

664
Dud
1

A28

Bahan Kuliah

IRADIASI PANGAN

Oleh
Bambang Dwiloka

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS SEMARANG
2002

| | |
|------------------|--------------|
| UPT-PUSTAK-UNDIP | |
| No. Daft: | 904/KI/FP/10 |
| Tgl. | 7 Feb 05 |

KATA PENGANTAR

Iradiasi merupakan teknologi yang relatif baru yang saat ini mulai dikembangkan dalam proses pengawetan bahan pangan secara komersial di Indonesia. Berdasar hasil penelitian, teknologi iradiasi ternyata memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan teknologi pengawetan pangan yang lazim dikenal. Berbagai kontroversi tentang teknologi iradiasi masih bermunculan, dengan adanya anggapan masyarakat yang keliru dan informasi yang kurang benar. Karena itu perlu diupayakan secara terus menerus informasi yang benar tentang manfaat teknologi iradiasi dalam berbagai bidang serta aspek risiko kesehatan, khususnya dalam pengawetan bahan pangan.

Tulisan ini menyajikan penggunaan teknologi iradiasi dalam pengawetan bahan pangan, yang membahas prinsip dasar iradiasi pangan, perubahan kimiawi, aspek mikrobiologis, dan aspek keamanan pangan. Diharapkan tulisan ini dapat memberikan wacana dalam kegiatan penelitian dan aplikasinya dalam industri. Khusus kepada para mahasiswa dan pemerhati lain, disarankan untuk membaca referensi lain yang kini banyak dipublikasikan, terutama di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR) BATAN Jakarta, sebab tulisan ini hanya memuat teramat sedikit tentang teknologi iradiasi.

Semarang, Oktober 2002

Penulis,

Bambang Dwiloka

DAFTAR ISI

| | |
|--|----|
| KATA PENGANTAR | ii |
| DAFTAR TABEL | v |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| BAB II PROSES IRADIASI..... | 5 |
| A. Pengertian Umum Radiasi | 5 |
| B. Prinsip Pengawetan Pangan dengan Iradiasi | 6 |
| C. Jenis Iradiasi Pangan | 9 |
| D. Penggunaan Iradiasi Pangan | 9 |
| E. Dosis Iradiasi | 13 |
| BAB III INAKTIVASI BIOLOGIS | 17 |
| A. Mikroba | 17 |
| B. Parasit | 19 |
| C. Scrangga | 20 |
| BAB IV PERUBAHAN KIMIAWI BAHAN PANGAN | |
| IRADIASI | 21 |
| A. Reaksi Kimiawi Akibat Iradiasi | 21 |
| B. Perubahan Kimiawi Air | 23 |
| C. Perubahan Kimiawi Protein | 27 |
| D. Perubahan Kimiawi Lipida | 33 |
| E. Perubahan Kimiawi Karbohidrat | 37 |
| F. Perubahan Kimiawi Vitamin | 41 |

| | | |
|----------------|---|----|
| BAB V | ASPEK KEAMANAN PANGAN IRADIASI | 44 |
| | A. Aspek Keamanan | 44 |
| | B. Aspek Kimia | 46 |
| | C. Aspek Toksikologi | 47 |
| | D. Aspek Legalitas dan Pemantauan | 48 |
| BAB VI | KESIMPULAN DAN SARAN | 50 |
| | A. Kesimpulan | 50 |
| | B. Saran..... | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 53 |

DAFTAR TABEL

| <u>Nomor:</u> | Teks | Halaman |
|---------------|---|---------|
| 1. | Panjang gelombang energi radiasi | 5 |
| 2. | Penggunaan dosis iradiasi untuk berbagai tujuan pengawetan bahan pangan | 16 |
| 3. | Komponen senyawa hasil iradiasi lipida | 38 |

Gambar

| | | |
|----|---|---|
| 1. | Bagan prinsip pengawetan bahan pangan dengan iradiasi | 8 |
|----|---|---|

BAB I

PENDAHULUAN

Salah satu penggunaan tenaga nuklir untuk maksud damai yang telah lama dikembangkan ialah dalam bidang teknologi pangan yang lazim dikenal dengan proses iradiasi.

Penggunaan iradiasi untuk mengawetkan bahan pangan, mulai dipelajari secara intensif sejak tahun 1950 di Amerika Serikat dan beberapa negara Eropa, yang kemudian diikuti oleh negara-negara lain di seluruh dunia. Sejak saat itu, berbagai kegiatan dan pertemuan ilmiah diadakan, baik dalam tingkat nasional maupun internasional guna membahas berbagai kemajuan dan persoalan yang ditemui dalam pengembangan teknologi baru ini.

Perhatian dunia yang demikian besar disebabkan karena pengawetan dengan iradiasi ternyata mempunyai beberapa kelebihan dan keunikan, bila dibandingkan dengan proses pengawetan lain yang dikenal selama ini. Sifat-sifat sinar gamma, sinar-X atau sinar elektron yang digunakan dalam proses ini mempunyai daya tembus besar, serta merupakan proses yang tidak menimbulkan perubahan suhu pada bahan pangan yang diiradiasi (Maha, 1981). Sifat ini menyebabkan dapat digunakan untuk pengawetan bahan pangan yang telah dikemas dalam bentuk kemasan akhir ataupun bahan yang telah dibekukan, sehingga penggunaannya lebih praktis. Di samping itu, mutu dan kesegaran bahan pangan tidak

berubah karena suhu tetap, dan tidak menimbulkan residu zat kimia pada bahan pangan atau polusi pada lingkungan (Goresline, 1973).

Faktor lain yang mendorong penerapan proses ini adalah bahwa jumlah bahan pangan yang hilang terbuang karena rusak oleh gangguan serangga atau mikroorganisme, masih cukup tinggi di berbagai bagian dunia, di mana rakyatnya masih banyak yang kelaparan dan kurang gizi. Hal ini menunjukkan bahwa cara-cara pengawetan yang telah ada belum mampu untuk mengatasi semua persoalan kerusakan bahan pangan, sehingga masih perlu disempurnakan atau dicari cara baru yang lebih efektif dan sesuai dengan keadaan setempat. Diperkirakan bahwa jumlah bahan pangan yang rusak sehingga tidak dimanfaatkan lagi di negara-negara berkembang berkisar antara 20 sampai 40 %, bahkan dapat mencapai 60 sampai 70 % untuk beberapa produk tertentu pada kondisi tropis (Dezeeuw dikutip oleh Maha, 1981).

Hal lain yang merangsang orang untuk berpaling ke penggunaan iradiasi adalah dengan ditemukannya bukti-bukti bahwa beberapa cara pengawetan yang telah lazim digunakan dapat mengakibatkan gangguan terhadap kesehatan manusia, misalnya penambahan zat kimia sebagai pengawet bahan pangan, fumigasi dan sebagainya. Dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, ternyata bahwa iradiasi mampu untuk memecahkan berbagai persoalan yang bila dengan cara-cara konvensional masih kurang memuaskan hasilnya atau dapat menimbulkan pengaruh sampingan yang merugikan.

Selain dapat meningkatkan daya awet bahan pangan, iradiasi juga mampu mempertahankan mutu dan menjaga higiene atau kebersihan bahan pangan yang berarti ikut membantu memperbaiki kesehatan masyarakat.

Namun, pada dasarnya iradiasi bukan semata-mata ditujukan untuk menggantikan semua proses pengawetan konvensional, tetapi untuk melengkapi atau untuk digunakan secara bersama-sama dengan cara-cara lain yang telah dikenal selama ini. Berbagai aspek dan contoh penggunaan iradiasi yang dikombinasikan dengan cara-cara konvensional untuk pengawetan bahan pangan, misalnya dengan pembekuan, pendinginan, pengalengan dan pengemasan.

Kendati teknologi iradiasi telah dibuktikan memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan cara-cara pengawetan yang lain, namun aplikasi komersial masih dirasa kurang diterima oleh masyarakat. Masalah ini nampaknya membuktikan pendapat Prof. Dr. Emil Mrah, Chancellor Emeritus Universitas Kalifornia, yang pada pembukaan Pertemuan Koordinasi penelitian pengawetan dengan radiasi yang berlangsung di Davis, Kalifornia, Amerika Serikat, mengatakan : “..... adalah hal yang biasa bahwa teknologi baru seperti pengawetan bahan pangan dengan iradiasi, menghadapi proses yang lambat diterima oleh industri makanan”(Anonim, 1983).

Karena itu, tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran tentang penggunaan teknologi iradiasi untuk pengawetan bahan pangan,

yang akan ditinjau dari berbagai aspek, terutama aspek kimiawi, mikrobiologis dan keamanan pangan.

BAB II

PROSES IRADIASI PANGAN

A. Pengertian Umum Radiasi

Radiasi berasal dari sinar yang terdiri dari beberapa panjang gelombang yang sangat pendek sampai gelombang yang sangat panjang (Tabel 1).

Tabel 1. Panjang gelombang energi radiasi

| Klasifikasi | Panjang gelombang (\AA) |
|--|------------------------------------|
| Sinar panjang : | |
| Radio | 1.000.000 |
| Infra merah | 8.000 – 3.000.000 |
| Sinar tampak : merah, jingga, kuning, hijau, biru, violet | 4.000 – 8.000 |
| Sinar pendek : | |
| Ultra violet | 136 – 4.000 |
| Sinar-X | 1.000 – 1.500 |
| Sinar alfa, beta, gamma | 1.000 |

Sumber : Potter (1968).

Radiasi adalah istilah umum yang biasa digunakan untuk semua jenis energi yang dipancarkan tanpa media. Sedangkan iradiasi adalah penggunaan energi untuk penyinaran bahan dengan menggunakan sumber radiasi buatan (Winarno *et al.*, 1980).

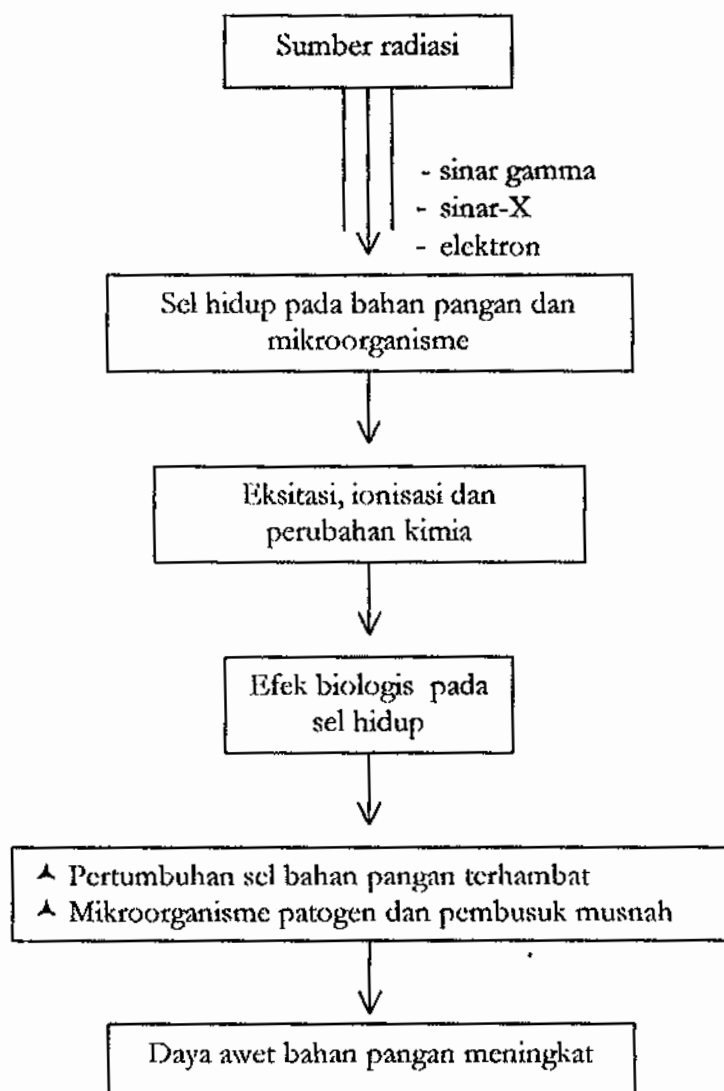
Berdasarkan spektrum elektromagnetiknya, radiasi dibedakan menjadi dua macam yaitu radiasi panas (*heating radiation*) dan radiasi pengion (*ionizing radiation*).

Radiasi panas adalah radiasi yang menggunakan sinar dengan frekuensi yang rendah atau gelombang yang panjang, sedangkan radiasi pengion menggunakan sinar dengan frekuensi yang tinggi atau gelombang yang pendek (Goldblith dikutip oleh Winarno *et al.*, 1980). Contoh-contoh radiasi pengion ialah radiasi sinar ultra violet, radiasi sinar alfa, beta dan gamma. Radiasi sinar gamma inilah yang digunakan untuk pengawetan bahan pangan. Sinar gamma ini adalah radiasi elektroagnetik yang dikeluarkan oleh nukleus unsur-unsur ^{60}Co (kobalt) dan ^{137}Cs (caesium), dan sinar ini memiliki daya tembus yang baik terhadap bahan padat dan biayanya relatif murah (Desrosier, 1969; Anonim, 1983)

B. Prinsip Pengawetan Pangan dengan Iradiasi

Pada proses pengawetan bahan pangan dengan iradiasi digunakan radiasi berenergi tinggi yang dikenal dengan radiasi pengion, karena dapat menimbulkan ionisasi pada materi yang dilaluinya (Maha, 1982). Pada Gambar 1 disajikan prinsip pengawetan bahan pangan dengan iradiasi. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sumber radiasi (sinar gamma, sinar-X dan berkas elektron). Bila hal ini terjadi, maka akan menimbulkan eksitasi, ionisasi dan perubahan kimia.

Eksitasi adalah suatu keadaan di mana sel hidup dalam keadaan peka terhadap pengaruh dari luar. Sedangkan ionisasi adalah proses peruraian senyawa kompleks/ makromolekul menjadi fraksi atau ion radikal bebas. Perubahan kimia adalah perubahan yang 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. Efek inilah yang digunakan sebagai dasar pengawetan bahan pangan dengan iradiasi (Maha, 1982;1985).



Gambar 1. Bagan prinsip pengawetan bahan pangan dengan iradiasi (Maha, 1982)

C. Jenis Iradiasi Pangan

Jenis radiasi yang dapat digunakan untuk pengawetan bahan pangan, adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang di bawah 10 nm. Foton yang dihasilkannya harus mempunyai energi yang cukup tinggi, sehingga sanggup menyebabkan terjadinya ionisasi dan eksitasi pada materi yang dilaluinya. Oleh karena itu jenis radiasi seperti ini, selalu juga dinamakan radiasi pengion, misalnya sinar gamma dan sinar-X (Sofyan, 1984). Suatu persyaratan penting yang harus dipenuhi adalah bahwa radiasi yang digunakan tidak boleh menyebabkan terbentuknya senyawa yang radioaktif pada bahan pangan. Sampai saat ini yang banyak digunakan adalah sinar gamma ^{60}Co dengan energi foton sebesar 1.17 dan 1.33 MeV dan ^{137}Cs dengan energi foton sebesar 0.66 MeV (Swallow, 1977).

Berdasarkan penelitian, FAO dan IAEA (Badan Tenaga Atom Internasional) telah menetapkan bahwa sumber radiasi untuk pengawetan bahan pangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut. Energi maksimum untuk sumber elektron sebesar 10 MeV (FAO/IAEA/WHO, 1981).

D. Penggunaan Iradiasi Pangan

Jenis iradiasi dapat digunakan untuk berbagai tujuan dalam upaya meningkatkan daya simpan, mutu dan menjaga higiene bahan pangan. Berikut ini disajikan beberapa contoh aspek penggunaan iradiasi yang

mempunyai arti penting baik dari segi teknologi maupun kesehatan masyarakat (Loaharanu dan Urbain dikutip oleh Maha, 1981)

1. Memperbaiki mutu bahan pangan

Selain dapat mempengaruhi faktor penyebab kerusakan bahan, iradiasi ternyata dapat juga mempengaruhi struktur molekul bahan pangan yang dalam beberapa hal menguntungkan. Misalnya sayuran kering yang diiradiasi dengan dosis 30 kGy, akan menjadi lebih cepat empuk bila dimasak karena pengaruh iradiasi pada struktur polisakarida yang menentukan konsistensinya. Demikian pula kacang kedelai, akan lebih cepat empuk apabila dimasak setelah iradiasi.

Buah anggur yang diiradiasi dengan dosis 4 – 5 kGy, sari buahnya yang dapat diperas meningkat sebanyak 10 sampai 20%, karena permeabilitas dinding selnya bertambah akibat iradiasi. Pada kacang yang diiradiasi untuk mencegah pertunasan, sintesis khlorofil dan solanin selama penyimpanan akan ikut terhambat. Hal ini menguntungkan, karena pembentukan khlorofil akan menyebabkan lebih tebal kulit yang dibuang pada proses pengupasan, dan solanin merupakan alkaloid yang bersifat racun. Disamping itu, kentang yang diiradiasi bila dibuat keripik hasilnya sangat bersih dan bagus, karena tidak terbentuk lingkaran-lingkaran coklat yang disebabkan oleh gula pereduksi yang pembentukannya sangat aktif pada kentang yang akan bertunas.

2. Memperbaiki higiene bahan pangan

Dalam masyarakat sering dijumpai kasus keracunan makanan yang disebabkan oleh toksin yang dihasilkan oleh mikroba petogen misalnya *Salmonella* yang sering ditemui pada daging, telur, udang, paha kodok dan sebagainya. Cara-cara konvensional belum ada satupun yang mampu untuk menghilangkan *Salmonella* dalam bahan pangan segar secara sempurna. Iradiasi ternyata sangat efektif untuk menghilangkan *Salmonella* baik dalam bahan pangan segar maupun yang telah dibekukan. Cara ini telah banyak digunakan secara komersial di luar negeri.

3. Memberantas serangga perusak bahan pangan

Pada bahan pangan kering yang disimpan, penyebab kerusakan yang utama adalah gangguan serangga. Kerugian karena gangguan serangga sangat tinggi pada padi-padian, biji-bijian dan bahan pangan kering lain, misalnya beras, jagung, berbagai jenis kacang, rempah-rempah, kopi, ikan kering dan tepung terigu.

Untuk mencegah gangguan serangga, biasanya dilakukan fumigasi atau penyemprotan dengan insektisida yang tertinggal pada bahan pangan dapat membahayakan kesehatan konsumen. Lagi pula, serangga dapat menjadi resisten terhadap insektisida tertentu, sehingga daya bunuh insektisida menjadi berkurang. Dengan dosis yang relatif rendah, yaitu antara 0.2 – 0.8 kGy, semua jenis serangga yang biasa ditemukan pada bahan pangan dapat dilumpuhkan daya perusakannya.

4. Menurunkan residu zat kimia pada bahan pangan

Zat kimia tambahan pada bahan pangan umumnya mempunyai pengaruh negatif terhadap kesehatan, bila kadarnya melebihi batas ketentuan, sedang bahan pangan iradiasi telah dapat dibuktikan tidak berbahaya bagi konsumen setelah penelitian yang sangat teliti selama kira-kira 30 tahun. Maka iradiasi telah dianjurkan untuk dipakai sebagai pengganti zat pengawet kimia, baik menggantikan sama sekali ataupun hanya menurunkan jumlah pemakaiannya, sehingga bahayapun menjadi lebih kecil.

5. Perlakuan untuk karantina buah-buahan

Peraturan karantina mengharuskan buah-buahan tropis, didisinfektasi terlebih dahulu sebelum diimpor, karena sering di dalam buah-buahan terdapat larva serangga yang terkurung dalam daging buah atau biji, yang setelah tiba di negara tujuan dapat berkembang dan dapat menjadi salah satu sumber bencana bagi pertanian. Perlakuan karantina yang lazim digunakan adalah buah-buahan dialiri uap panas atau difumigasi sebelum diekspor. Cara demikian seringkali kurang efektif disamping mutu produk menurun akibat kenaikan suhu pada saat fumigasi serta membutuhkan waktu perlakuan yang agak lama.

Dengan iradiasi, prosesnya lebih cepat dan praktis, lebih efektif karena adanya daya tembus lebih besar dan timbul persoalan residu zat kimia.

6. Sterilisasi radiasi untuk pemakaian khusus

Iradiasi dosis tinggi telah digunakan selama bertahun-tahun untuk mensterilkan makanan hewan percobaan pada penelitian dalam bidang kedokteran dan gizi. Makanan yang telah diproses dengan iradiasi, telah ditambahkan pula ke dalam makanan para astronout pada penerbangannya ke bulan dengan Apollo. Roti yang dibawa dalam penerbangan Apollo 12, 13 dan 14, dibuat dari tepung gandum yang telah diiradiasi dengan dosis 0.5 kGy. Kemudian pada penerbangan Apollo 15, 16 dan 17, roti yang dibuat dari tepung gandum diiradiasi 0.5 kGy, diiradiasi lagi dengan dosis 0.5 kGy untuk menghambat pertumbuhan kapang. Pada Apollo 17 roti tersebut dibuat sandwich yang diisi dengan daging babi yang telah diiradiasi dengan dosis sekitar 37 – 43 kGy, supaya awet dalam suhu kamar (Loaharanu dan Urbain dalam Maha, 1981).

E. Dosis Iradiasi

Oleh karena tingkat dan jenis perubahan yang terjadi pada materi akibat iradiasi terutama bergantung pada jumlah energi radiasi yang diserap, maka pada pengawetan bahan pangan dengan iradiasi, salah satu factor yang menentukan adalah dosis iradiasi (Attix, Roesch dan 'l'ochilin, dalam Sofyan, 1984). Agar setiap setiap bahan dapat menerima dosis iradiasi secara tepat, maka dilakukan pengukuran dosis iradiasi dengan menggunakan suatu system dosimeter (pengukur dosis). Salah satu caranya adalah penentuan kimia yang disebut dosimeter kimia yang

berdasarkan atas jumlah perubahan kimia yang terjadi akibat penyerapan energi radiasi. Untuk tujuan pengawetan digunakan sistem dosimeter Fricke (ferro-ferri) dengan harga G antara 15.5 sampai 15.6 (Razzak, Ridwan dan Scarpa, 1980). Harga G adalah banyaknya molekul medium yang berubah ke bentuk lain tiap 100 eV energi radiasi yang terserap. Jumlah ion ferro yang teroksidasi menjadi ion ferri ditentukan dengan spektrofometer. Perbandingan antara dosis iradiasi maksimal (D_{maks}) dengan dosis iradiasi minimal (D_{min}), dinyatakan sebagai keseragaman dosis. Keseragaman dosis lazimnya diusahakan sekitar 1.2 sampai 1.5 (Razzak *et al.*, 1980).

Dosis iradiasi yang terserap dihitung menurut rumus sebagai berikut (Razzak *et al.*, 1980). :

$$D = A \times \frac{60.763725 \times 10^6}{E_{25} [1 + 0.006 (t - 25)]} \times 10^{-2} \text{ Gy (Gray)}$$

dimana:

D = dosis total iradiasi terserap, Gray

A = absorban atau rapat optik larutan dosimeter pada panjang gelombang 305 nm

T = suhu pada saat pengukuran dengan spektrofotometer, °C

E_{25} = koefisien ekstinski polar larutan dosimeter pada suhu 25 °C, yaitu $2120 \text{ l.mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

60.763725×106 = tetapan yang berdasarkan pada perhitungan harga

G Fe^{3+} sebesar 15.5

Beberapa satuan dosis yang digunakan antara lain, electron volt (eV) yaitu energi yang dihasilkan oleh partikel bermuatan yang membawa satuan muatan elektron ketika melintasi beda potensial satu volt ($1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-12} \text{ erg}$). Satuan lain yang banyak digunakan adalah "rad" (*radiation absorbed dose*), yaitu tiap 100 erg energi radiasi yang diserap per gram materi yang diiradiasi. Satuan yang biasa digunakan setelah adanya system Satuan Internasional (SI) adalah "Gray" (Gy), yaitu unit energi radiasi yang terserap sebesar 1 kJ/kg bahan yang setara dengan 100 rad. Untuk mengetahui laju dosis dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Razzak *et al.*, 1980).

$$D^* = \frac{60 \times D}{t} \text{ Gy/jam}$$

di mana,

D^* = laju dosis, Gy/jam

D = total dosis yang terserap, Gy

t = lamanya iradiasi, menit

Dengan jalan mengatur besarnya dosis radiasi, pengaruh kimia/biologi radiasi pada bahan pangan dapat disesuaikan dengan kebutuhan atau tujuan dari penggunaan radiasi. Melalui penelitian yang seksama, maka telah ditetapkan bahwa dosis radiasi yang efektif untuk tujuan pengawetan ataupun perbaikan mutu bahan pangan, adalah sebagai berikut (Tabel 2) (Abdullah, 1963; Anonim, 1970; Maha, 1977).

Tabel 2. Penggunaan dosis radiasi untuk berbagai tujuan pengawetan bahan pangan

| No. | Tujuan pengawetan | Dosis (kGy) |
|-----|---|-------------|
| 1. | Pasteurisasi (radurisasi) | 1 – 5 |
| 2. | Menghilangkan mikroba patogen (radisidasi) | 1 – 10 |
| 3. | Menghilangkan serangga (disinfestasi) | 0.2 – 0.8 |
| 4. | Sterilisasi (radappertisasi) | 10 – 60 |
| 5. | Menunda kematangan pada buah-buahan | 0.10 – 0.12 |
| 6. | Menghambat pertumbuhan tunas pada umbi-umbian | 0.10 – 3.00 |

BAB III

INAKTIVASI BIOLOGIS

A. Mikroba

Dibandingkan dengan cara-cara pengawetan bahan pangan yang lain, ternyata teknologi iradiasi memiliki beberapa keunggulan, terutama dari aspek mikrobiologisnya. Keunggulan yang dapat dilihat dari aspek mikrobiologis, antara lain dapat dilihat di bawah ini.

Radiasi dapat membunuh bakteri patogen dalam bahan pangan. Dosis sebesar 2 kGy, telah dapat memusnahkan sebagian besar *Vibrio parahaemolyticus*, *Salmonella*, dan *Staphylococcus aureus*, termasuk sel vegetatif *Clostridium botulinum* tipe E (Matsuyama, 1973).

Bakteri pembusuk yang psikrofilik yaitu jenis bakteri yang tahan hidup pada suhu rendah, seperti *Pseudomonas*, juga peka terhadap iradiasi. Hal ini sangat menguntungkan karena bakteri dari jenis ini merupakan penyebab utama mundurnya mutu bahan pangan, terutama daging dan ikan yang disimpan dalam almari pendingin (Sofyan, 1984).

Berbagai penelitian pengawetan dengan iradiasi terhadap aspek mikrobiologis telah banyak dilakukan. Untuk udang misalnya, Martojudo (1971) telah meneliti pengaruh sinar gamma terhadap daya simpan udang jenis *Panaeus sp.* segar. Dilaporkan bahwa dengan dosis iradiasi sebesar 2.5 kGy, ternyata dapat memperpanjang kesegaran udang sampai 23 hari

dengan jumlah mikroba sekitar batas kesegaran yaitu $1 - 3 \times 10^8$ sel/g udang. Hasil penelitian lain yang dilakukan di luar negeri oleh Kumta (1970), menyatakan bahwa dosis 1.5 kGy merupakan dosis yang optimal untuk radiasi pasteurisasi udang. Udang segar yang diiradiasi dengan dosis sebesar 1.5 kGy ternyata tahan selama 2 minggu, dengan dosis 2.5 kGy udang dapat tahan selama 3 minggu selama penyimpanan pada suhu $10 - 12^\circ\text{C}$. Dosis sebesar 1.5 kGy dapat memperpanjang kesegaran udang sampai 3 minggu, sebesar 2.5 kGy dapat memperpanjang kesegaran udang sampai 4 minggu, dan dosis sebesar 5 kGy menyebabkan udang tahan sampai 8 minggu pada suhu $2 - 14^\circ\text{C}$.

Penelitian yang dilakukan terhadap ikan, menunjukkan bahwa iradiasi dengan dosis sebesar 2.2 kGy, telah menghambat pertumbuhan *Vibrio parahaemolyticus* dan mikroba lainnya yang patogen, serta menjadikan bahan pangan tidak menguntungkan untuk pertumbuhan *Clostridium botulinum* (FAO/WHO/IAEA, 1981). Penyimpanan selanjutnya pada suhu rendah dapat menghambat pertumbuhan *Clostridium botulinum* (Matsuyama, 1973).

Pada daging ayam juga telah dilakukan suatu penelitian penggunaan teknologi iradiasi untuk pengawetan. Pada penelitian tersebut, taraf dosis yang digunakan cukup bervariasi. Grau, Macfarlane dan Eustace (1983) menyebutkan bahwa proses radurisasi ($1 - 10$ kGy) mempunyai potensi untuk memperpanjang usia simpan daging ayam segar dengan membatasi

pertumbuhan mikroorganisme pembusuk tanpa menimbulkan perubahan yang tidak diinginkan. Menurut Mulder (1983), bahwa dosis 2 sampai 9 kGy mampu memberi pengaruh yang bermanfaat, tetapi dosis di atas 5 kGy untuk daging ayam dapat menimbulkan perubahan aroma dan rasa yang tidak diinginkan. Beberapa mikroba pada daging seperti *Campylobacter jejuni* dan *Staphylococcus aureus*, sangat sensitif terhadap iradiasi.

Penelitian aspek mikrobiologis akibat iradiasi telah dilakukan terhadap beberapa jenis makanan tradisional di Indonesia oleh Siagian *et al.* (1983). Beberapa sampel yang diiradiasi antara lain abon dari berbagai merek, dendeng, ikan asin, telur asin dan bandeng. Dari hasil penelitiannya, dilaporkan bahwa ternyata dosis iradiasi mampu menurunkan kandungan jumlah mikroba dari berbagai jenis bahan pangan tradisional tersebut.

B. Parasit

Iradiasi dapat juga membunuh parasit yang sering terdapat pada daging, seperti cacing pita, cacing daging dan lain-lain yang dapat menimbulkan penyakit. Untuk membunuh langsung parasit tersebut, dibutuhkan dosis lebih besar dari 3 kGy. Tetapi perlakuan dengan dosis 3 kGy yang diikuti dengan penyimpanan pada suhu rendah (sekitar 2 °C)

selama 7 hari, dapat membunuh krista parasit dalam daging sapi (Maha, 1981).

Parasit yang terdapat dalam daging segar seperti *Taenia saginata* pada daging sapi, dapat dimusnahkan dengan menggunakan radiasi pada dosis yang cukup rendah (Goresline, 1973). *Trichinella spiralis* pada daging babi juga dapat dimusnahkan hanya dengan dosis 0.2 kGy (Gibbs *et al.*, dikutip oleh Sofyan, 1984).

C. Serangga

Pada bahan pangan kering yang disimpan, penyebab keusakan yang utama adalah gangguan serangga. Kerugian karena gangguan serangga sangat tinggi pada padi-padian dan biji-bijian, serta bahan pangan kering lain, misalnya beras, jagung, berbagai jenis kacang, rempah-rempah, kopi, ikan kering dan tepung terigu.

Untuk mencegah gangguan serangga, biasanya dilakukan dengan fumigasi atau penyemprotan dengan insektisida. Tetapi cara-cara demikian mempunyai kemampuan yang terbatas, karena daya tembusnya terbatas pula. Selain itu, residu insektisida yang tertinggal pada bahan pangan dapat membahayakan kesehatan konsumen. Demikian pula, serangga menjadi resisten terhadap insektisida jenis tertentu, sehingga jenis serangga yang biasa ditemukan pada bahan pangan dapat dilumpuhkan daya perusakanya (Maha, 1981).

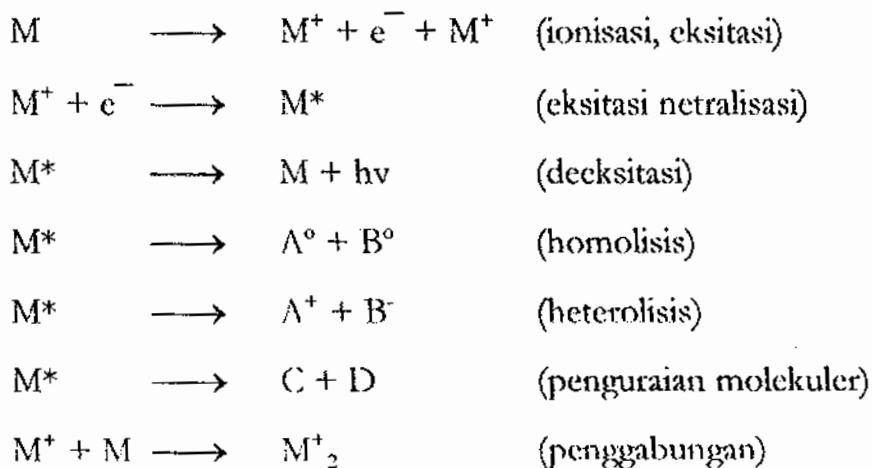
BAB IV

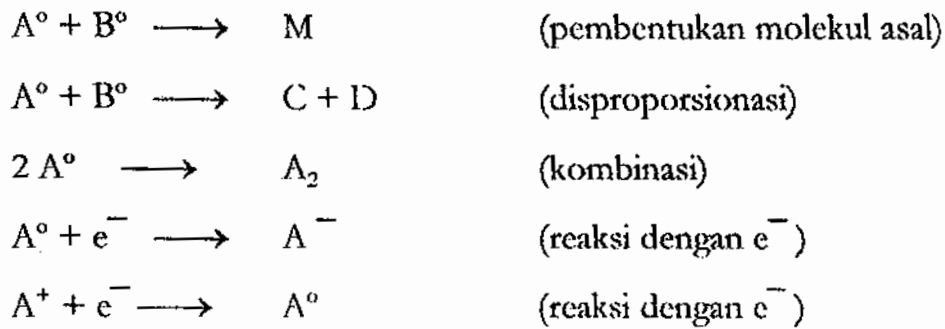
PERUBAHAN KIMIAWI

BAHAN PANGAN IRADIASI

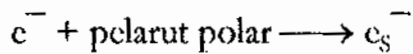
A. Reaksi Kimiawi Akibat Iradiasi

Perubahan kimiawi akibat iradiasi pada suatu bahan pangan, diawali dengan terjadinya proses antaraksi dengan bahan (Swallow, 1977). Pada antaraksi ini, sejumlah energi radiasi akan diserap. Jumlah energi radiasi yang diserap setiap satuan panjang jejak radiasi dalam bahan disebut pemindahan energi linier (*linear energy transfer, LET*), yang besarnya bergantung pada jenis dan energi radiasi serta komposisi bahan (Swallow, 1977). Akibat penyerapan energi radiasi tadi, maka terjadi berbagai peristiwa yang menyebabkan molekul bahan tereksitasi dan terionisasi, yang kemudian dapat berantaraksi sesamanya, berlangsung antara 10^{-11} sampai 10^{-10} detik, dan reaksinya digambarkan sebagai berikut.





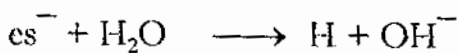
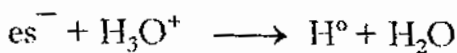
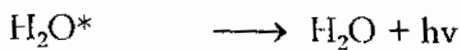
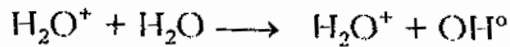
Spesi yang cukup stabil yang terbentuk sepanjang jejak radiasi yang dilaluinya berdifusi keluar dari jejak sinar, kemudian “spesi pertama” ini mengadakan berbagai reaksi dengan molekul lain, sedang e^- yang berdifusi akan diperlambat dan mengalami solvasi dalam pelarut polar :



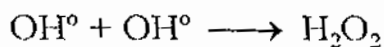
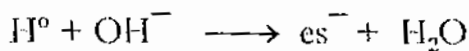
Bila radiasi menembus suatu sistem, maka dalam kurang dari satu detik sesudah reaksi, spesi yang stabil sudah mengurai dan spesi yang sangat reaktif sudah selesai bereaksi. Pada saat ini kesetimbangan kimia telah tercapai. Ada pula spesi tertentu yang masih bereaksi atau terurai secara lambat dan menghasilkan produk pasca iradiasi. Misalnya peroksida yang terbentuk bila sistem yang diiradiasi mengandung oksigen.

Ditinjau dari struktur kimianya, bahan pangan sangat kompleks, namun pada dasarnya komponen utamanya ialah air, protein, lipida dan karbohidrat. Selain itu, terdapat pula berbagai senyawa lain misalnya vitamin, mineral dan sebagainya, dalam jumlah yang relatif kecil. Oleh sebab itu dengan meninjau pengaruh kimia radiasi pada protein, lipida

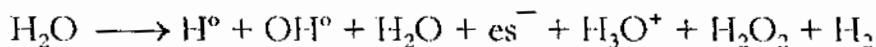
Molekul air yang tereksitasi dan terionisasi, melalui berbagai proses pemindahan energi dan muatan membentuk lagi pasangan ion yang baru dan radikal, sebagai berikut :



Radikal yang terbentuk dapat bergabung sesamanya atau berdifusi ke seluruh larutan. Jika bergabung, maka reaksi yang mungkin terjadi akan memberikan hasil molekul sebagai berikut :

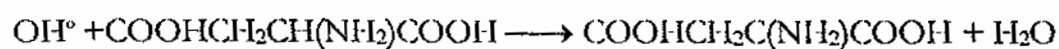
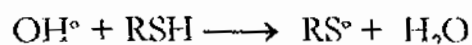


Jadi reaksi penguraian air oleh sinar gamma adalah :

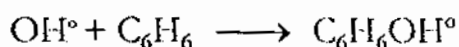


Radikal hidroksil mempunyai daya oksidasi yang cukup kuat, sehingga sanggup mengoksidasi ion-ion tertentu seperti ferro menjadi feri.

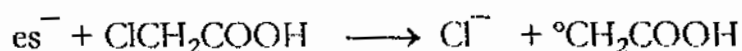
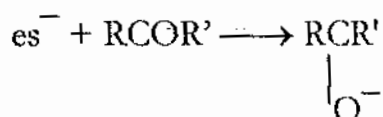
Radikal OH ini antara lain dapat menarik atom H dari ikatan S-H senyawa tiol serta C-H senyawa alifatik seperti alkohol, asam karboksilat, ester, karbohidrat, aldehyd dan asam amino (Swallow, 1977).



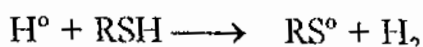
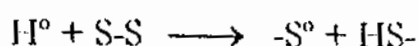
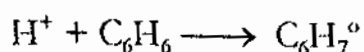
Radikal OH dapat pula bereaksi dengan senyawa aromatik :



Elektron yang tersolvasi bereaksi cepat dengan molekul yang mempunyai orbital elektron π seperti senyawa aromatik, asam karboksilat, aldehyd, keton, tiol dan disulfida menghasilkan radikal anion. Selain itu, dapat pula menyerang ikatan yang relatif lemah dalam molekul, sehingga terjadi disosiasi. Proses tersebut dapat digambarkan sebagai berikut (Swallow, 1977).

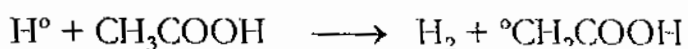
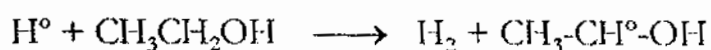


Radikal atom hidrogen yang terbentuk pada radiolisis air, pada umumnya relatif sedikit (Swallow, 1977). Radikal H ini dapat bereaksi dengan senyawa aromatik, masuk dalam gugus disulfida serta dapat pula bereaksi dengan asam amino yang mengandung senyawa tiol.



Radikal atom hidrogen akan berinteraksi dengan molekul melalui tiga tipe reaksi, yaitu reaksi abstraksi, reaksi adisi, dan reaksi transfer elektron.

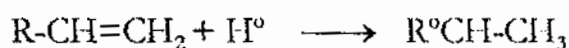
Contoh reaksi abstraksi dengan senyawa organik, misalnya etanol dan asam asetat :



Reaksi adisi terjadi antara radikal hidrogen dengan senyawa aromatik, misalnya benzen, dan senyawa alifatik tidak jenuh.



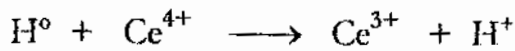
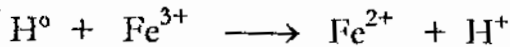
benzen



alifatik tidak jenuh

Radikal-radikal ini merupakan pemula dalam pembentukan senyawa polimer.

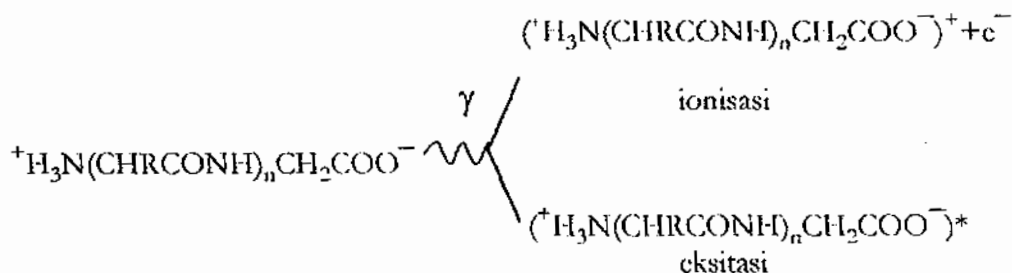
Pada reaksi transfer elektron, adanya ion-ion logam dalam medium dapat terjadi transfer elektron dari radikal hidroksil ke ion bersangkutan :

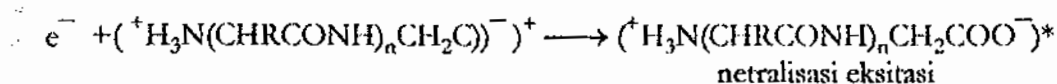
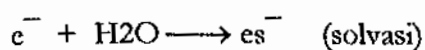


C. Perubahan Kimiawi Protein

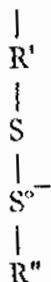
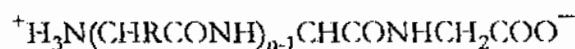
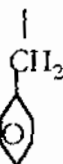
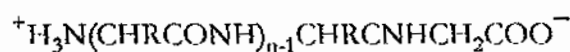
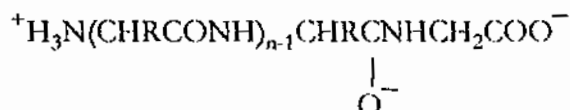
Protein dalam bahan pangan terdiri dari berbagai asam amino yang mengandung senyawa tiol, serta asam amino aromatik dan alifatik. Pengaruh iradiasi terhadap perubahan komponen protein pangan bergantung pada jenis iradiasi yang digunakan, lingkungannya, dan sifat protein itu sendiri. Penggunaan sinar ultra violet dapat menyebabkan terjadinya perubahan konformasi protein. Ini disebabkan karena sinar ultra violet diserap oleh residu asam amino aromatik (triptofan, tirosin, dan fenilalanin). Bila energi ultra violet tinggi, ikatan silang disulfida akan putus, akibatnya protein akan mengalami denaturasi (Pennema, 1985).

Molekul protein secara sederhana dapat digambarkan dengan rumus ${}^+H_3N(CH_2RCONH)_nCH_2COO^-$. Reaksi yang mungkin terjadi serta produk yang dapat terbentuk akibat iradiasi protein, oleh Taub *et al.*, (1979) dan Taub (1983) dijelaskan sebagai berikut.

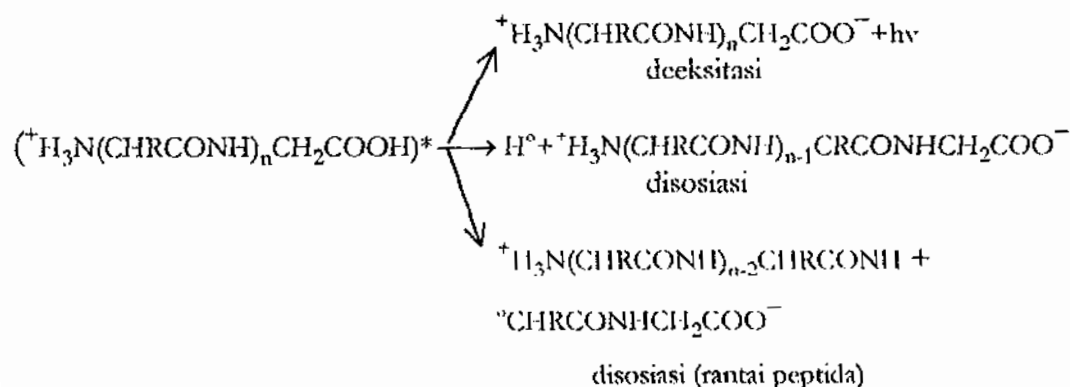


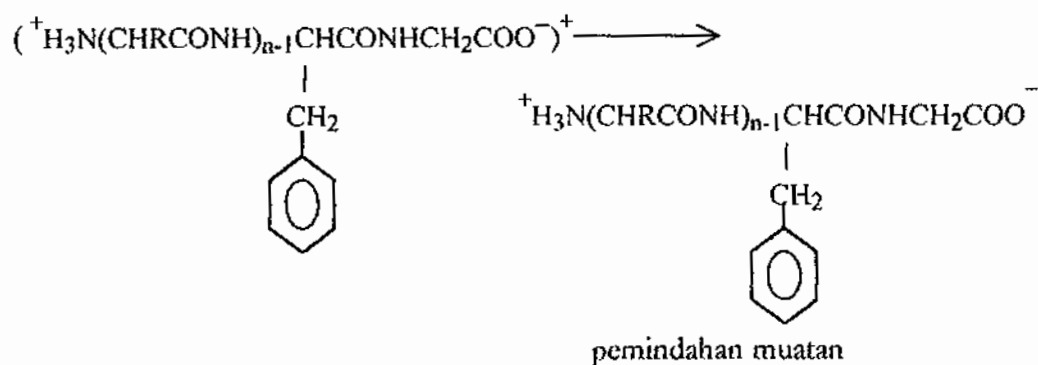
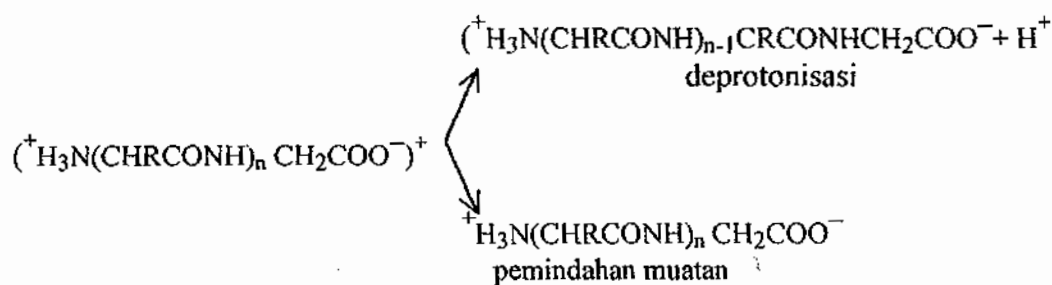
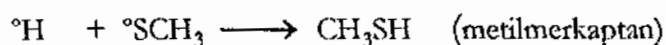
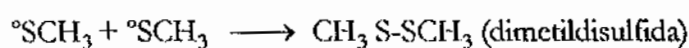
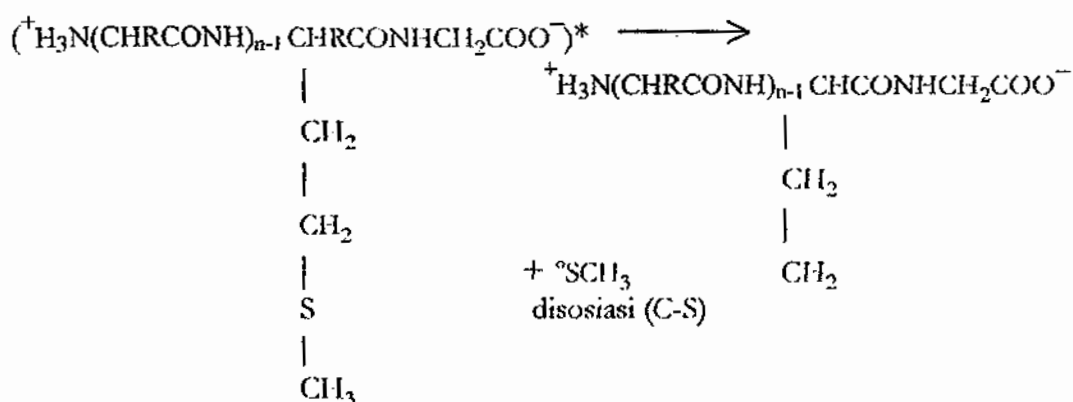


Elektron bergabung dengan gugus karbonil, cincin aromatik dan gugus disulfida, sehingga terbentuk :



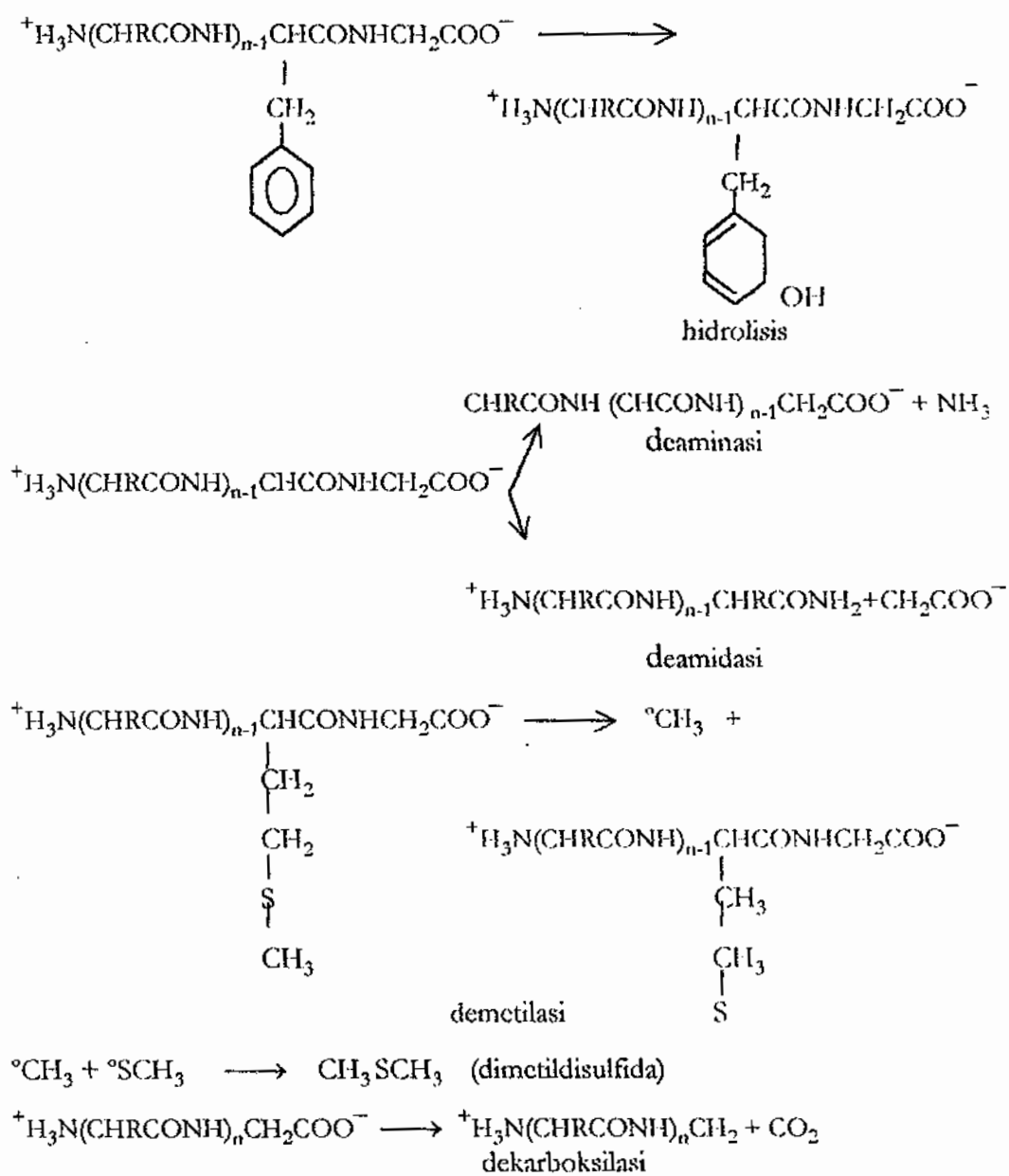
Protein yang tereksitasi dan terionisasi mengalami penguraian :



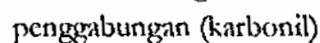
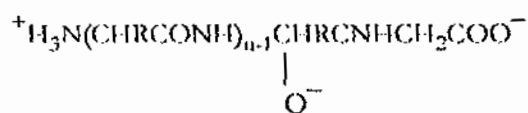
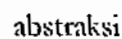
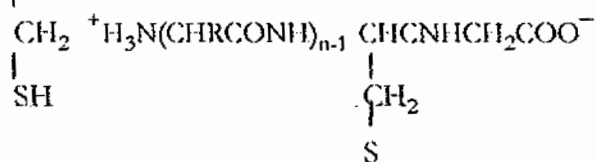
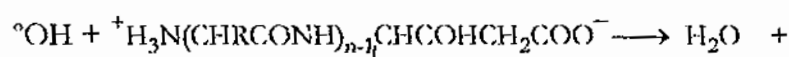
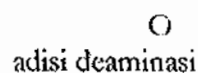
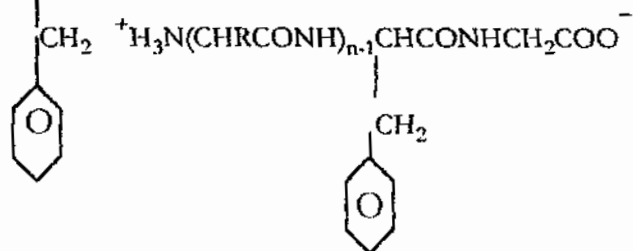
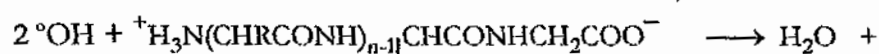
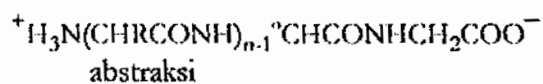
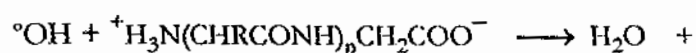


Pada peristiwa berikutnya berbagai reaksi yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut.

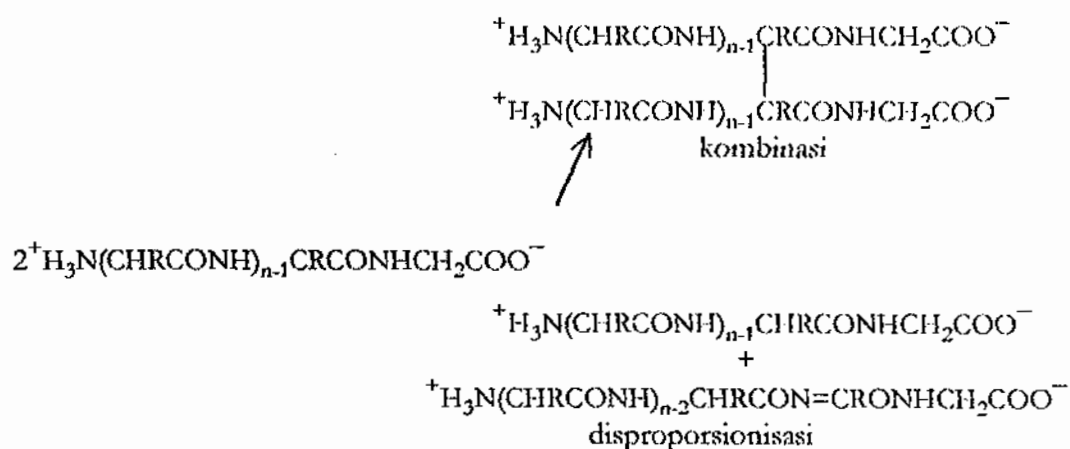




Menurut Simic (1983), OH^\bullet dan $\text{e}^{\bullet-}$ hasil radiolisis air sangat reaktif terhadap peptida dan asam amino.



Radikal yang terbentuk mengalami penggabungan.



Dari rangkaian reaksi yang terjadi, terlihat bahwa akibat iradiasi di samping terbentuk berbagai radikal, protein dapat pula mengalami deaminasi, deamidasi, dekarboksilasi, oksidasi gugus S-H, reduksi gugus S-S, perubahan rantai samping asam amino serta penambahan/pengurangan rantai peptida. Peristiwa ini diikuti dengan berubahnya sifat protein misalnya sifat biologi, biokimia, dan sifat fisikokimia. Pada radiolisis protein juga terbentuk berbagai senyawa yang dapat mempengaruhi sifat organoleptik bahan pangan, yaitu NH_3 , H_2S , metilmerkaptan, dimetildisulfida dan metilsulfida.

Terhadap asam-asam amino, pengaruh iradiasi telah dipelajari pula. Proctar dan Goldblith (1955) melaporkan bahwa ada beberapa asam amino dalam ikan di daerah Atlantik (Haddock), jumlahnya berubah pada iradiasi sinar katoda dengan dosis 5.700.000 rep. Fenilalanin, triptofan, lisin, dan treonin, berkurang masing-masing 6.10 %, 6.92%, 4.85%, 4.23%, dan 5,95%. Tetapi sistin jumlahnya tidak berubah, sedangkan

valin, leusin, histidin dan arginin jumlahnya bertambah masing-masing sebesar 6.36%, 2.74%, 8.11%, dan 4.12%. Keadaan ini menunjukkan bahwa terdapat kemungkinan adanya konversi asam amino yang satu menjadi asam amino lainnya akibat iradiasi.

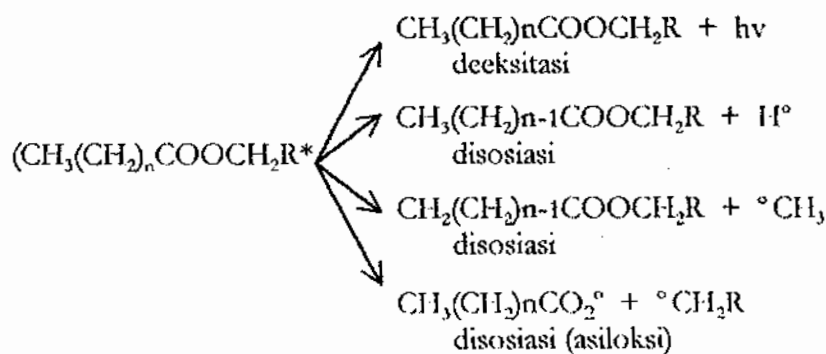
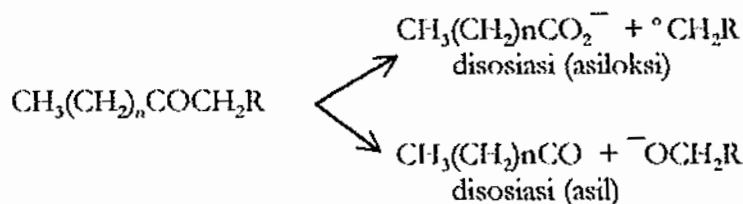
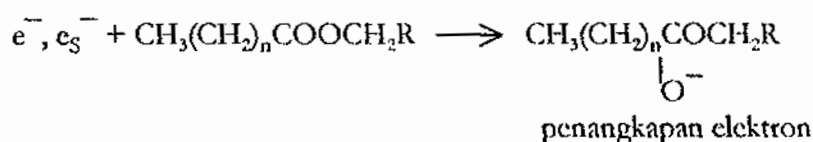
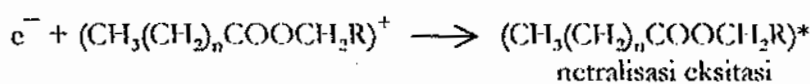
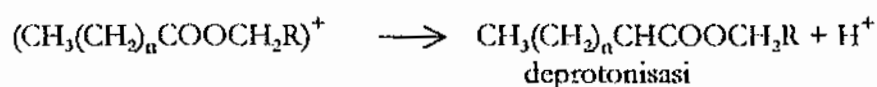
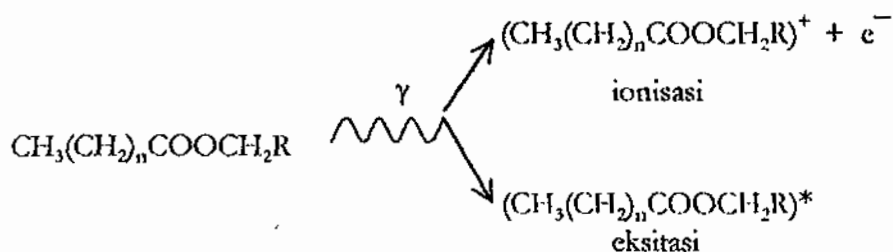
Johnson dan Moser (dalam Fennema, 1976) telah mempelajari pengaruh dosis iradiasi sinar gamma terhadap perubahan asam amino daging sapi. Dosis yang digunakan sebesar 2 hingga 50 Mrad. Ia berpendapat bahwa asam-asam amino sistin sangat sensitif terhadap iradiasi, menyusul triptofan dan histidin. Pada dosis 50 Mrad, sekitar 50% sistin, 10% triptofan yang rusak.

Pada gandum, Rao et al. (1978) melaporkan bahwa asam amino tidak mengalami perubahan yang nyata pada iradiasi sinar gamma dengan dosis 0.02 sampai 1.0 Mrad. Histidin pada dosis 0.02 Mrad menurun sebesar 4.5%, tetapi naik sebesar 4.5% pada dosis 0.2 Mrad, kemudian menurun lagi sebesar 4.5% pada dosis 1.0 Mrad.

D. Perubahan Kimiawi Lipida

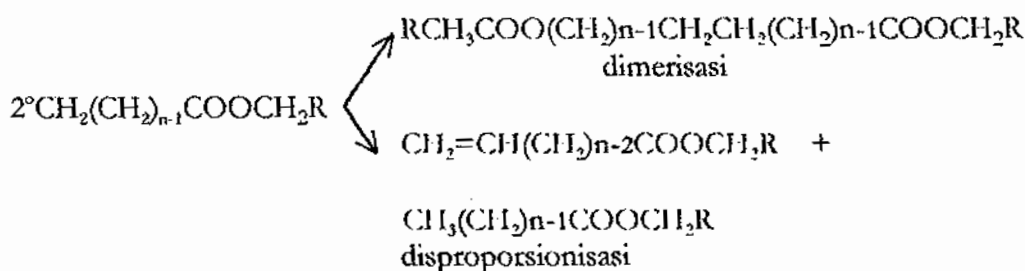
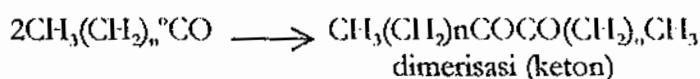
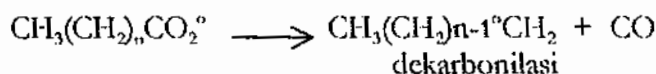
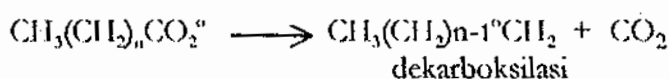
Efek kimia radiasi pada lipida bahan pangan hewani maupun nabati, dapat dipelajari melalui perubahan yang terjadi pada lipida jenuh dan tidak jenuh (Nawar, 1978). Dilihat dari struktur molekulnya, bagian yang peka terhadap iradiasi dari senyawa ini adalah gugus karbonil serta ikatan ester. Secara sederhana rumus kimia lipida jenuh dapat dinyatakan sebagai $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COORCH}_2$. Dalam rumus ini, R dapat berupa atom

hidrogen atau bagian dari gliserol untuk mono- dan trigliserida. Akibat iradiasi, senyawa ester ini akan terionisasi dan tereksitasi membentuk berbagai radikal dan molekul yang tereksitasi.



Ikatan C-H alfa gugus karbonil merupakan ikatan terlemah di mana deprotonisasi dapat terjadi. Seperti pada protein, di sini elektron juga dapat menyerang gugus karbonil membentuk radikal anion, yang selanjutnya terdisosiasi membentuk radikal asil dan alkil serta ion alkohol dan karboksilat. Demikian pula molekul yang tereksitasi, terdisosiasi dengan berbagai cara bergantung pada energi aksitasinya, sehingga terbentuk radikal baru, antara lain radikal atom hidrogen, radikal alkil serta radikal asiloksi.

Pada peristiwa selanjutnya, radikal yang terbentuk dapat terpecah, terdisproporsionisasi, bergabung dengan molekul asal atau mengalami penggabungan sesamanya, antara lain melalui reaksi sebagai berikut.



Jadi berbagai senyawa yang mungkin terbentuk pada radiolisis liida jenuh adalah CO_2 , CO , H_2 , hidrokarbon jenuh diketon, serta berbagai senyawa karbonil yang lain. Selain itu, terjadi pemanjangan rantai C,

sehingga terbentuk lipida dengan bobot molekul yang lebih besar. Lipida tidak jenuh dapat pula terbentuk melalui reaksi disproporsionisasi radikal.

Karena pada *lipida tidak jenuh* terdapat ikatan rangkap, maka reaksi radiolisis yang terjadi sedikit berbeda. Pada lipida tidak jenuh ikatan terlemah di dalam molekul selain ikatan C-H alfa gugus karbonil, juga ikatan C-H alfa gugus olifenik. Oleh karena itu, deprotonisasi radikal kation dapat terjadi secara kompetisi di kedua tempat tersebut. Demikian pula dengan molekul tereksitasi, disosiasi radikal sama seperti yang terjadi pada lipida jenuh, hanya di sini pemutusan ikatan dapat pula terjadi pada ikatan C-H alfa olifenik. Selain itu ikatan rangkap juga dapat bergabung dengan radikal atom hidrogen sehingga di tempat tersebut terjadi reaksi adisi. Jadi mudah dimengerti bahwa pada radiolisis lipida tidak jenuh, walaupun jenis produk yang terbentuk sama dengan hasil radiolisis lipida jenuh, namun macamnya lebih bervariasi. Senyawa yang mungkin terbentuk pada radiolisis lipida tidak jenuh adalah CO_2 , CO , H_2 , hidrokarbon tidak jenuh, diketon, dan berbagai senyawa karbonil yang lain, misalnya lipida jenuh dan tidak jenuh dengan bobot molekul yang lebih kecil atau lebih besar daripada molekul asalnya.

Senyawa-senyawa yang dapat diidentifikasi dari berbagai sumber lipida yang diiradiasi dengan dosis antara 5 – 60 kGy, menurut Nawar (1985) disajikan pada Tabel 3.

E. Perubahan Kimiawi Karbohidrat

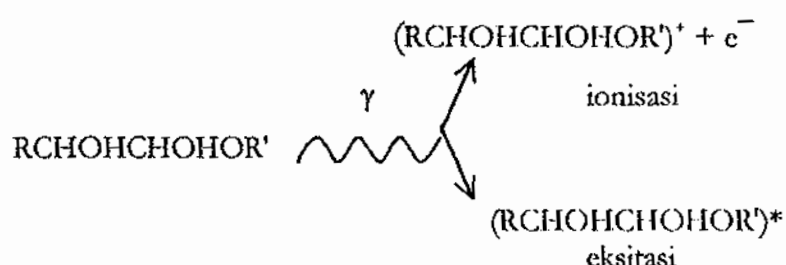
Karbohidrat yang terdapat dalam bahan pangan, walaupun dalam bentuk berlainan, mulai dari gula sederhana sampai ke bentuk polisakarida yang kompleks, namun dapat diperkirakan bahwa terdapat persamaan dalam reaksi radiolisis yang terjadi.

Tabel 3. Komponen senyawa hasil iradiasi lipida

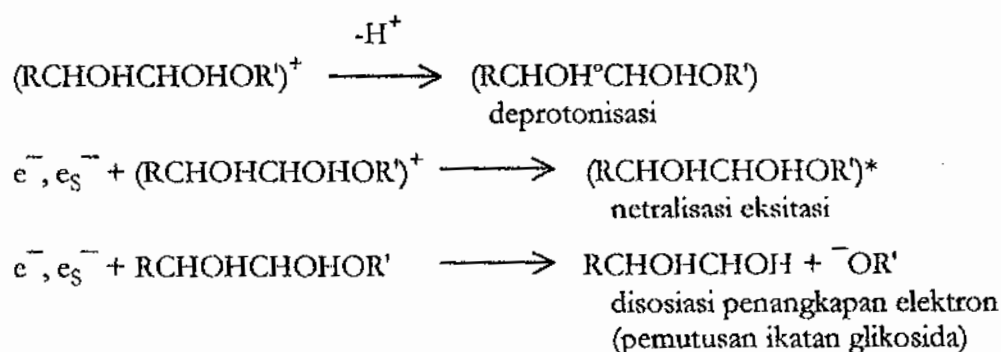
| No. | Nama Senyawa |
|-----|--------------------------------|
| 1. | n-alkana |
| 2. | 1-alkana |
| 3. | alkadiena |
| 4. | alkuna |
| 5. | aldehide |
| 6. | keton |
| 7. | asam lemak |
| 8. | lakton |
| 9. | monoasil gliserol |
| 10. | diasil gliserol |
| 11. | metil dan etil gliserol |
| 12. | triasil gliserol |
| 13. | propana dan propane diol ester |
| 14. | estanadiol diester |
| 15. | oksopropanadiol diester |
| 16. | gliseril eter diester |
| 17. | hidrokarbon rantai panjang |
| 18. | alkil ester rantai panjang |
| 19. | dimmer |
| 20. | trimer |
| 21. | keton rantai panjang |

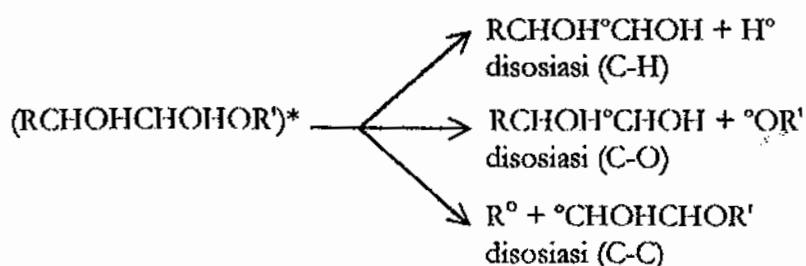
Sumber : Nawar (1985)

Hal tersebut disebabkan oleh adanya keseragaman dalam gugus hidroksil serta ikatan ester (glikosida) yang terdapat pada struktur molekulnya (Simic, 1983). Untuk menggambarkan perubahan yang terjadi akibat iradiasi, karbohidrat dapat dinyatakan dengan rumus $RCHOHCHOHOR'$. Reaksi radiolisis yang terjadi sama halnya seperti pada protein dan lipida, mula-mula terjadi eksitasi dan ionisasi serta pembentukan berbagai radikal melalui reaksi sebagai berikut (Simic, 1983).

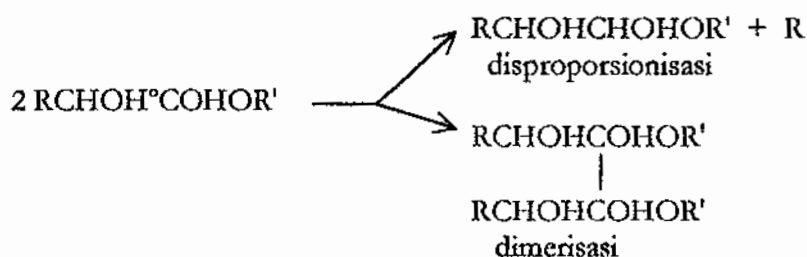
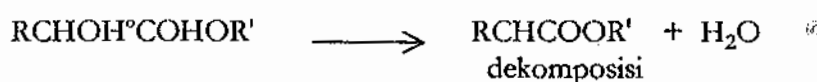
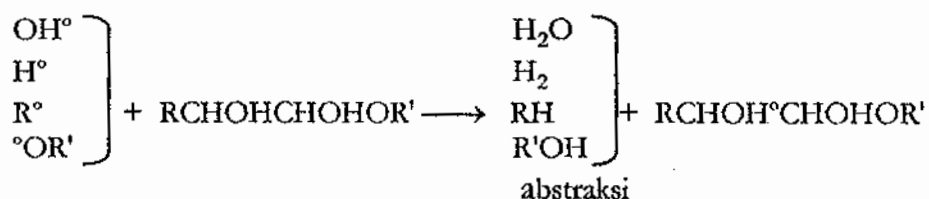


Radikal kation yang terbentuk dapat terdeprotonisasi atau ternetralisasi kembali. Elektron selain menetralkan radikal kation atau tersolvasi, dapat pula bereaksi dengan ikatan ester sehingga terjadi disosiasi, membentuk ion alkaloid dan radikal alkil. Sedang molekul yang tereksitasi dapat mengalami disosiasi pada ikatan C-H, C-O, atau C-C.





Selanjutnya reaksi radikal sekunder yang terjadi antara lain :



Jadi berbagai senyawa yang terbentuk pada radiolisis karbohidrat antara lain adalah molekul hidrogen, senyawa hidrokarbon, alkohol, ester serta berbagai senyawa karbonil yang lain.

Di dalam aplikasinya, telah dilakukan penelitian perubahan karbohidrat bahan pangan akibat iradiasi. Penelitian Galeria misalnya, dilaporkan bahwa iradiasi dengan dosis 1 Mrad terhadap juice apel dalam kondisi terbuka akan mendegradasi D-glukosa sehingga terbentuk asam

glukonat, glukoronat, dan glikonat. Phillips *et al.* (dalam Anonim., 1978) melaporkan, bahwa jika larutan D-glukosa mengandung oksigen diiradiasi, akan terdegradasi menghasilkan asam sakarat, formaldehid, glioksal, dehidroksi aseton, arabinosa, dan eritrosa. Selanjutnya Phillips menemukan asam uronat yang dihasilkan akibat larutan gula yang diiradiasi dengan dosis tinggi.

Jika larutan pati dalam air dikenakan iradiasi dengan dosis 1.5×10^6 rad, maka akan terjadi dipolimerisasi dan degradasi yang menghasilkan maltotetraosa. Pada tingkat ini kira-kira 40% pati akan dipecah. Seperti pati, larutan pektin pun juga akan dipecah. Dengan menaikkan penyerapan rad, maka kelarutan selulosa meningkat (Pablo *et al.*, 1975).

Pengaruh iradiasi terhadap karbohidrat yang telah dipelajari oleh Wasito (1982) dijelaskan sebagai berikut. Iradiasi terhadap glukosa dan fruktosa menunjukkan bahwa oksidasi terhadap larutan gula sederhana terjadi pemecahan rantai karbon dan akhirnya membentuk asam dan formaldehid.

Iradiasi terhadap maltosa, sukrosa, laktosa dan rafinosa menunjukkan bahwa pemecahan oligosakarida terjadi pada jembatan oksigen. Hal ini ditunjukkan dengan bertambahnya reduksi serta terbentuk glukosa dan fruktosa bebas. Sedang iradiasi pada larutan pati, menunjukkan turunnya viskositas larutan dan bertambahnya daya reduksi senyawa-senyawa yang didapat pada radiolisis pati, misalnya glukosa, maltosa, dekstrin dan asam glukonat.

Cornwell yang dikutip oleh Danusupadmo (1982) menjelaskan bahwa perubahan zat gizi karbohidrat pada bahan pangan tidak berubah oleh iradiasi yang diberikan dalam dosis tinggi, perubahan terjadi bila dalam bentuk larutan encer.

F. Perubahan Kimiawi Vitamin

Perubahan kimiawi radiasi vitamin sampai sejauh ini belum banyak dilakukan oleh para peneliti, karena vitamin ini sangat peka terhadap dosis iradiasi. Semua vitamin baik yang larut dalam air atau yang larut dalam lemak, peka terhadap iradiasi. Kepekaannya tergantung pada jenis bahan pangan, dosis iradiasi, suhu dan senyawa-senyawa yang ada di sekitarnya. Vitamin B dan asam nikotinat agak tahan terhadap radiasi dibanding dengan tiamin.

Pengaruh iradiasi terhadap perubahan vitamin A dan vitamin D telah dipelajari oleh Hilmy (1989). Ia melaporkan bahwa dosis iradiasi sebesar 10 kGy dan penyimpanan dua bulan menurunkan kadar vitamin tersebut sampai 40%. Peruraian kedua vitamin tersebut karena mengandung banyak ikatan rangkap yang sangat sensitif terhadap iradiasi.

Pada vitamin C, nilai total vitamin menurun secara nyata dengan bertambahnya dosis iradiasi (Purwanto dan Maha, 1986) sedang pada kombinasi perlakuan panas dengan iradiasi hampir tidak mengalami perubahan. Purwanto dan Maha (1986) menyebutkan bahwa asam

askorbat merupakan unsur vitamin C yang paling peka terhadap iradiasi. Hal yang sama terjadi pada mangga yang ditelitinya, karena total vitamin C menurun dengan dosis iradiasi yang bertambah, demikian pula pH menurun dengan bertambahnya dosis iradiasi. Hal ini mungkin disebabkan adanya pemecahan ikatan rantai makromolekul tertentu menjadi molekul asam organik akibat iradiasi.

Vitamin B kompleks dalam gandum sedikit sekali terpengaruh oleh iradiasi dengan dosis 0.2 kGy, meskipun dosis ini menurunkan sedikit asam nikotinat dan asam pantotenatnya. Peneliti Rusia yang dikutip Cornwell menemukan bahwa tiamin (vitamin B₁) hilang 10% dan dengan dosis 1.5 kGy berkurang 65%, akan tetapi para peneliti lain menyatakan bahwa pada *pearl barley* dengan dosis 0.5 kGy dapat ditingkatkan kandungan tiaminnya (Cornwell dalam Danusupadmo, 1982).

Pengaruh iradiasi pangan terhadap vitamin E telah dilaporkan oleh Candrawati et al. (1989), dengan bahan yang diteliti minyak kacang tanah, vitamin E, asetat dan campuran keduanya. Ketiga jenis contoh tersebut diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 0, 10, 20, dan 30 kGy, serta disimpan selama 0, 1, 2, dan 3 bulan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lama penyimpanan memberi pengaruh pada bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan stabilitas vitamin E. Iradiasi hingga 30 kGy menyebabkan kadar vitamin turun 3.5% dan disimpan selama 3 bulan kadarnya turun 4%. Vitamin E dalam minyak lebih tahan terhadap iradiasi jika dibandingkan dengan daya tahan vitamin E murni.

Hasil pengamatan lainnya menunjukkan bahwa pengaruh iradiasi dan penyimpanan pada kadar vitamin E yang ditambahkan sebanyak 5% ke dalam minyak iradiasi lebih rendah daripada peruraian vitamin E murni. Hal ini mungkin karena minyak goreng bersifat sebagai pelindung vitamin E.

BAB V

ASPEK KEAMANAN PANGAN IRADIASI

A. Aspek Keamanan

Keamanan pangan iradiasi merupakan faktor terpenting sebelum menganjurkan penggunaan proses iradiasi secara luas. Untuk proses pengawetan dengan iradiasi telah ditetapkan batas maksimal energi sumber radiasi yang dapat dipakai, yaitu 5 MeV untuk sumber radiasi sinar gamma dan sinar-X, dan 10 MeV untuk berkas elektron (FAO/WHO/IAEA, 1981). Batas ini diambil karena radioaktivitas imbas baru mungkin timbul pada atom-atom bahan yang diiradiasi, bila menggunakan sumber dengan elektron lebih tinggi, karena ternyata pada penggunaan mesin pembangkit elektron, radioaktivitas imbas yang timbul pada energi di bawah 16 MeV sangat sedikit jumlahnya dan umurnya sangat pendek, sehingga dapat diabaikan (FAO/WHO/IAEA, 1981).

Sinar gamma dari ^{60}Co mempunyai energi maksimal sebesar 1.33 MeV, sedang dari ^{137}Cs 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 oleh fasilitas yang melakukan iradiasi.

Hal ini terbukti misalnya pada dinding atau benda lain yang terdapat di dalam ruangan yang terus menerus memperoleh radiasi, tetapi tidak pernah berubah menjadi radioaktif (Maha, 1988).

Kemungkinan adanya residu zat radioaktif yang berasal dari sumber radiasi pada bahan pangan yang diiradiasi, juga tidak ada, karena radionuklida sumber iradiasi tersimpan rapat dalam kapsul logam berlapis dua. Radiasi yang dipancarkan dari sumbernya adalah suatu bentuk energi, bukan benda. Iradiasi dapat diumpamakan seperti lampu listrik atau senter yang ditujukan pada suatu benda. Bila lampu senter atau listrik dimatikan, maka tidak ada sisa apapun pada benda yang disinari tadi. Demikian pula iradiasi tidak meninggalkan residu, baik pada bahan pangan yang diiradiasi maupun pada lingkungan, sehingga iradiasi dapat dianggap sebagai proses yang bersih (Maha, 1988).

Dari segi keamanan pangan, sudah sering WHO merekomendasikan teknologi iradiasi pada pengawetan bahan pangan. Terakhir, pada tahun 1992, WHO menyatakan bahwa iradiasi merupakan cara yang aman untuk mengawetkan suplai makanan dunia. Iradiasi merupakan teknik pengawetan bahan pangan dengan memberikan berbagai tingkat radiasi untuk mengontrol bakteri. Pernyataan WHO ini dikeluarkan sehubungan dengan munculnya kekhawatiran konsumen akan keracunan sebagai efek sampingannya. WHO mengatakan, bahwa ahli pengawetan bahan pangan pada pertemuannya di Geneva pada bulan Mei 1992 (Kompas,

29 Mei 1992) menyimpulkan, bahwa makanan yang diiradiasi sampai tingkat tertentu tidak menimbulkan masalah gizi dan bahaya racun.

B. Aspek Kimia

Radiasi pengion dapat menimbulkan perubahan kimia pada bahan pangan yang dilaluinya (lihat Bab IV). Energi yang diserap oleh bahan pangan yang diiradiasi jauh lebih sedikit daripada energi yang diserap oleh bahan pangan yang dipanaskan. Akibatnya, perubahan kimia yang disebabkan oleh iradiasi secara kuantitatif lebih sedikit daripada perubahan karena pemanasan (Maha, 1985 dan Maha, 1988).

Senyawa kimia yang terbentuk akibat iradiasi bergantung pada komposisi kimia bahan pangan yang diiradiasi, dan jumlahnya meningkat sesuai dengan bertambahnya dosis. Perubahan kimia dapat ditekan dengan mengatur suhu dan kadar air bahan, serta menghilangkan O_2 udara di sekeliling bahan yang diiradiasi (Maha, 1988).

Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa jumlah senyawa yang terbentuk akibat radiolisis dalam bahan pangan sangat sedikit. Bahkan dengan dosis sterilisasi sekalipun, jumlahnya hanya beberapa ppm (mg/kg). Misalnya produk radiolisis pada daging sapi yang diiradiasi dengan dosis 56 kGy pada suhu sekitar $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ternyata ada sekitar 100 macam senyawa volatil dengan konsentrasi masing-masing antara 1 sampai dengan 700 $\mu\text{g/kg}$. Jumlah seluruhnya hanya 9 ppm. Sebagian

besar senyawa tersebut ditemukan juga pada bahan pangan yang tidak diiradiasi, sehingga tidak ada alasan untuk mencurigainya sebagai senyawa yang berbahaya. Andaikataupun berbahaya, dengan konsentrasi yang sangat rendah seperti yang ditemukan tersebut, belum akan menimbulkan efek apapun, karena kriteria senyawa berbahaya tidak hanya ditentukan oleh jenis, tetapi juga oleh jumlahnya (Maha, 1988). Contoh lain, misalnya hasil pengukuran dengan ESR (*Electron Spin Resonance*), menunjukkan bahwa pada biji-bijian yang digiling, dan juga pada protein berkadar air rendah yang dipanaskan, ditemukan pada makanan kering yang diiradiasi (Diehl yang dikutip oleh Maha, 1988).

Hal ini menunjukkan bahwa adanya senyawa spesifik radiolisis pada bahan pangan yang diiradiasi yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada konsumen, belum pernah ditemukan.

C. Aspek Toksikologi

Meskipun dengan cara analisis kimia bahwa bahan pangan yang diiradiasi tidak ditemukan senyawa yang berbahaya bagi konsumen, tetapi perlu juga dilakukan uji toksikologi. Uji toksikologi terhadap makanan yang diawetkan dengan iradiasi dilakukan dengan uji coba pada hewan percobaan, dan bahkan pada manusia sukarelawan untuk meyakinkan kemanannya (Maha, 1988). Uji toksikologi pada bahan pangan iradiasi dilakukan dengan prosedur yang jauh lebih teliti dan

kompleks bila dibandingkan dengan pengujian terhadap proses-proses sebelumnya, karena sejak awal keamanan pangan iradiasi sangat banyak dipertanyakan. Sampai tahun 1979, tercatat lebih dari 1200 penelitian yang dilakukan di berbagai laboratorium di seluruh dunia khusus untuk membuktikan keamanan pangan iradiasi (Diehl, 1983).

Dari hasil studi toksikologi pada setiap makanan yang diiradiasi, menunjukkan tidak terlihat adanya pengaruh yang merugikan pada hewan percobaan yang disebabkan oleh pemberian bahan pangan yang diiradiasi (Aravindakshan *et al.* dan Griese yang dikutip Sofyan, 1984). Pada bulan November 1980, JECFI (Joint Expert Committee on Food Irradiation) telah mengeluarkan rekomendasi yang menyatakan bahwa semua jenis bahan pangan yang diiradiasi sampai dosis 10 kGy, aman untuk dikonsumsi (FAO/WHO/IAEA, 1981).

D. Aspek Legalitas dan Pemantauan

Bukti keamanan pangan iradiasi merupakan syarat utama bagi diterimanya proses ini secara legal oleh pemerintah di suatu negara. Dengan adanya rekomendasi dari JECFI 1980 yang menyatakan bahwa semua makanan yang diiradiasi sampai dosis 10 kGy aman untuk dikonsumsi manusia, maka kepercayaan dunia akan teknologi ini semakin nyata. Hal ini terlihat dari bertambahnya jumlah negara yang memberikan izin secara legal serta meningkatnya jumlah macam bahan makanan

yang diperbolehkan untuk diiradiasi. Kalau sampai tahun 1980 baru 22 negara yang memberikan ijin, maka tahun 1988 sudah menjadi 33 negara, dan tahun 1991 telah meningkat lagi menjadi 36 negara, termasuk Indonesia (FAO/WHO/IAEA, 1991).

Di Indonesia, ijin penggunaan radiasi untuk pengawetan makanan telah dikeluarkan sejak Desember 1987. Ijin tersebut dikeluarkan dalam bentuk Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 826/MENKES/PER/XII/1987, tertanggal 29 Desember 1987. Hal-hal pokok yang diatur dalam peraturan tersebut antara lain pengawasan iradiasi makanan, dan peredaran bahan makanan iradiasi. Peraturan MENKES tersebut dilengkapi dengan Ketentuan Tentang Makanan Iradiasi dan Ketentuan Umum Cara Kerja Fasilitas Iradiasi, sebagai lampirannya. Isi kedua lampiran tersebut disesuaikan dengan pedoman yang disetujui oleh Codex Alimentarius Commission (CAC) tahun 1983. Pedoman CAC tersebut disusun sesuai dengan kesimpulan JECFI 1980. Pedoman ini kemudian digunakan oleh anggota CAC yang saat ini sudah berjumlah 130 negara. Dengan adanya pedoman ini diharapkan ketentuan yang berlaku di setiap negara tidak banyak berbeda, agar bahan pangan iradiasi dapat lebih mudah memasuki perdagangan internasional.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Teknologi iradiasi adalah cara baru yang saat ini telah diaplikasikan secara komersial dalam bidang pengawetan pangan. Teknik ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan cara-cara pengawetan pangan yang selama ini telah dikenal. Beberapa keunggulan tersebut antara lain, bahan pangan masih tetap dalam keadaan segar, dan tidak meninggalkan residu pada bahan pangan atau polusi pada lingkungan. Teknologi iradiasi juga mampu memecahkan persoalan-persoalan yang bila dengan cara-cara konvensional masih kurang memuaskan hasilnya.

Teknologi iradiasi dapat digunakan untuk berbagai tujuan dalam upaya meningkatkan daya simpan, mutu dan menjaga hygiene bahan pangan, menurunkan residu zat kimia pada bahan pangan, perlakuan untuk karantina buah-buahan dan sterilisasi untuk pemakaian khusus.

Dari aspek mikrobiologis, iradiasi mampu mengurangi bahkan membunuh atau memusnahkan mikroba patogen. Iradiasi juga mampu membunuh parasit dan cacing pada daging sapi dan daging babi segar, cukup dengan dosis yang relatif rendah. Demikian pula terhadap serangga perusak, iradiasi cukup efektif untuk memberantas serangga perusak yang sering dijumpai pada bahan pangan kering, misalnya beras, jagung, kedelai, biji-bijian kering lain, dan sebagainya.

Dari aspek kimiawi, teknologi iradiasi dapat menyebabkan perubahan kimia air, protein, lipida, karbohidrat maupun vitamin. Tetapi perubahan kimia yang terjadi tidak banyak merubah nilai gizi, tidak merusak, maupun bersifat toksik.

Ditinjau dari aspek keamanan pangan, iradiasi telah dinyatakan aman sampai batas dosis 10 kGy untuk semua bahan pangan yang diiradiasi. Sampai tahun 1991, sebanyak 36 negara telah mengizinkan penggunaan iradiasi untuk pengawetan bahan pangan, termasuk Indonesia. WHO pada bulan Mei 1992 secara tegas telah menyatakan, bahwa teknologi iradiasi merupakan cara yang aman untuk mengawetkan suplai bahan pangan di dunia.

B. Saran

Meskipun teknologi iradiasi mempunyai beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh cara-cara pengawetan pangan lainnya, tetapi teknologi ini tidak semata-mata untuk menggantikan teknologi pengawetan yang selama ini telah dikenal. Karena itu, teknologi ini adalah suatu alternatif yang perlu dipertimbangkan sebagai cara lain untuk pengawetan bahan pangan, bahkan dapat pula digunakan pula secara bersama-sama dengan cara pengawetan lain.

Mengingat teknologi iradiasi cukup berbahaya, maka cara pemakaian dosis, prosedur kerja, dan hal-hal lainnya yang berkaitan dengan proses iradiasi, perlu diperhatikan dan diusahakan mengikuti

petunjuk yang telah ditetapkan, baik di tingkat nasional maupun internasional. Untuk mengembangkan teknologi iradiasi dalam bidang pengawetan bahan pangan, perlu diupayakan dukungan dari berbagai pihak, baik peneliti, pemerintah, maupun masyarakat, mengingat teknologi ini masih cukup asing bagi masyarakat awam, di samping masih menjadi sorotan dari berbagai pihak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. 1963. Peranan tenaga atom dalam bidang pengawetan bahan makanan dan hasil-hasil pertanian. Dalam Majalah Manfaat Tenaga Atom (2):28-30.
- Anonim. 1970. The technical basic for legislation on Irradiated food. (Tech. Rep. FAO/IAEA/WHO Expert Comm. Meeting, Rome, 194). WHO, Geneva.
- Anonim. 1978. Food Preservation by Irradiation. Vol 1 dan 2. IAEA, Vienna.
- Anonim. 1983. Pengawetan pangan dengan Iradiasi. BATAN. Jakarta.
- Anonim. 1983. Summary Report of FAO/IAEA Meeting on marketing, Market testing and Consumer acceptance of Irradiated food. Food Irradiation News Letter 7.(1983) 16 hal.
- Candrawati, N. Hilmy, dan R Chosdu. 1989. Pengaruh Iradiasi Gamma pada Karakteristik Kimia dan Fisika Vitamin dan Minyak Nabati II. PAIR BATAN. Jakarta.
- Danusupadmo, S. 1982. Pengaruh Reinfestasi pada Pemberantasan *Sytophyllus zeamays* dan *S. oryzae* L. dengan Iradiasi pada Sorgum. PAIR BATAN. Jakarta.
- DEPKES R.I. 1987. Peraturan Menteri Kesehatan R.I. Nomor 826/MENKES/PER/XII/1987 tentang Iradiasi.
- Desrosier, N.W. 1969. Teknologi Pengawetan Pangan. (Terjemahan Muhji Muljohardjo). UI Press. Jakarta.

- Diehl, J.F. 1983. Wholesomeness of irradiation. Seminar on Food Irradiation for Developing Countries in Asia and the Pacific. Tokyo.
- FAO/WHO/IAEA. 1981. Wholesomeness of Irradiated Food. (Tech. Rep. FAO/WHO/IAEA Expert Comm. Meeting, Geneva). WHO Geneva.
- FAO/WHO/IAEA. 1991. Food Irradiation Newsletter. Supplement to Food Irradiation Newsletter. Vol 15. No. 2. October 1991. IAEA. Vienna.
- Fennema, O.R. 1976. Principles of Food Science. Part I. Food Chemistry. Marcell Dekker Co. Inc. New York.
- Fennema, O.R. 1985. Food Chemistry. 2nd Ed. Marcell Dekker Co. Inc. New York and Bassel.
- Goresline, H.E. 1973. The potentials of ionizing radiation for food preservation. Dalam : Food Irradiation Information. No. 2. (J.R. Hickman, B.M. Adkins, and W.T.Potter, Eds.). pp. 20-34.
- Grau, F.H., J.J. Macfarlane dan Eustace. 1983. Ionizing Energy Treatment of Meat Products. CSIRO Div. Of Food Research. Meat Research Laboratory. Cannon Hil.
- Hilmy, N. 1989. Pemilihan iradiator kobalt-60 untuk Industri. PAIR BATAN. Jakarta.
- Kumta, U.S., S.S. Mavinkurve, M.S. Gore, P.L. Sawant, SV. Gangal dan A. Sreenivasan. 1970. Radiation pasteurization of fresh and blanched tropical shrimps. J. Food Sci. 35:360-363.
- Kompas, 29 Mei 1992. Iradiasi Aman. Kompas No. 323, Tahun ke-27. hal. 11.

- Maha, M. 1977. Penggunaan iradiasi untuk pengawetan hasil perikanan. PPJP – BATAN. Jakarta. p. 1-2.
- Maha, M. 1981 dan 1982. Prospek Penggunaan Tenaga Nuklir dalam Bidang Teknologi Pangan. PAIR – BATAN. Jakarta. 23 hal.
- Maha, M. 1985. Pengawetan Pangan dengan Iradiasi. Himpunan Makalah Ringkas. Seminar Perkembangan Teknologi Nuklir dan Dampaknya pada Kurikulum SMTA. Jakarta 29-30 April 1985. BATAN Jakarta.
- Maha, M. 1988. Keamanan Bahan Pangan yang Diawetkan dengan Iradiasi.. PAIR – BATAN. Jakarta.
- Martojudo, J.W. 1971. Pengaruh sinar gamma terhadap daya simpan udang djenis *Paneus sp.* PPPs - BATAN. Jakarta. hal. 1-4.
- Matsuyama, A. 1973. Present status of food irradiation research in Japan with special reference to microbiological and entomological aspect. Dalam : Food Preservation by Irradiation. (Proc. Symp. Bombay, 1972) pp. 261 – 270. IAEA, Vienna.
- Mulder, R.M.A.W. 1983. Ionizing Energy Treatment of Poultry. Splenderholt Centre for Poultry Research and Fisheries. Netherlands.
- Nawar, W.W. 1978. Reaction mechanism in the radiolysis of fats: a review. J. Agric. Food Chem. 26:21.
- Nawar, W.W. 1985. Lipids. Dalam : O.R. Fennema (Ed). Food Chemistry. 2nd Ed. Marcell Dekker Co. Inc. New York and Basel.
- Pablo et al. 1975. Radiation. Dalam : Postharvest Physiology Handling and Utilization of Tropical and Sub-tropical Fruits and Vegetables. The Avi Publ. Co. Inc. Westport, Connecticut, USA.

- Potter, N.N. 1968. Food Science. The Avi Publ. Co. Inc. . Westport, Connecticut, USA.
- Purwanto dan M. Maha. 1986. Pengaruh Perlakuan Panas, Iradiasi Gamma dan Kombinasi Perlakuan pada Daya Simpan Mangga Besar. PAIR BATAN. Jakarta.
- Rao, V.S., U.K. Vakel, Bandyopadhyay dan A. Sreenivasan. 1978. Effect gamma irradiation of wheat on volatile flavour components of bread. J. Food Sci. 43:68-71.
- Razzak, M.T., M.Ridwan, dan G. Scarpa. 1980. Aspek Dosimetri pada Proses Sterilisasi Radiasi. Dalam : Majalah BATAN. 13:80-82.
- Siagian, E.G. , Maria Lina R., Andini, L.S., dan Harsojo. 1983. Aspek Mikrobiologi dan Nilai Gizi Beberapa Makanan Tradisional di Indonesia yang Diradiasi. BATAN. Jakarta.
- Simic, M.G. 1983. Radiation chemistry of water-soluble food components. Dalam : Preservation of Food Ionizing Radiation. Vol. II (E.S.Josephson dan M.S.Peterson, eds).CRC Press Inc. Boca Raton. Florida.
- Sofyan, Rochestri. 1984. Pengaruh Radurisasi terhadap Berbagai Sifat Protein dan Aktivitas Enzim Ikan. Disertasi. ITB. Bandung.
- Sofyan, Rochestri. 1985. Suatu Tinjauan tentang Efek Kimia Iradiasi pada Komponen Utama Bahan Makanan. PAIR BATAN. Jakarta.
- Swallow, A.J. 1977. Chemical effect of irradiation. Dalam : P.S. Elias dan A.J. Cohen, eds. Radiation Chemistry of Major Components. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam. p. 5-20.

- Taub, I.A., F.M. Robin, M.G. Simic, J.E. Walker, dan E. Wierbicki. 1979. Effect of radiation on meat proteins. Food Tech. 33 (1979):184
- Taub, I.A. 1983. Reaction mechanism, irradiation parameters and product formation. Dalam : Preservation of Food by Ionizing Radiation. Vol II (E.S. Josephson dan M.S. Peterson, eds). CRC Press Inc. Boca Raton. Florida.
- Wasito. 1982. Pengawetan Jagung Pipil Secara Iradiasi Sinar Pengion. PAIR BATAN. Jakarta.
- Winarno, F.G., S. Fardiaz dan D. Fardiaz. 1980. Pengantar Teknologi Pangan. PT. Gramedia. Jakarta.