

DETEKSI RADIKAL BEBAS PADA DAGING KERING (DENDENG DAN ABON) IRADIASI MENGGUNAKAN ALAT UKUR *ELEKTRON SPIN RESONANCE* (ESR)

Rindy Panca Tanhindarto

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

ABSTRAK

DETEKSI RADIKAL BEBAS PADA DAGING KERING (DENDENG DAN ABON) IRADIASI MENGGUNAKAN ALAT UKUR *ELEKTRON SPIN RESONANCE* (ESR). Telah dilakukan penelitian deteksi radikal bebas pada produk daging kering berupa dendeng sapi, abon sapi dan abon babi iradiasi menggunakan alat ukur ESR *Bruker spectroscopy*. Sampel dikemas dalam kantong plastik vakum masing-masing seberat 10 gram/kantong, lalu diiradiasi dengan sinar gamma dari radioisotop ^{137}Cs dengan kondisi suhu $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Sampel diiradiasi dengan dosis 0; 2,5 dan 5 kGy. Penelitian ini untuk melihat radikal bebas yang terperangkap karena iradiasi dan pengukuran spektrum ESR berdasarkan intensitas signal. Pengamatan sampel dilakukan segera setelah iradiasi dan setiap minggu sampai dengan 7 minggu penyimpanan. Hasil yang diperoleh menunjukkan spektrum ESR dendeng, abon sapi dan abon babi yang diiradiasi dapat dibedakan pada spektrum 3447 Gauss. Intensitas signal ESR semua sampel dendeng dan abon iradiasi meningkat secara nyata dengan meningkatnya dosis radiasi sampai dosis 5 kGy. Intensitas signal ESR sampel abon sapi dan abon babi iradiasi segera akan turun dalam 1 minggu sedangkan sampel dendeng iradiasi intensitas signal ESRnya menunjukkan stabil sampai 7 minggu penyimpanan.

Kata kunci : dendeng, abon, radikal bebas, *electron spin resonance*, iradiasi pangan

ABSTRACT

FREE RADICALS DETECTION ON IRRADIATED DRIED MEAT (DENDENG AND ABON) USING ELECTRON SPIN RESONANCE (ESR). The investigation detection free radicals on irradiated dried meats made of sun dried meat (dendeng), shredded diced beef (abon sapi) and shredded diced pork (abon babi) using ESR *Bruker spectroscopy* have been studied. The samples were packed in plastic vacuum packed pouches of 10 grams, and irradiated using gamma ray from radioisotope ^{137}Cs with doses 0; 2.5 and 5 kGy, respectively. The irradiation was treated in temperature $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. The investigation of trapped free radicals produced during irradiation and measurement of ESR spectrum based on signal intensity. The observation was conducted immediately after irradiation and every week up to 7 weeks. The results showed that the spectrum of irradiated dendeng, abon sapi and abon babi could be distinguished in spectrum 3447 Gauss. All of ESR signal intensity of irradiated dendeng and abon increased significantly as irradiated dose up to 5 kGy. ESR signal intensity of irradiated abon sapi and abon babi decreased immediately after 1 week storage time while ESR signal intensity of dendeng was stable up to 7 weeks storage time.

PENDAHULUAN

Makanan iradiasi bukanlah sesuatu yang baru, karena lebih dari 40 tahun penelitian sudah dilakukan. Iradiasi terhadap bahan makanan seperti produk daging, unggas, perikanan, dan buah sudah banyak dilakukan. The joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food pada tahun 1980 telah menetapkan iradiasi pangan dengan dosis maksimum 10 kGy aman untuk dikonsumsi (1). Pada tahun 2003 Komisi Codex Alimentarius gabungan FAO/WHO telah melakukan revisi (Codex Stan 106-1983, Rev. 1-2003) tentang batasan dosis terserap lebih besar 10 kGy untuk keperluan khusus (2), hanya digunakan berdasarkan legitimasi sesuai dengan kebutuhan teknologi yang ditujukan untuk hygiene pangan (2 dan 3).

Bahan pangan yang telah mengalami iradiasi, secara umum masih sulit dibedakan dengan kontrol, oleh karena itu usaha deteksi makanan iradiasi perlu dikembangkan.

DESROSIER *et al.* (4) melaporkan bahwa metode yang paling cepat untuk deteksi makanan iradiasi yaitu menggunakan alat Electron Spin Resonance (ESR). Beberapa latar belakang pengembangan deteksi makanan iradiasi bertujuan untuk kontrol dalam perdagangan internasional terhadap makanan iradiasi, mengawasi masalah label, menghindari iradiasi ulang, kontrol dosis serap dan homogenitas terhadap distribusi dosis. BOGL (5) menyatakan bahwa identifikasi makanan iradiasi dengan teknik ESR dapat diterapkan analisis rutin dan deteksi radikal bebas dengan ESR merupakan metoda secara langsung. Menurut RAFFI (6), mengemukakan bahwa setelah iradiasi dapat dengan mudah bahan makanan yang mengandung selulosa menunjukkan intensitas signalnya meningkat jika diukur dengan ESR.

Penerapan ESR sudah banyak dilakukan pada berbagai bidang dan dapat mendeteksi elektron tanpa pasangan sampai dengan konsentrasi 10^{-9} M (7 dan 8), disamping itu ESR dapat dikategorikan sebagai analisa tidak

merusak dan alat ini dapat digunakan untuk dosimetri. DELINCEE dan EHLERMANN (9) menyatakan bahwa untuk menentukan metode deteksi makanan akibat iradiasi dapat dilihat pada perubahan biologi, fisika dan kimia tetapi beberapa kasus sangatlah kecil perubahannya. Perubahan tersebut sama halnya terjadi pada pengawetan makanan jenis lainnya. Metoda yang dapat dipercaya untuk menunjukkan perbedaaan antara perlakuan iradiasi dan tidak iradiasi yaitu dengan alat ESR seperti perlakuan iradiasi pada bebuahan, daging atau ikan yang mengandung jaringan kulit keras, tulang atau kulit luar yang keras, makanan kering, rempah-rempah, sayuran kering, biji-bijian. BOGL (10) melaporkan ESR juga dapat mendeteksi pada biji pada buah seperti strawberry dan biji lemon. SWALLOW (11) mengemukakan bahwa pentingnya identifikasi makanan iradiasi untuk memberikan bukti informasi makanan tersebut diproses dengan iradiasi untuk tujuan keamanan pangan terutama deteksi tulang dengan menggunakan ESR. Menurut DELINCEE (12) telah memberi gambaran bahwa hasil aplikasi teknik ESR dapat digunakan untuk mendeteksi sayuran kering, jamur, beberapa rempah-rempah, flavor, dan bahan tambahan yang diawetkan dengan radiasi ionisasi. Signal ESR akan terlihat stabil, jelas dan spesifik serta dapat dibedakan antara yang iradiasi dan kontrol, bila bahan tersebut disinari dengan sinar gamma dan elektron dengan energi 10 MeV. Sedang kestabilan dari pada signal ESR tergantung dari kondisi penyimpanan bahan pangan dan tidak ada perbedaan terhadap bentuk dan intensitas spektrum ESR dengan dosis yang sama antara sinar gamma dan elektron.

Penelitian terbentuknya radikal bebas di dalam radiolisis produk daging kering dilakukan untuk mengetahui kemungkinan penggunaan ESR untuk mengidentifikasi dendeng dan abon iradiasi. Pembentukan radikal bebas sebenarnya tidak hanya karena iradiasi saja, tetapi dapat terjadi oleh perlakuan yang lainnya seperti pemutusan ikatan secara termal, fitokimia, transfer elektron oleh ion anorganik, dan elektrolisis (13). Salah satu kendala dari metode ini ialah adanya radikal bebas yang stabil sebelum iradiasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari intensitas signal, spektrum dan kestabilan intensitas signal ESR dendeng dan abon yang diukur sampai dengan 7 minggu penyimpanan sebelum dan sesudah iradiasi.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Bahan. Bahan untuk penelitian ialah dendeng dan abon yang diperoleh dari toko swalayan di Indonesia dan Philadelphia USA.

Dendeng sapi cap A dan abon sapi cap B berasal dari toko swalayan Indonesia, sedang abon sapi cap C dan abon babi berasal dari toko swalayan Philadelphia, USA. Sampel dikemas vakum dengan kemasan film vacuum packed. Berat total tiap jenis masing-masing sampel dendeng sapi, abon sapi dan abon babi adalah 10 gram.

Peralatan. Iradiator gamma ^{137}Cs berlokasi di United State Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Eastern Regional Research Center. Sumber energi berkekuatan 114.249 Ci dengan laju dosis 0,103 kGy/jam. Instrumen yang digunakan ialah Bruker Instrumen type EMS 104 EPR Analyzer buatan Jerman dan kuvet sampel yang digunakan berdiameter 4 mm untuk mengukur radikal bebas sampel. CEM analyzer digunakan untuk mengukur kadar air.

Metode penelitian. Dendeng dan abon dikelompokkan menurut dosis iradiasi (0; 2,5 dan 5 kGy). Sampel diiradiasi dengan kondisi suhu $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Selama iradiasi sampel suhu dikontrol dengan cara dialiri N_2 cair keruang iradiasi gamma cell. Segera setelah iradiasi sampel ditimbang dengan berat berkisar 0,05 g, lalu dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur tinggi sampel ± 10 mm. Pengamatan dilakukan setiap 1 minggu sekali sampai dengan 7 minggu penyimpanan. Sebelum dilakukan pengukuran, alat dikalibrasi sesuai dengan prosedur standar dari peralatan ESR (14). Kondisi pengukuran spektrum ESR dilakukan pada power 12,56 mW, sweep with 100,00 G, modulation 8,02 G, sweep time 10,49 s, filter T.C' 20,48 ms, receiver gain 30 db, field offset 32,72 G, number of sweeps 3. sample height 10 mm dan pengukuran dilakukan pada suhu kamar ($26 ^\circ\text{C}$). Kadar air ditentukan berdasarkan teknik microwave dengan alat CEM analisis. Pengukuran kadar air sampel dilakukan 3 kali ulangan dengan setiap pengulangan dilakukan duplo. Penghitungan jumlah total radikal bebas digunakan tempo standar dengan pelarut isooktan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interaksi radiasi pengion dengan bahan adalah terjadinya pemindahan energi melalui tumbukan dengan muatan di dalam bahan dan penurunan intensitas gelombang elektromagnetik ketika melewati bahan. Energi yang dipindahkan kepada bahan menimbulkan ionisasi dan eksistasi. Hasil iradiasi dendeng dan abon dengan dosis 0; 2,5 dan 5 kGy pada suhu $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ dapat dideteksi radikal bebasnya menggunakan ESR Bruker spectroscopy. Intensitas signal radikal bebas yang terbentuk akibat proses radiolisis pada sampel yang diiradiasi hanya menghasilkan radikal bebas yang stabil pada

suhu kamar (26 °C) yaitu kondisi pada saat pengukuran. Dari hasil pengamatan kadar air sampel dendeng dan abon yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar air sampel berkisar antara 7 sampai 15 %. Terlihat dari tabel bahwa kadar air sampel yaitu dendeng cap A, abon sapi cap B, abon sapi cap C dan abon babi masing-masing adalah 11, 8, 15 dan 7 %.

Bentuk masing-masing spektrum ESR dendeng dan abon tersaji pada Gambar 1 Terlihat bahwa bentuk spektrum dendeng iradiasi dapat dibedakan secara nyata dari abon sapi dan babi pada pusat spektrum 3447 Gauss. Sedang sampel dendeng dan abon sapi cap C spektrum kontrol terlihat berbeda dengan sampel abon sapi cap B dan abon babi. Hal ini diduga sampel dendeng dan abon sapi cap C kandungan air sampel lebih tinggi dari pada sampel abon sapi cap B dan abon babi. Hasil percobaan sebelumnya menunjukkan bahwa bahan pangan yang mengandung kadar air diatas 15 % cukup sulit untuk mendapatkan spektrum. Hasil ini didukung dari penelitian SUDIRO dkk (7 dan 8) terhadap produk kering seperti rempah dan biji-bijian kadar airnya tidak melebihi 15 %. GILDEWELL et al. (15) spektrum ESR pada biji buah yang diiradiasi dengan kadar air dibawah 15 % lebih jelas dari pada biji buah dilakukan pembahasan secara in situ.

Intensitas signal ESR sampel dendeng dan abon setelah perlakuan iradiasi berkorelasi secara langsung terhadap kenaikan dosis iradiasi. Hubungan antara intensitas signal dan dosis iradiasi disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa dengan naiknya dosis iradiasi intensitas signal ESR semua sampel iradiasi meningkat sebanding dengan jumlah radikal yang terbentuk. Jika kenaikan intensitas signal masing-masing sampel dinyatakan dalam persentase kenaikan terhadap kontrol maka perlakuan iradiasi dosis 2,5 dan 5 kGy pada sampel dendeng dan abon babi masing-masing 94,89 % dan 98,16 % serta 96,38 % dan 98,19 % lebih tinggi bila dibandingkan abon sapi cap B dan C masing-masing yaitu 64,19 % dan 82,16 % serta 70,14 % dan 75,93 %. Menurut STEWART et al. (16) melaporkan kulit udang lobster Norway yang diiradiasi dengan kenaikan dosis iradiasi dari dosis 1 sampai 5 kGy secara nyata intensitas signal meningkat secara linear tetapi untuk beberapa sampel yang berbeda akan memberikan respon kenaikan intensitas signal ESR terhadap dosis iradiasi naik secara kuadratik. Sedang pada Tabel 2 disajikan jumlah total radikal masing-masing sampel dendeng dan abon iradiasi. Penghitungan jumlah radikal bebas sampel merupakan total radikal yang terbentuk akibat iradiasi. Standar radikal bebas digunakan untuk menghitung jumlah radikal bebas yaitu tempo standar. Adapun spektrum dari tempo

standar yang dilarutkan dengan isooktan dapat dilihat pada Gambar 3. Bila tempo standar yang diiradiasi dengan sinar gamma akan menghasilkan produk yang stabil. Pada prinsipnya, dosis yang terserap oleh tempo standar sebanding dengan puncak radikal tempo yang dihasilkan, sedang jumlah radikal tempo sebanding dengan luas spektrum ESR dan bentuk spektrum tempo standar ada 6 puncak.

Selama penyimpanan, radikal bebas yang mempunyai umur pendek akan segera turun, sehingga intensitas signal akan mendekati spektrum kontrol. Hasil pengamatan dari sampel iradiasi dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6 dan 7. penurunan intensitas signal mungkin disebabkan radikal yang terbentuk menjadi stabil, disamping itu bahwa radikal juga dapat bereaksi dengan oksigen dari udara. SOFYAN (17) mengatakan bahwa sebagian besar radikal bebas sangat mudah bereaksi dan umurnya tidak dapat diisolasi. Dari percobaan yang dilakukan SUDIRO dkk (7 dan 8) dilaporkan bahwa jumlah total radikal bebas yang dihitung berdasarkan luas spektrum ESR (arbitrary unit) sampel rempah-rempah dan biji-bijian iradiasi menurun seperti eksponensial sampai mendekati kontrol selama penyimpanan. Hal yang sama hasil percobaan SHIEH et al. (13) juga mengatakan bahwa intensitas signal ESR bahan makanan akan turun terhadap waktu penyimpanan walaupun dalam jumlah kecil.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa sampel dendeng yang diukur sampai 7 minggu penyimpanan menunjukkan intensitas signalnya stabil dan berbeda terhadap sampel abon sapi dan babi. Untuk sampel abon sapi dan babi menunjukkan intensitas signal setelah 1 minggu penyimpanan menurun dengan tajam. Terlihat abon sapi cap C menunjukkan jumlah radikal yang paling rendah, ternyata setelah 4 minggu penyimpanan perlakuan iradiasi sampai dosis 5 kGy intensitas signalnya sudah mendekati kontrol. Sedang untuk abon sapi cap B dan babi intensitas signalnya turun terhadap waktu sampai 7 minggu penyimpanan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian STEWART et al. (15) melaporkan kulit udang lobster Norway yang diiradiasi dosis 5 kGy terjadi penurunan sangat nyata terhadap intensitas signalnya yang diamati selama 7 hari penyimpanan. Sedang komponen bahan pangan yang diiradiasi tergantung dari komposisi atau struktur bahan yang diiradiasi. Disamping itu, metoda pengolahan juga memberikan pengaruh yang nyata terhadap intensitas signal karena setiap proses pengolahan dapat memberikan kontribusi terjadinya radikal bebas.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa adanya korelasi antara intensitas signal dan dosis iradiasi sampel dendeng dan abon meningkat segera setelah iradiasi. Ternyata bentuk spektrum ESR dendeng dapat dibedakan dengan abon pada spektrum 3447 Gauss dan sampel dendeng sapi cap A menunjukkan spektrumnya stabil selama 7 minggu penyimpanan, sedang sampel lainnya abon sapi dan abon babi selama penyimpanan intensitas signalnya turun secara nyata dalam 1 minggu penyimpanan terus turun dan akan stabil mendekati kontrol dengan waktu penyimpanan sampai 7 minggu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dr. Donald W. Thayer beserta staf terkait di Laboratorium Food Safety Unit USDA, ARS, ERRC, Philadelphia, USA yang telah membimbing dan membantu selama pelaksanaan penelitian serta Drs. Sutjipto Sudiro dari Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN yang telah memberi masukan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. DIEHL, J.F., Achievements in food irradiation during the 20th century. LOAHARANU, P. dan THOMAS, P. (ed). Irradiation for food safety and quality. Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, Pennsylvania 17604 USA (2001).
2. IAEA (International Atomic Energy Agency), Twentieth Annual Meeting of the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI) Summary Report. Geneva Switzerland 7-9 October 2003, IAEA, Vienna (2004).
3. TANHINDARTO, R.P. dan IRAWATI, Z., Status litbang pengawetan makanan menggunakan radiasi. Seminar nasional XIV Kimia dalam Industri dan Lingkungan. Yogyakarta 13-14 Desember, (2005).
4. DESROSIERS, M., BENSEN, D., dan YACZKO, D., Commentary on optimization of experimental parameters for the esr detection of the cellulosic radical in irradiated foodstuffs, International J. of Food Sci. and Tech., 30 (1995) 675.
5. BOGL, K.W., Methods for identification of irradiated food. Radiat. Phys. Chem. Vol. 35 (1 - 3) (1990) 301 - 310.
6. RAFFI, J., ESR identification of irradiated foodstuffs : Larqua Researches. MCMURRAY, C.H., STEWART, E.M., GRAY, R., PEARCE, J. (ed), Detection Methods for Irradiated Foods, Current Satus. The Royal Society of Chemistry (1996).
7. SUDIRO, S., PURWANTO, Z.I., JAMIL, A. HIDAYATI, N., Aplikasi ESR untuk identifikasi bahan pangan iradiasi. I. Lada hitam, Lada putih, Ketumbar, dan kayu manis, Majalah Farmasi Indonesia, 5, 3 (1994) 116.
8. SUDIRO, S., PURWANTO, Z.I., SUDRADJAT, A., HIDAYATI, N., Aplikasi ESR untuk identifikasi bahan pangan iradiasi. II. Beras, Ketan, Kacang hijau, Jagung, dan Gandum, Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, Buku I Proses Radiasi, Industri dan Lingkungan, 13 - 15 Desember, Jakarta (1994).
9. DELINCEE, H. dan EHLERMANN, D. A. E., Recent Advances in the Identification of Irradiated Food. Journal of Radiat. Phys. Chem. Vol.34 (6), (1989) 877.
10. BOGL, K.W., Identification of irradiated foods - Methods, development and concepts. Journal of Appl. Radiat. Isot. Vol. 40 (10 - 12), (1989)1203.
11. SWALLOW, A.J., Chemical Effects of Irradiation. ELLIAS, P.S. dan COHEN, A.J.(ed.) Radiation Chemistry of Major Food Components, Its relevance to the assesment of the wholesomeness of irradiated foods. Elsevier Scientific Publishing Company (1977).
12. DELINCEE, H. Control of irradiated food : Recent developments in analytical detection methods. Radiat. Phys. Chem. Vol.42 (1 - 3), (1993) 351.
13. SHIEH, J.J. dan WIERBICKI, E., Free radicals formation and decay in irradiated spices, Proceedings of an International symposium on Food Irradiation and Agriculture Organization of The United Nations and Health in Washington, D.C., 4 - 8 Maret, (1985).
14. MAIER D.C. dan SUCH P., EMS 104 EPR analyzer. User's manual version 1.0. Bruker Analytische Messtechnik, Germany, (1992).

15. GLIDEWELL, S.M., DEIGHTON, N., MORRICE, A.E., dan GOODMAN, A., Time course study of the epr spectra of seeds of soft fruit irradiated in wet and dry states. McMURRAY, C.H., STEWART, E.M., GRAY, R., dan PEARCE, J. (ed.), Detection methods for irradiated foods, current status. The Royal Society of Chemistry, Cambridge CB4-4WF, UK, (1996). p 45.
16. STEWART, E.M., STEVENSON, M.H. dan GRAY, R., Detection of irradiation treatment in crustacea by electron spin resonance (esr) spectroscopy. McMURRAY, C.H., STEWART, E.M., GRAY, R., dan PEARCE, J. (ed.), Detection methods for irradiated foods, current status. The Royal Society of Chemistry, Cambridge CB4-4WF, UK, (1996). p 33.
17. SOFYAN, Nitrobenzen sebagai perangkap spin radikal hidrosinitrosikloheksadienil, Tesis S2, Program studi kimia organik, Program Pasca Sarjana, UNPAD, Bandung, (1990).

Tabel 1. Kadar air sampel dendeng dan abon.

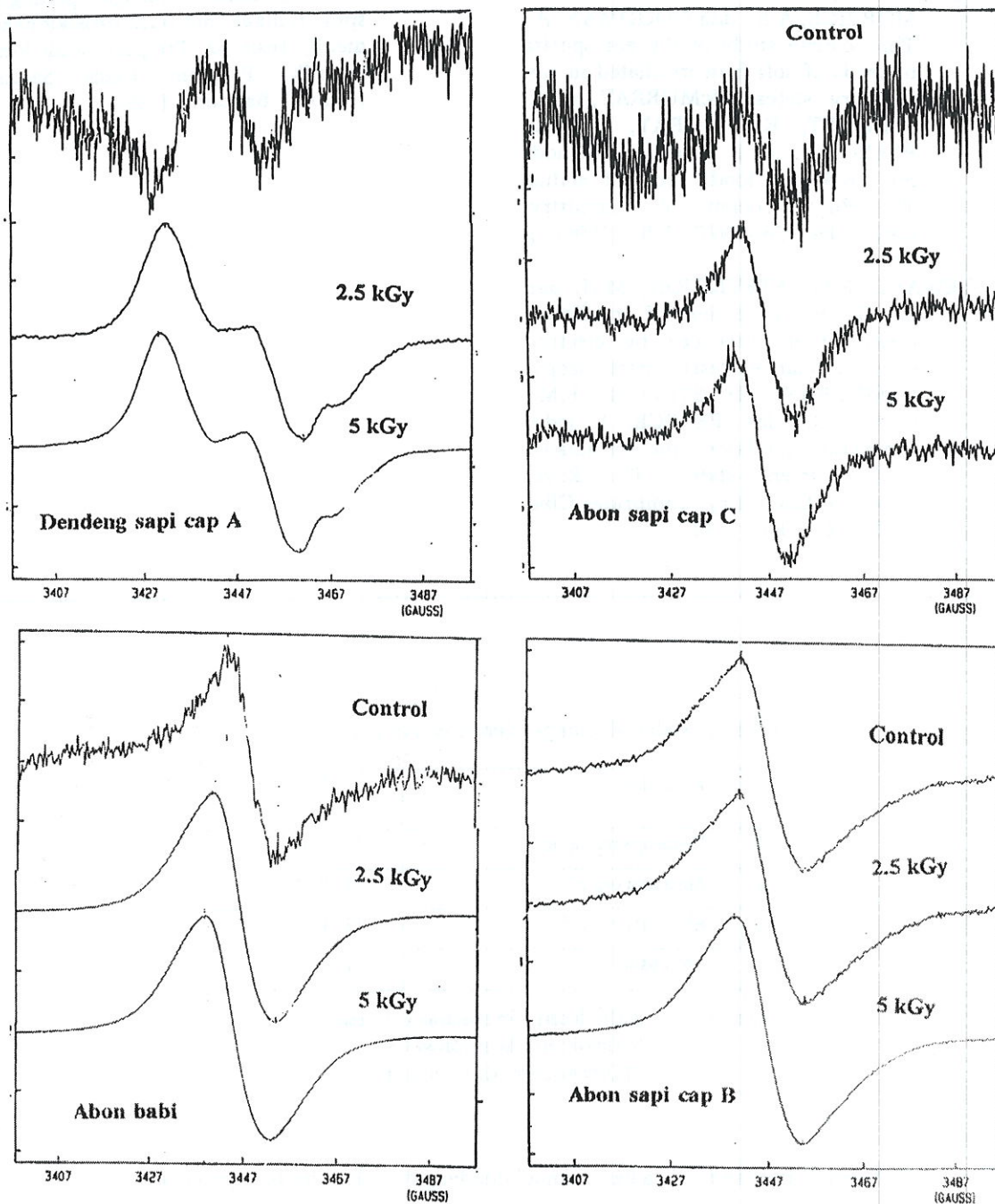
No.	Komoditas	Kadar air (%)
1.	Dendeng sapi cap A ^{a)}	11 ± 0,01
2.	Abon sapi cap B ^{a)}	8 ± 0,01
3.	Abon sapi cap C ^{b)}	15 ± 0,01
4.	Abon babi ^{b)}	7 ± 0,01

Keterangan : a) Dibeli dari toko swalayan Indonesia
 b) Dibeli dari toko swalayan USA
 *) Data diperoleh dari 3 ulangan

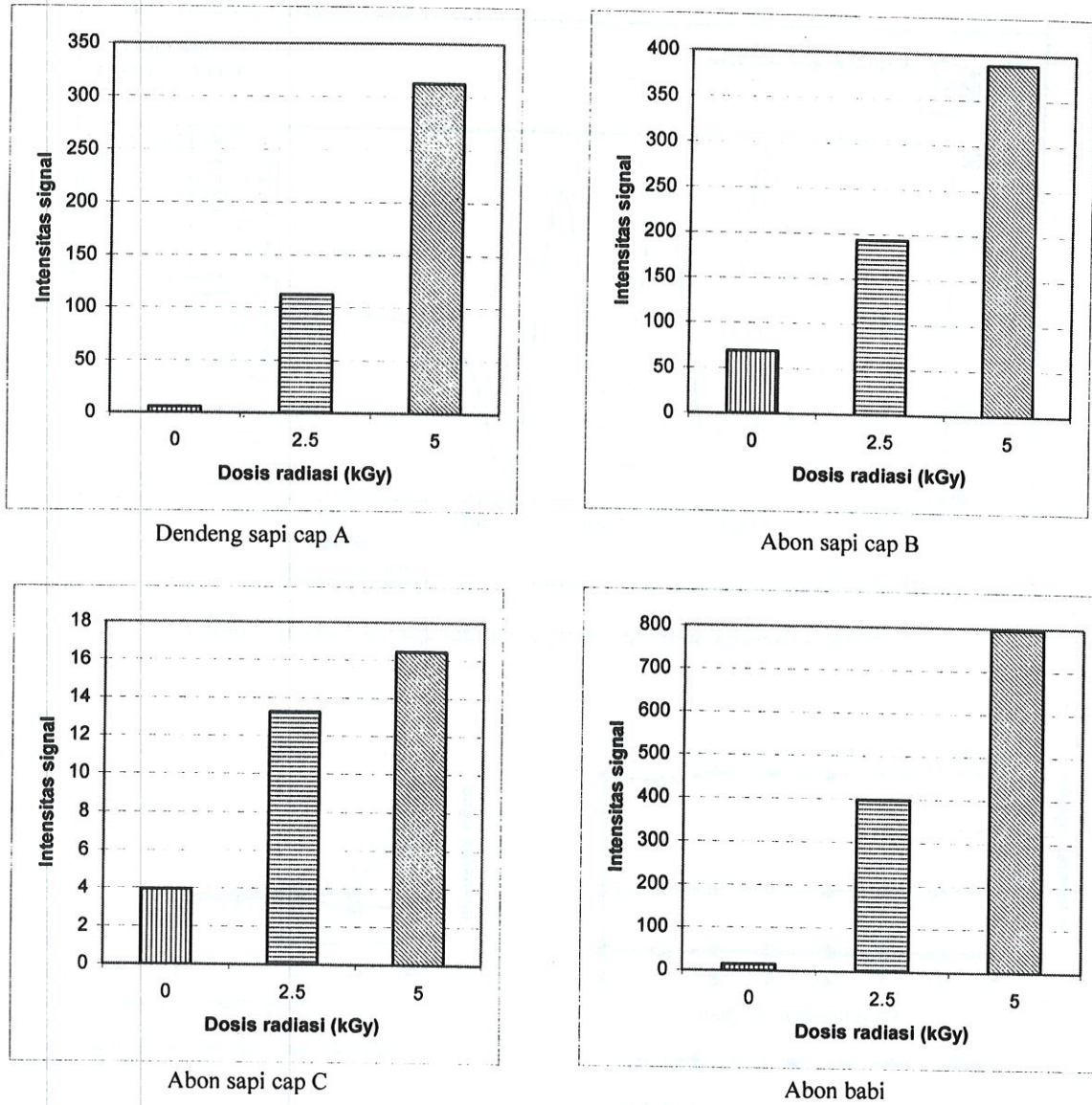
Tabel 2. Jumlah total radikal sampel dendeng dan abon iradiasi (molekul/gram).

No.	Komoditas	Dosis iradiasi (kGy)		
		0	2,5	5,0
1.	Dendeng sapi cap A ^{a)}	5,383 x 10 ¹⁴	5,961 x 10 ¹⁴	1,308 x 10 ¹⁵
2.	Abon sapi cap B ^{a)}	3,524 x 10 ¹⁴	1,105 x 10 ¹⁵	1,874 x 10 ¹⁵
3.	Abon sapi cap C ^{b)}	3,030 x 10 ¹³	1,019 x 10 ¹⁴	1,028 x 10 ¹⁴
4.	Abon babi ^{b)}	1,318 x 10 ¹⁴	2,041 x 10 ¹⁵	2,968 x 10 ¹⁵

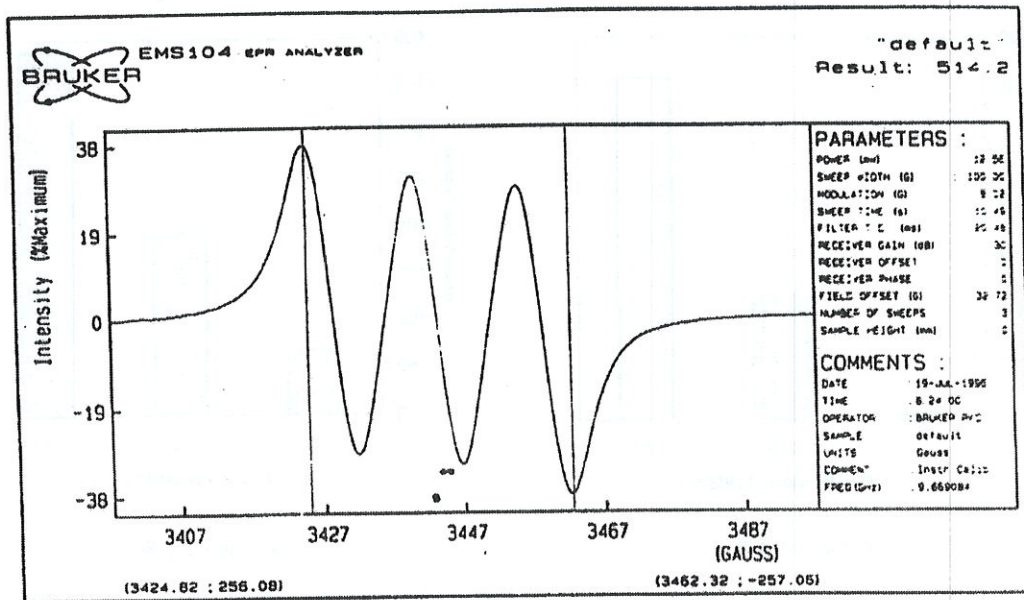
Keterangan : a) Dibeli dari toko swalayan Indonesia
 b) Dibeli dari toko swalayan USA



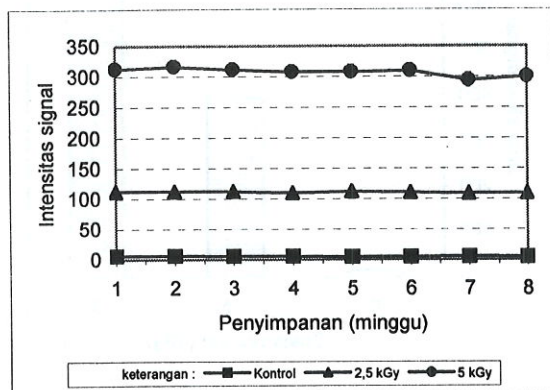
Gambar 1. Bentuk spektrum ESR dendeng dan abon yang diiradiasi dengan sinar gamma ^{137}Cs dengan dosis 0; 2,5; dan 5 kGy pada suhu $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.



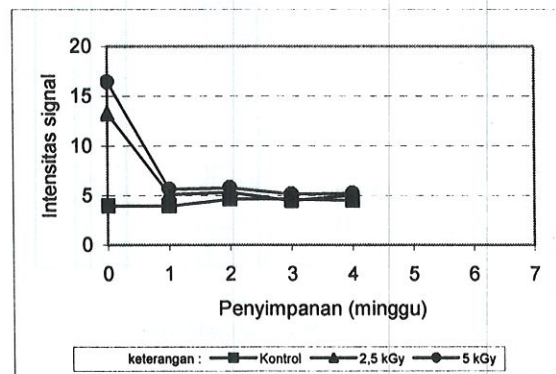
Gambar 2. Intensitas signal ESR dendeng dan abon yang diiradiasi dengan sinar gamma ^{137}Cs dengan dosis 0; 2,5; dan 5 kGy pada suhu $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.



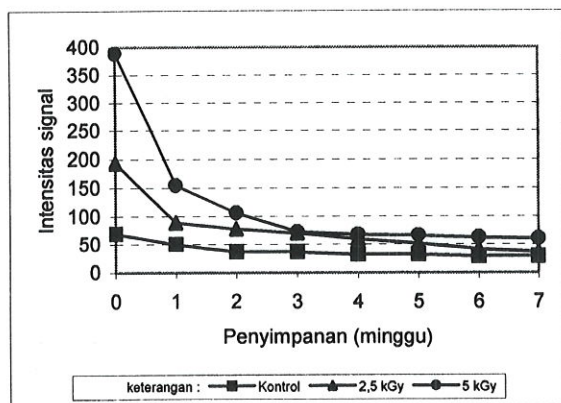
Gambar 3. Bentuk spektrum tempo standar dengan pelarut isooktan.



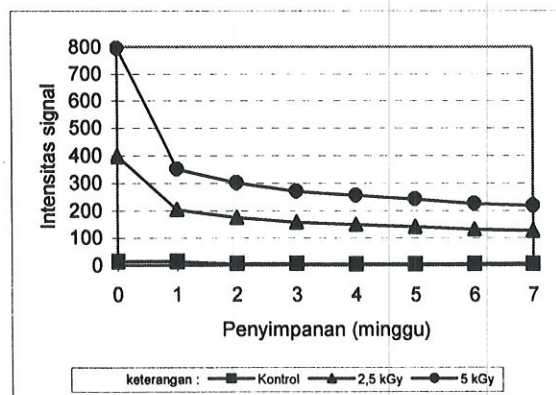
Gambar 4. Hubungan antara intensitas signal ESR dendeng sapi cap A dan waktu penyimpanan.



Gambar 6. Hubungan antara intensitas signal ESR abon sapi cap C dan waktu penyimpanan.



Gambar 5. Hubungan antara intensitas signal ESR abon sapi cap B dan waktu penyimpanan.



Gambar 7. Hubungan antara intensitas signal ESR abon babi dan waktu penyimpanan.