan ditentukan oleh tingkat resistensi mikroba, karena sensitivitas dan resistensi terhadap radiasi gamma berbeda-beda antara mikroba. Variasi atau perubahan dalam karakteristik

sensitivitas atau resistensi sel bakteri terhadap radiasi dapat mengakibatkan beberapa sel bakteri tetap hidup setelah terkena dosis radiasi tertentu (Kadir, 2010). Ukuran dan komposisi DNA mikroba, senyawa dalam sel, jumlah oksigen, suhu, jenis media, dan kondisi setelah radiasi adalah beberapa faktor yang memengaruhi resistensi mikroba terhadap radiasi ionizing (Fabryana et al., 2015; Handayani & Permawati, 2017).

Selain itu, kemasan anti-mikroba dapat digunakan sebagai metode perlindungan tambahan untuk mencegah kontaminasi mikroba dalam produk pangan. Kemasan anti-mikroba dapat menggunakan panas atau radiasi ionizing untuk membunuh mikroorganisme, dan produk pangan kemudian dikemas secara cermat untuk mencegah terjadinya kontaminasi mikroba.

Keamanan Pangan Iradiasi

Dalam pengawetan bahan pangan, energi sumber radiasi gamma tidak boleh melebihi 5 MeV. Hal ini ditetapkan karena energi radiasi di atas 5 MeV dapat mengakibatkan pembentukan imbas radioaktif pada atom-atom dalam bahan pangan. Sumber radiasi gamma seperti ⁶⁰Co

dengan energi 1.33 MeV dan ¹³⁷Cs dengan energi 0.66 MeV tidak menyebabkan imbas radioaktif. Radiasi gamma adalah bentuk energi yang tidak melibatkan partikel fisik, sehingga tidak meninggalkan residu dalam bahan pangan. Maka dari itu, proses iradiasi pangan dianggap ramah lingkungan.

Perizinan Food and Drug Administration (FDA) untuk menerapkan teknologi iradiasi pada bahan pangan telah diberikan. FDA menetapkan bahwa produk pangan yang telah diiradiasi harus memiliki logo yang disebut "radura", yang berarti radiasi yang tahan lama, pada kemasannya. Di Indonesia, iradiasi pangan diatur oleh berbagai peraturan, termasuk 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 yang mengatur komersialisasi komoditas pangan yang telah diiradiasi, serta peraturan standar internasional Codex Alimentarius Commission tentang makanan yang telah diiradiasi (Kadir, 2010).

Tabel 4. Dosis radiasi untuk penggunaan makanan Sumber : (Sari & Hardiyanto, 2013)

| Iradiasi dosis | Tujuan | Range dosis (kGy) | Sampel |
|----------------------------------|--|-------------------|---|
| Dosis rendah (< 1 kGy) | tunas | 0.05-0.15 | Kentang, bawang bombay, bawang putih |
| | Desinfektan serangga dan parasit | 0.15-0.50 | Sereal, buah kering, daging babi, kacang-kacangan |
| Dosis medium (1-10 kGy) | Penundaan kematangan | 0.50-1.00 | Buah dan sayuran segar |
| | Pereduksian pembusukan mikroorganisme | 1.0-3.0 | Ikan, stroberi |
| | Pereduksian bakteri patogen non-spora | 2.0-7.0 | Daging unggas, ubur-ubur |
| Dosis tinggi (10-50 kGy) | Pereduksian mikroba dalam produk kering | 7.0-10.0 | Rempah-rempah, jamu |
| | Sterilisasi | 25-50 | Makanan diet steril |
| Dosis sangat tinggi (10-100 kGy) | Pereduksian atau mengeliminasi kontaminasi virus | 10-100 | |

Tiga prinsip proses radiasi diklasifikasikan berdasarkan dosis seperti Radapertisasi menggunakan dosis tinggi untuk sterilisasi yang dapat menyebabkan kematian seluruh mikroorganisme yang terdapat dalam makanan (thermal

pasteurization) dengan dosis sedang untuk membunuh seluruh bakteri patogen. Terakhir Radurisasi lingkup dosis rendah untuk mengurangi populasi mikroba pada produk pangan dan melambatkan proses pematangan.

Tabel 5. Jenis makanan, tujuan radiasi, dan dosis yang diizinkan untuk diserap pangan Sumber: (Asiah *et al.*, 2019)

| Jenis Pangan | Tujuan Iradiasi | Dosis Serap Maksimum (kGy) |
|--|--|----------------------------|
| Umbi lapis dan umbi akar | Menghambat pertunasan selama penyimpanan | 0,15 |
| Sayur dan buah segar | a. Menunda pematangan | 1,0 |
| | b. Membasmi serangga | 1,0 |
| | c. Memperpanjang masa simpan | 2,5 |
| | d. Perlakuan karantina | 1,0 |
| Produk olahan sayur dan buah | Memperpanjang masa simpan | 7,0 |
| Mangga | Memperpanjang masa simpan | 0,75 |
| Manggis | a. Membasmi serangga | 1,0 |
| | b. Perlakuan karantina | 1,0 |
| Sereal dan produk hasil penggilingannya, kacang kacang, biji-bijian penghasil minyak, polong-polong, buah kering | a. Membasmi serangga | 1,0 |
| | b. Mengurangi jumlah mikroba | 5,0 |
| Sayuran kering, bumbu, rempah, rempah kering (<i>dry herbs</i>) dan <i>herbal tea</i> | a. Mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tertentu | 10,0 |
| | b. Membasmi serangga | 1,0 |

Peraturan iradiasi pangan diatur oleh Kementerian Kesehatan merujuk pada Laporan Teknis Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA). Dimana aturan tersebut bersifat global, sehingga aturan iradiasi pangan yang berlaku di berbagai negara sesuai dengan ketentuan yang diterapkan di Indonesia

SIMPULAN

Radiasi ionizing, seperti sinar gamma dan berkas elektron, bisa diterapkan untuk menghambat pertumbuhan bakteri berbahaya, dan mempertahankan aktivitas antioksidan dalam buah dan sayuran. Beberapa faktor seperti dosis radiasi, keberadaan oksigen, kandungan air, suhu, dan komposisi media memengaruhi efektivitas radiasi. metode radiasi ionizing adalah solusi yang menjanjikan dalam mempertahankan kualitas dan keamanan

buah dan sayuran pasca panen. Hal ini memungkinkan pemenuhan kebutuhan gizi manusia sambil memastikan kebersihan dan keselamatan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

Akinloye, M., Isola, G., Olasunkanm, S., & Okunade, D. (2015). Iradiasi sebagai Metode Pengawetan Makanan di Nigeria: Prospek dan Masalah. *Jurnal Internasional Untuk Penelitian Sains & Teknik Terapan Teknologi (IJRASET)*. www.ijraset.com

Akrom, M., & Hidayanto, E. (2014). KAJIAN PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP SUSUT BOBOT PADA BUAH JAMBU BIJI MERAH SELAMA MASA PENYIMPANAN STUDY EFFECT OF

- GAMMA RADIATION ON WEIGHT SHRINKAGE OF RED GUAVA FRUIT DURING STORAGE. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 10, 86–91. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v10i1.3055>
- Arini, L. D. D. (2017). FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB DAN KARAKTERISTIK MAKANAN KADALUARSA YANG BERDAMPAK BURUK PADA KESEHATAN MASYARAKAT. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 2(1), 15–24.
- Asiah, N., Kusumantara, kezia, & Annisa, A. (2019). Iradiasi Bahan Pangan: Antara Peluang dan Tantangan untuk Optimalisasi Aplikasinya Food Irradiation: Between Opportunity and Challenges for Optimizing Applications. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 15(1). <https://doi.org/10.17146/jair.2019.15.1.4703>
- BPOM, R. (2019). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia No. 18 Tahun 2019 Tentang Cara Iradiasi Pangan yang Baik*.
- Cahyani, A., Wiguna, L., Putri, R., Masduki, V., Wardani, A., & 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, 73–79.
- Fabryana, P., Wardani, A., & Harsojo. (2015). APLIKASI TEKNOLOGI IRADIASI GAMMA DAN PENYIMPANAN BEKU SEBAGAI UPAYA PENURUNAN BAKTERI PATOGEN PADA SEAFOOD : KAJIAN PUSTAKA. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(2), 345–352.
- Ganguly, S., Mukhopadhyay, K., & Biswas, S. (2012). Preservation of food items by irradiation process. In *IJCBS* (Vol. 1). www.iscientific.org/Journal.html
- Hamidy, A. N., Sudarti, & Prihandono, T. (2021). ANALISIS PEMAHAMAN MAHASISWA PENDIDIKAN FISIKA UNIVERSITAS JEMBER PADA MATERI TEKNOLOGI RADIASI IONIZING DALAM PENGAWETAN. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 10(4), 156–161.
- Handayani, M., & Permawati, H. (2017). Gamma irradiation technology to preservation of foodstuffs as an effort to maintain quality and acquaint the significant role of nuclear on food production to Indonesia society: A Review. *Energy Procedia*, 127, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.112>
- Indiarto, R., Pratama, A. W., Sari, T. I., & Theodora, H. C. (2020). Food irradiation technology: A review of the uses and their capabilities. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 68(12), 91–98. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V68I12P216>
- Irawati, Z. (2007). PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN DAN DAYA SIMPAN BAHAN PANGAN. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Dan Radiasi*, 3(2).
- Kadir, I. (2010). PEMANFAATAN IRADIASI UNTUK MEMPERPANJANG DAYA SIMPAN JAMUR TIRAM PUTIH (*Pleurotus ostreatus*) KERING. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi A Scientific Journal for The Applications of Isotopes and Radiation*, 6(1).
- Kadir, I., & Darwis, D. (2020). PENGARUH IRADIASI TERHADAP KUALITAS FISIKO-KIMIA SAYUR-SAYURAN KERING SKALA SEMI-PILOT. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, 23(2), 1–7. <http://ganendra.batan.go.id>
- Lubis. (2009). *Pengawetan Makanan Yang Aman* (pp. 1–15).

- Miller, R. (2005). *Electronic Irradiation of Foods: An Introduction to the Technology*.
<https://doi.org/10.1007/0-387-28386-2>
- Pardede, E. (2009). Buah dan Sayur Olahan Secara Minimalis. *Majalah Ilmiah Universitas HKBP Nommensen*, 17(3), 245–254.
- Ridwan, M., Suhar AM, Ulum, B., & Muhammad, F. (2021). Pentingnya Penerapan Literature Review pada Penelitian Ilmiah (The Importance Of Application Of Literature Review In Scientific Research). *Jurnal Masohi*, 2(1), 42–51.
<http://journal.fdi.or.id/index.php/jmas/article/view/356>
- Saidi, I. A., & Wulandari, F. E. (2019). *Pengeringan Sayuran Dan Buah - buahan*. Umsida Press.
<https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-67-6>
- Sari, D. A., & Hardiyanto. (2013). TEKNOLOGI DAN METODE PENYIMPANAN MAKANAN SEBAGAI UPAYA MEMPERPANJANG SHELF LIFE. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(2).
www.journal.ift.or.id
- Sasmita, H., Indarwatmi, M., & Nasution, I. (2015). PENGARUH IRADIASI SINAR GAMMA TERHADAP PENAMPILAN BUAH MANGGA (*Mangifera indica* L.) VARIETAS GEDONG. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*.
<https://www.researchgate.net/publication/310799160>
- Satmoko, A., Ardiyati, T., & Gunawan, H. A. (2020). Gamma Irradiator Facilities for Processing Plant Industries Products. *E3S Web of Conferences*, 142.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014201003>
- Sianipar, J., Putri, L., & Ilyas, S. (2013). PENGARUH RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP TANAMAN KACANG HIJAU (*Vigna radiata* L.) PADA KONDISI KEKERINGAN. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(2).
- Sugianti, C., Hasbullah, R., Purwanto, Y. A., & Setyabudi, D. A. (2012). Kajian Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma Terhadap Mortalitas Lalat Buah dan Mutu Buah Mangga Gedong (*Mangifera indica* L) Selama Penyimpanan. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 26(1).
- Sutomo. (2013). Desain Bangnan Utama Iradiator Gamma Kapasitas 200 kCi Untuk Iradiasi Bahan Pangan. *PRIMA*, 10(2).
- Tschurlovits, M. (1997). *What is "ionizing radiation"?*
http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:29017412
- Winarno, E. K., Mazda, Rahmawati, H., & Hendig Winarno, dan. (2010). Pengaruh Iradiasi Gamma pada Aktivitas Sitotoksik Daging Buah Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff) Boerl.). *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 11(2), 67–76.