

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

M. Akrom^{1*}, E. Hidayanto¹, Susilo²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematikadan IPA, Universitas Negeri Semarang

Diterima: 1 Oktober 2013. Disetujui: 1 Desember 2013. Dipublikasikan: Januari 2014

ABSTRAK

Telah dilakukan radiasi pada sampel jambu biji merah (*psidium guajava* linn) pada variasi dosis 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, dan 1 kGy menggunakan sinar gamma dengan sumber isotop Co-60 serta sampel yang tidak diradiasi sebagai sampel kontrol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh radiasi sinar gamma terhadap susut bobot sebagai indikasi dari terjadinya perlambatan proses fisiologis pada buah jambu biji merah selama masa penyimpanan. Sampel jambu biji merah diradiasi sesuai dosis yang ditentukan kemudian disimpan dalam wadah plastik selama 8 hari masa penyimpanan. Hari ke 4 dan ke 8 dilakukan evaluasi terhadap massa sampel untuk mengetahui penyusutan bobot yang terjadi. Hasilnya menunjukkan bahwa sampel yang tidak diradiasi mengalami penyusutan bobot rata-rata 20.27% dan sampel yang diradiasi mengalami penyusutan bobot rata-rata sebesar 1.23 – 5.98%. Perlakuan radiasi gamma mampu memperlambat proses fisiologis dimana terjadi perlambatan penyusutan bobot pada buah jambu biji merah selama masa penyimpanan.

ABSTRACT

The samples of red guava (*psidium guajava* linn) have been irradiated at variation doses of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1 kGy using gamma rays with Co-60 isotope source and un-irradiated samples as control. The purpose of this research was to determine the effect of gamma irradiation on shrinkage weights as indication of slowing in physiological processes on red guava fruit during storage. Red guava fruit samples were irradiated in certain doses then saved in plastic pan during 8 days storage time. The fourth and eighth day sample mass was measured to determine the shrinkage of the weight. The result showed that un-irradiated sample was shrinkage weighted average 20.27% and the samples were irradiated shrinkage weight by an average of 1.23 to 5.98%. Gamma irradiation is able to slow the physiological processes which cause shrinkage weight on red guava fruit during storage.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Gamma irradiation; Red guava; Weight loss.

PENDAHULUAN

Jambu biji merupakan salah satu komoditas yang mudah rusak, sehingga hanya dapat bertahan beberapa hari saja pada suhu kamar tanpa penanganan yang baik (Rukmana, 1996). Kerusakan pada buah sehingga menu-

runkan kualitas buah terjadi karena proses metabolisme yang terus berlangsung serta oleh perlakuan fisis dan biologis (Winarno, 1979). FAO memperkirakan bahwa di seluruh dunia sekitar 25% dari seluruh produksi pangan hilang akibat serangan, bakteri, hewan pengerat dan faktor lain setelah panen. Beberapa negara, termasuk Bangladesh, Chili, Cina, Hungaria, Jepang, Republik Korea dan Thailand me-

*Alamat Korespondensi:
E-mail: acrom@ymail.com

lakukan penyinaran terhadap satu atau lebih produk makanan (biji-bijian, kentang, rempah-rempah, ikan asin, bawang, bawang putih, dan lain-lainnya). Untuk mengendalikan kerugian makanan secara komersial (ICGFI, 1999)

Pengembangan teknologi nuklir dalam bidang pangan (iradiasi pangan) sudah terbukti dapat membantu memecahkan berbagai masalah sanitasi pada bahan pangan. Contoh aplikasi iradiasi nuklir pada pangan antara lain untuk peningkatan daya awet, keamanan pangan, dan sterilisasi bahan pangan tertentu. Penggunaan iradiasi sebagai teknik pelestarian tidak akan menyelesaikan semua masalah kerugian makanan pascapanen, tetapi dapat memberikan peran penting dalam mengurangi kerugian dan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia.

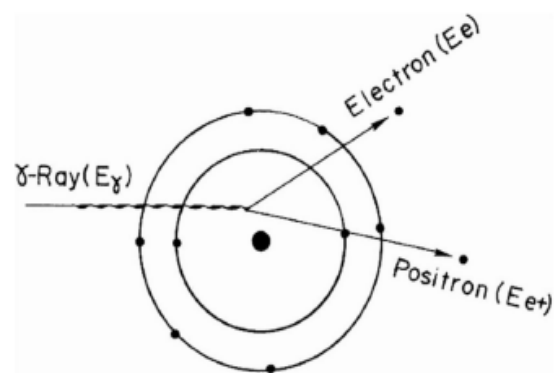
Iradiasi pangan adalah proses penyinaran makanan dengan mengendalikan sumber radiasi pengion seperti emisi sinar gamma yang dipancarkan oleh radioisotop kobalt-60 dan cesium-137 atau, elektron energi tinggi dan sinar-X yang dihasilkan oleh mesin sumber.

Bergantung pada dosis radiasi yang diserap, berbagai efek dapat dicapai seperti kerugian penyimpanan berkurang, umur simpan semakin panjang dan juga keamanan makanan dari mikrobiologi serta parasitologi ditingkatkan (Farkas, 2006).

Pada penelitian ini, bahan pangan yang diuji untuk diiradiasi menggunakan sinar gamma adalah buah jambu biji merah. Buah jambu biji merah dipilih karena termasuk bahan yang mudah diperoleh di lingkungan.

Radiasi sinar gamma yang diberikan akan melewati buah dengan kecepatan dan dosis terkontrol. Dan ketika radiasi dihentikan, maka tidak ada energi sisa dalam buah tersebut. Dengan kata lain, iradiasi tidak mengakibatkan buah menjadi radioaktif atau terkontaminasi oleh radiasi (ICGFI, 1999; Hunter, 2006; Egayanti, 2009). Bahkan secara umum, kualitas dari makronutrisi (protein, lipid, karbohidrat) tidak berubah oleh radiasi (Thayer et al., 1987; Thayer, 1990; WHO, 1999; ICGFI, 1999) dan begitu pula pada mineral juga terbukti tetap stabil (Diehl, 1995). Radiasi sinar gamma terkontrol pada dosis di bawah 1 kGy yang ditembakkan dapat memperlambat proses fisiologis buah, sehingga dapat memperlambat pengurangan massa buah dibandingkan dengan buah tanpa diradiasi (CAC, 2003; Lawat, et al., 2011). Sifat inilah yang dimanfaatkan dalam penelitian ini.

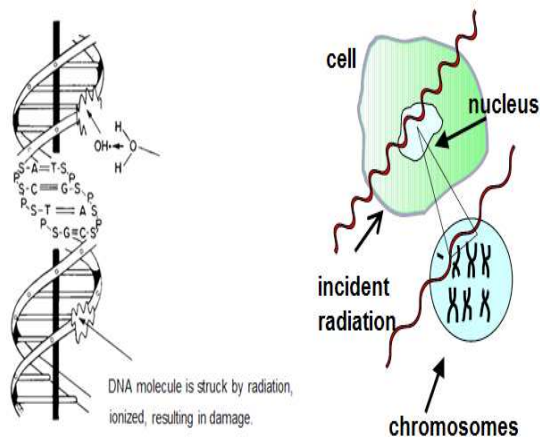
Radiasi sinar gamma yang berinteraksi dengan materi berupa buah jambu biji merah dapat dikategorikan sebagai interaksi yang menyebabkan terjadinya produksi berpasangan. Proses produksi pasangan akan terjadi apabila foton yang datang mengenai materi dengan energi lebih besar dari 1.02 MeV (Meredith, 1977; Bryun, 2002; Hendee, 2002; Bushberg, 2002; Khan, 2003; Chandra, 2004; Podgorsak, 2005). Sinar gamma termasuk gelombang elektromagnetik. Sumber yang dapat memancarkan sinar gamma salah satunya adalah radioisotop Co-60. Isotop radioaktif Co-60 dapat memancarkan dua energi sinar gamma yang besar dengan masing-masing besarnya adalah 1.17 MeV dan 1.33 MeV (Soeminto, 1985; Chandra, 2004). Produksi berpasangan adalah proses terbentuknya pasangan elektron dan positron (positif elektron) ketika energi foton diserap seluruhnya oleh pengaruh medan inti atom.



Gambar 1. Proses ionisasi produksi berpasangan. (Sumber: Ramesh Chandra, 2004)

Pada saat radiasi sinar gamma diberikan pada buah jambu biji, partikel foton yang berasal dari sinar gamma dengan energi berkecukupan menabrak sebuah molekul dan melontarkan elektron sehingga terbentuk pasangan ion (ionisasi). Proses ionisasi ini menyebabkan karakteristik fisik dan fungsi dari molekul sel akan berubah. DNA terlibat dalam semua proses metabolik dan klonogenik sel. Ionisasi pada DNA akan menghasilkan amplifikasi biologik. Radiasi menghasilkan spesi kimia yang sangat aktif dalam makanan yang bereaksi dengan DNA (Lee, 2004). Radiasi pengion memiliki energi yang cukup untuk menghilangkan elektron dari atom untuk membentuk ion atau radikal bebas. Elektron bebas akan menumbuk ikatan kimia dalam molekul DNA mikroba, sehingga akan memutus ikatan tersebut yang menyebabkan mikroba mati (USFDA, 2007).

Selama proses iradiasi, bahan makanan tersebut akan menyerap energi radiasi. Radiasi akan memecah ikatan kimia pada DNA dari mikroba atau serangga kontaminan. Sehingga organisme kontaminan tidak mampu memperbaiki DNA-nya yang rusak, akibatnya pertumbuhannya akan terhambat (Safitri, 2010).



Gambar 2. Proses pemecahan ikatan pada kromosom atau DNA. (Sumber: Health Physics Society, The Effect of radiation on Living Things)

Terhambatnya pertumbuhan mikroba akan menghambat proses metabolisme pada bahan pangan. Dengan demikian proses pematangan atau pembusukan akan berjalan melambat. Dengan kata lain, komponen massa dalam bahan pangan tidak mudah terurai atau menguap, sehingga massa dari bahan pangan tersebut tidak banyak berkurang atau menyusutan bobotnya kecil.

Salah satu parameter tingkat kematangan buah adalah pengurangan massa (penyusutan bobot) buah (Kader, 1992). Setelah masa panen, buah mengalami proses pematangan menuju pembusukan. Selama proses pematangan tersebut, buah akan mengalami perubahan fisika – kimia yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas buah. Pengurangan massa buah pasca panen dipengaruhi oleh semakin meningkatnya proses respirasi, sehingga O_2 yang masuk menurun sedangkan CO_2 yang keluar meningkat seiring dengan lamanya masa penyimpanan (Hidayah, 2009).

Pengurangan massa (penyusutan bobot) pada buah mangga secara signifikan dipengaruhi oleh variasi dosis sinar gamma dan suhu penyimpanan (Yadav, 2014). Iradiasi dapat berpengaruh terhadap penurunan susut bobot buah selama masa penyimpanan sebagai aki-

bat dari proses respirasi (Purohit dkk., 2004). Proses respirasi akan melambat sebagai akibat radiasi pada jambu biji (Singh, 2009). Hal yang sama juga terjadi pada buah mangga (Prasadini dkk., 2008).

Pengurangan massa pada umbi ketela yang diradiasi pada dosis 80 – 180 Gy secara signifikan berkurang sekitar 5.13 – 12,02%, sedangkan pada umbi ketela yang tidak diradiasi, pengurangan massa buah berkisar 47.16% (Lawal dkk., 2011). Hal ini menunjukkan bahwa radiasi mampu memperlambat pengurangan massa pada umbi ketela selama masa penyimpanan.

Pengurangan massa pada buah dipengaruhi oleh proses respirasi selama masa penyimpanan (Kader, 1992). Proses respirasi akan mengubah gula menjadi karbon dioksida dan air (Kader, 1989). Wills dkk., (1989) menyatakan bahwa selama proses respirasi, senyawa-senyawa kompleks yang biasa terdapat dalam sel seperti karbohidrat akan dipecah menjadi molekul-molekul yang sederhana seperti karbohidrat dan air yang mudah menguap (air bebas). Enrico (2008) menambahkan bahwa proses respirasi berlangsung terus-menerus sehingga semakin lama pengurangan massa pada buah semakin meningkat. Menurut Winarno (2002), pengurangan massa juga dikarenakan kehilangan air sebagai proses penguapan (air bebas) dan kehilangan karbon sebagai proses respirasi selama masa penyimpanan.

Dalam penelitian ini dikaji pengaruh radiasi sinar gamma terhadap penyusutan bobot buah jambu biji merah selama masa penyimpanan.

METODE

Dalam penelitian ini digunakan sampel buah jambu biji merah. Sampel dibedakan menjadi enam kelompok yang dikelompokkan menurut ukuran, massa dan tingkat kematangan berdasarkan warnanya yang masing-masing terdiri atas lima buah. Lima kelompok diiradiasi pada dosis 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 kGy serta satu kelompok sebagai sampel kontrol/uji yang tidak diiradiasi.

Iradiasi Gamma

Untuk iradiasi digunakan Iradiator Panoramik Serbaguna (IRPASENA) dengan sumber radiasi gamma Co-60, aktivitas radioaktif 18.003,683 Ci, dan laju dosis 0,73771 kGy/jam pada bulan September 2014, yang ada di PA-

TIR – BATAN (Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional) Jakarta. Buah jambu biji merah diiradiasi pada variasi dosis terkontrol, yaitu: 0 kGy (sampel uji/kontrol), 0,2 kGy, 0,4 kGy, 0,6 kGy, 0,8 kGy dan 1 kGy.

Penyimpanan

Setelah sampel diradiasi, selanjutnya disimpan dalam suhu kamar pada wadah plastik tertutup. Setiap empat hari sampel akan diukur penyusutan bobotnya sampai kondisi sampel mendekati busuk.

Penyusutan Bobot

Buah jambu biji merah yang telah diradiasi (sampel A, B, C, D, E) dan buah jambu biji merah tanpa radiasi (sampel uji/kontrol) disimpan dalam suhu kamar pada wadah plastik tertutup. Setelah waktu penyimpanan tertentu, diukur susut bobotnya. Perhitungan susut bobot menggunakan persamaan berikut ini:

$$(\%) \text{ Susut Bobot} = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100$$

(1)

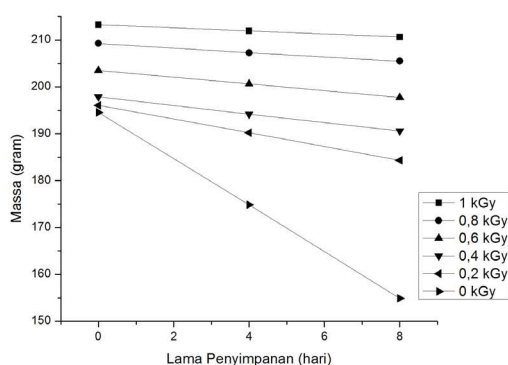
dengan:

W_o = massa sampel sebelum diradiasi (gram)

W_t = massa sampel setelah diradiasi (gram)

HASIL DAN PEMBAHASAN

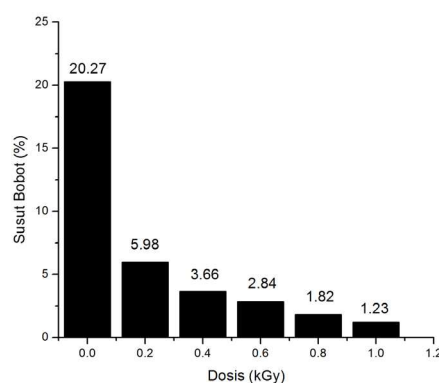
Data hasil penelitian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, dengan menggunakan program analisis data Origin Pro 8 maka didapatkan grafik pada Gambar 3 dan diagram pada Gambar 4.



Gambar 3. Grafik hubungan antara massa terhadap lama waktu penyimpanan.

Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara perubahan massa terhadap lama waktu penyimpanan pada sampel yang diradiasi pada dosis 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 kGy serta pada sampel yang tidak diradiasi (dosis 0 kGy).

Gambar 4 merupakan diagram hubungan antara dosis radiasi terhadap besarnya persentase penyusutan bobot pada massa sampel buah jambu biji merah selama masa penyimpanan delapan hari setelah radiasi baik sampel kontrol maupun sampel yang diradiasi dengan dosis 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 kGy.



Gambar 4. Diagram hubungan antara dosis radiasi terhadap penyusutan bobot.

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, sampel yang tidak diradiasi (dosis 0 kGy) atau sampel kontrol mengalami penurunan massa sampel secara cepat yang terlihat dari kemiringan grafik pada sampel kontrol. Untuk sampel yang diradiasi dengan dosis 0,2 – 1 kGy terjadi pengurangan massa sampel yang lebih lambat yang terlihat dari landainya garis linier dimana semakin besar dosis sampel semakin kecil pula pengurangan massa sampel yang terlihat dari semakin landainya garis linier.

Diagram pada Gambar 4 menunjukkan bahwa sampel kontrol mengalami penyusutan bobot yang tinggi yaitu sebesar 20,27 % dibandingkan dengan sampel yang diradiasi. Pada sampel yang diradiasi dengan dosis 0,2 - 1 kGy hanya mengalami penyusutan bobot sekitar 1,23 - 5,98 %, dimana semakin besar dosis radiasi yang diberikan pada sampel semakin kecil pula penyusutan bobot yang terjadi pada sampel.

Pengurangan massa ataupun penyusutan bobot secara cepat atau besar pada sampel kontrol terjadi karena proses respirasi selama masa penyimpanan (Kader, 1992; Winarno, 2002; Enrico, 2008). Proses respirasi akan mengubah gula menjadi CO_2 dan

Tabel 1. Nilai Rata-rata perubahan massa sampel.

Dosis (kGy)	Hari Ke-0 (gram)	Hari Ke-4 (gram)	Hari Ke-8
0	194.55	174.85	154.89
0.2	196.05	190.23	184.33
0.4	197.87	194.14	190.62
0.6	203.49	200.66	197.62
0.8	209.29	207.28	205.47
1	213.23	211.94	210.61

Tabel 2. Nilai Rata-rata penyusutan sampel selama 8 hari masa penyimpanan.

Dosis (kGy)	Penyusutan (gram)	% Penyusutan
0	39.44	20.27
0.2	11.73	5.98
0.4	7.25	3.66
0.6	5.78	2.84
0.8	3.82	1.82
1	2.62	1.23

H₂O. Senyawa-senyawa kompleks yang biasa terdapat dalam sel seperti karbohidrat akan dipecah menjadi molekul-molekul yang sederhana seperti karbohidrat dan air yang mudah menguap (Kader, 1989; Wills, 1989; Winarno, 2002).

Massa buah jambu biji merah yang diradiasi pada dosis 0.2 – 1 kGy secara signifikan berkurang sekitar 1.23 – 5.98 %. Dengan kata lain, pengurangan massa pada sampel yang diradiasi berjalan lebih lambat dibandingkan pada sampel kontrol. Hal ini menyatakan bahwa radiasi gamma mampu memperlambat proses fisiologis buah jambu biji merah selama masa penyimpanan dibandingkan dengan tanpa diradiasi. Hal tersebut disebabkan oleh proses ionisasi akibat radiasi telah menyebabkan karakteristik fisik dan fungsi molekul sel menjadi berubah. Ionisasi menghasilkan radikal bebas yang dapat memecah ikatan kimia dan DNA mikroba sehingga proses fisiologis buah (pematangan, pembusukan) berjalan melambat. Karena proses respirasi buah terhambat, maka komponen massa yang menguap atau hilang menjadi semakin sedikit. Dengan kata lain, pengurangan massa atau penyusutan bobot menjadi lebih kecil.

Pengurangan massa (penyusutan bobot) pada buah mangga secara signifikan dipengaruhi oleh variasi dosis sinar gamma dan suhu penyimpanan (Yadav, 2014). Iradiasi dapat berpengaruh terhadap penurunan susut bobot buah selama masa penyimpanan sebagai akibat dari proses respirasi (Purohit dkk., 2004). Proses respirasi akan melambat sebagai akibat radiasi pada jambu biji (Singh, 2009). Hal yang sama juga terjadi pada buah

mangga (Prasadini dkk., 2008). Pengurangan massa pada umbi ketela yang diradiasi pada dosis 80 – 180 Gy secara signifikan berkurang sekitar 5.13 – 12.02%, namun pada dosis radiasi 40 Gy radiasi kurang efektif untuk menghambat pengurangan massa umbi ketela dimana pengurangan massa yang terjadi masih cukup besar sekitar 33.37%, sedangkan pada umbi ketela yang tidak diradiasi, pengurangan massa buah berkisar 47.16% (Lawal dkk., 2011). Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi mampu memperlambat pengurangan massa pada umbi ketela selama masa penyimpanan.

PENUTUP

Kajian ini menunjukkan bahwa iradiasi gamma pada dosis 0,2 – 1 kGy mampu memperlambat proses fisiologis pada buah jambu biji merah dengan ditandai terjadinya perlambatan penyusutan bobot serta mampu mempertahankan kesegaran buah selama masa penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., Boone, J. M., 2002, *The Essential Physics Of Medical Imaging*, Lippincott Williams & Wilkins, USA.
- Bryun, I., Chu, R. D. H., Ehlerman, D. A. E., Loaharanu, P., Matin, M. A., McLaughlin, W. L., Mehta, K., Thomas, P., 2002, *Dosimetry for Food Irradiation*, IAEA, Vienna.
- Chandra, R., 2004, *Nuclear Medicine Physics*, Lippincott Williams & Wilkins: USA.
- Codex Alimentarius Commission, 2003, *Recommended international code of practice for*

- radiation processing of food*, CAC/RCP, 19-1979, Rev. 2. Available from: www.codexalimentarius.net/download/standards/18/CXP_019e.pdf.
- Codex Alimentarius Commission, 2003, *Codex general standard for irradiated foods*, CODEX STAN, 106-1983, Rev.1, Cited: 7 March 2008. Available from: www.codexalimentarius.net/download/standards/16/CXS_106e.pdf.
- Diehl, J.F., 1995, "Safety of Irradiated Foods," 2nd edition, Marcel Dekker, New York.
- Egayanti, Y., 2009, *Iradiasi Pangan*, Food Review, Vol. IV, No. 7.
- Enrico, S., 2008, *Optimasi Keadaan Penyimpanan Buah Pepaya Sebelum Pemeraman Dengan Algoritma Genetika*, IPB, Bogor.
- Farkas J., 1998, *Irradiation as a method for decontaminating food*, International Journal of Food Microbiology, 44, 189-204.
- Farkas J., 2006, *Irradiation for better foods*, Trends in Food Science & Technology, 17, 148-152.
- Hendee, W. R., Ritenour, E. R., 2002, *Medical Imaging Physics*, Wiley-Liss, Inc., New York.
- Hidayah, N. N., 2009, *Sifat Optik Buah Jambu Biji (psidium guajava) Yang Disimpan Dalam Toples Plastik Menggunakan Spektrofotometer Reflektans-Vis*. IPB: Bogor.
- Hunter, R., 2006, *Food Irradiation – Questions and Answers*, Food Technology Service, Inc.
- International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), 1999, *Facts about food irradiation*, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna. Available from: www.iaea.org/nafal/d5/public/foodirradiation.pdf.
- Kader A., 1989, *Biochemical & Physiological. Basis for effect of controlled and modified atmosphere on fruit and vegetables*, Journal Food Technology, Vol. 90, No. 5, Pg. 99-104.
- Kader A., 1992, *Postharvest Biology and Technology*, In Kader A. (Ed), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Second Edition, p. 15-20, University of California, USA.
- Khan, F. M., 2003, *The Physics of Radiation Therapy*, Lippincott Williams & Wilkins, USA.
- Lawal, A. E., Akueche, E. C., Anjorin, S. T., Anyanwu, C. E., Harcourt, B. I., Shonowo, O. A., Ogunsola, A., Olasehinde, T. O., Adesanmi, C. A., 2011, *Effect of gamma irradiation on the sprouting, nutritional and phytochemical composition of meccakusha yam tubers in Abuja, Nigeria*, Journal of Agriculture and Biological Sciences, Vol. 2 No. 7, pg. 203-207.
- Lee, S. Y., 2004, *Irradiation as a method for decontaminating food*, Journal of Food Safety, Vol. 3, pg. 32-35.
- Meredith, W. J., Massey, J. B., 1977, *Fundamental Physics of Radiology*, John Wright & Sons LTD., Great Britain.
- Podgorsak, E. B., 2005, *Radiation Oncology Physics*, IAEA, Vienna.
- Prasadini, P.P., Khan, M. A., Reddy, P.G., 2008, *Effect of irradiation on shelf life and microbiological quality of mangoes (Mangifera indica L.)*, J. Res. ANGRU, Vol 36(4):14-23.
- Purohit, A.K., Rawat, T.S., Kumar. A., 2004, *Shelf life and quality of ber fruit cv. Umran in response to postharvest application of ultraviolet radiation and paclobutrazole*, PI Foods for Human Nut, Vol 58(3):1-7.
- Rukmana R., 1996. *Jambu Biji*, Penerbit Kanisius, Jakarta.
- Safitri, R. dan Fitri, L., 2010, *Kajian Pemanfaatan Radiasi Sinar Gamma (Co-60) Pada Sistem Pengawetan Makanan Studi Kasus Pada Serbuk Cabai*, Universitas Syah Kuala, Banda Aceh.
- Singh, S.P., Pal, R.K., 2009, *Ionizing radiation treatment to improve postharvest life and maintain quality of fresh guava fruit*. Radiation Phy. Chem, Vol 78:135-140.
- Soeminto, B., 1985, *Manfaat Tenaga Atom untuk Kesejahteraan Manusia*, CV Karya Indah, Jakarta.
- Thayer, D.W., Christopher, J.P., Campbell, L.A., Ronning, D.C., Dahlgren, R.R., Thomson, G.M., and Wierbicki, E., 1987, *Toxicology studies of irradiation-sterilized chicken*, J. Food Prot., 50: 278-288.
- Thayer, D.W., 1990, *Food irradiation: Benefits and concerns*, J. Food Qual., 13: 147-169.
- US Food and Drug Administration (USFDA), 2007, *Exploratory Data on Furan in Food*. Available from: <http://www.cfsan.fda>.
- WHO, 1999, *High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy*, Report of a joint FAO/IAEA/WHO study group, WHO technical report series 890, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Wills RBH, Lee TH, Graham D., Glasson WBM, Hall EG, 1989, *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables, 3rd Ed*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Winarno F. G., Aman M., 1979, *Fisiologi Lepas Panen*, Sastra Hudaya, Bogor.
- Winarno F. G., 2002, *Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura*, M. Brio Press, Bogor.
- Yadav, M. K. and Patel, N. L., 2014, *Optimization of irradiation and storage temperature for delaying ripening process and maintaining quality of Alphonso mango fruit (Mangifera indica L.)*, African Journal of Agricultural Research, Vol. 9(5), pp. 562-571.
- Yanping Ma, Xingang Lu, Xinghua Liu, Huiling Ma, 2013, *Effect of ⁶⁰Co-irradiation doses on nutrients and sensory quality of fresh walnuts during storage*, Postharvest Biology and Technology, Vol. 84, pg. 36-42.