

Laktosa Sebagai Material Dosimeter ESR Dosis Tinggi

Lactose as High Dose ESR Dosimeter Material

Arif Rachmanto^{1,2}, Ade Lestari Yunus², A. Rasyid Syahputra², Nunung Nuraeni²,
Budhy Kurniawan¹

¹ Universitas Indonesia, Depok dan 16451, Indonesia

² Badan Riset Inovasi Nasional, Jalan Lebak Bulus Raya No 49, Jakarta Selatan dan 12440, Indonesia)

E-mail: budhy.kurniawan@sci.ui.ac.id

ABSTRAK

Dosimeter diperlukan untuk mengetahui ketepatan dosis radiasi yang mengenai objek radiasi. Saat ini banyak penelitian menggunakan material baru untuk pengembangan dosimeter dosis tinggi. Salah penelitian tersebut dilakukan menggunakan *Electron Spin Resonance* (ESR). Material yang dapat dijadikan dosimeter ESR adalah material yang memiliki nilai *g-value* cukup besar, garis-garis spektrum yang tajam, kestabilan sinyal yang bagus pada temperatur ruang dan jumlah radikal bebas meningkat secara linier terhadap dosis iradiasi. Kriteria ini terdapat pada material disakarida. Jenis disakarida yang sedang diteliti umumnya adalah sukrosa dan laktosa. Namun, penelitian laktosa sebagai dosimeter ESR belum banyak dilakukan. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menggali potensi laktosa sebagai dosimeter ESR. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakterisasi laktosa sebagai dosimeter ESR dosis tinggi melalui iradiasi gamma dan material yang digunakan adalah laktosa yang diiradiasi dengan irradiator gamma. Pengujian yang dilakukan untuk mengkonfirmasi karakteristik laktosa sebagai dosimeter dosis tinggi adalah pengujian ESR berupa linieritas respon terhadap dosis iradiasi, *microwave power*, *g-value*, waktu kestabilan respon, peluruhan respon terhadap waktu, dan pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui perubahan gugus fungsi laktosa setelah iradiasi yang diduga menjadi penyebab munculnya sinyal ESR. Laktosa iradiasi memiliki respon linier terhadap dosis iradiasi pada rentang 250Gy – 80 kGy, waktu respon stabil 2 hari setelah iradiasi, *g-value* laktosa iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy secara berturut-turut $1,9991 \pm 0,0002$, $1,9991 \pm 0,0003$, dan $1,9989 \pm 0,0001$, terdapat gugus fungsi karbonil pada laktosa iradiasi 15 kGy dengan masa simpan 7 dan 23 hari, dan terdapat gugus fungsi nitro pada laktosa iradiasi 10 kGy dan 15 kGy dengan masa simpan 23 hari. Ada kemungkinan terbentuknya gugus fungsi karbonil dan nitro disebabkan radikal bebas yang terbentuk karena iradiasi berekombinasi dengan oksigen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa laktosa cukup baik digunakan sebagai dosimeter ESR dosis tinggi (kesimpulan).

Kata kunci: laktosa, *electron spin resonance* (ESR), dosis, iradiasi, dosimeter

ABSTRACT

The dosimeter is needed to determine the accuracy of the radiation dose that hits the radiation object. Currently, many researches use new materials for the development of high-dose dosimeters. One of these researches was carried out using electron spin resonance (ESR). Material that can be used as ESR dosimeter has a large enough *g-value*, sharp spectral lines, good signal stability at room temperature and the number of free radicals increase linearly with the irradiation dose. These criteria are found in disaccharide materials. The types of disaccharides being studied generally are sucrose and lactose. However, research on lactose as an ESR dosimeter has not been widely carried out. So, it is necessary to do further research to explore the potential of lactose as an ESR dosimeter. This research aims to analyze the characterization of lactose as a high dose ESR dosimeter by gamma irradiation and material used is lactose irradiated with a gamma irradiator. The test carried out to confirm the characteristics of lactose as a high dose dosimeter is ESR testing in the form of the linearity of the response of irradiated lactose to irradiation dose, microwave power, *g-value*, response decay over time, response stability time, and Fourier Transform Infrared (FTIR) testing to determine changes in lactose functional groups after irradiation which are thought to be the cause of the appearance of the ESR signal. Irradiated lactose has a linier response to irradiation doses in the range 250 Gy – 80 kGy, response time is stable 2 days after irradiation, *g-value* of irradiated lactose 5 kGy, 10 kGy and 15 kGy respectively $1,9991 \pm 0,0002$, $1,9991 \pm 0,0003$, dan $1,9989 \pm 0,0001$, there is a carbonyl functional group in irradiated lactose 15 kGy with a shelf life of 7 and 23 days, and there is a nitro functional group in irradiated lactose 10 kGy and 15 kGy with a shelf life of 23 days. It is possible that the formation

of carbonyl and nitro functional groups is caused by free radicals formed due to irradiation recombine with oxygen. These results indicate that lactose is good for use as a high dose ESR dosimeter.

Keywords: lactose, electron spin resonance (ESR), dose, irradiation, dosimeter

PENDAHULUAN

Ada beberapa jenis radiasi pengion, salah satunya adalah radiasi gamma. Radiasi gamma banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang untuk tujuan sterilisasi, pasteurisasi, polimerisasi, mutasi bibit unggul, dan lain sebagainya. Tujuan iradiasi akan terpenuhi jika dosis iradiasi tercapai dan radiasi tepat mengenai bahan. Dosimeter diperlukan untuk mendeteksi dosis radiasi yang mengenai suatu bahan. Berdasarkan rentang pengukuran dosis, dosimeter dibedakan menjadi tiga yaitu dosis rendah (0-1 kGy), dosis sedang (1-10 kGy) dan dosis tinggi (di atas 10 kGy). Contoh dosimeter dosis tinggi seperti alanine (1Gy – 100kGy), kalorimeter 100 Gy – 100kGy, clear PMMA (1 kGy – 100 kGy), dosimeter dosis sedang seperti *dyed PMMA* (100 Gy – 10 kGy), asam amino (10^{-5} Gy - 10 kGy) dan dosimeter dosis rendah seperti litium borate (10^{-5} Gy - 10 kGy), larutan Fricke (40 Gy-400Gy), alanine dan asam amino pun juga dapat pada digunakan dosis rendah [1].

Saat ini banyak dilakukan penelitian dosimeter dosis tinggi dengan material baru dan pengembangan material yang sudah ada demi mendapatkan pengukuran dosis yang baik. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan *Electron Spin Resonance*. Keuntungan dari pengukuran ESR adalah bersifat tidak merusak sehingga memungkinkan pengukuran berulang [2]. Salah satu material yang sedang diteliti adalah gula berjenis monosakarida dan disakarida. Jenis gula yang banyak diteliti adalah disakarida berjenis sukrosa. Sukrosa juga menjadi penelitian menarik untuk dosimetri darurat nuklir karena penggunaannya yang luas, sensitivitas radiasi yang tinggi dan stabilitas radikal bebas yang baik yang diinduksi oleh radiasi.

Fabisiak dan Slawomir (2009) meneliti sukrosa memiliki potensi menjadi dosimeter Uv-Vis dan ESR [3]. Karakirova, Lund, dan Yordanov (2008) meneliti sukrosa dapat mendeteksi iradiasi

gamma dan ion nitrogen. Spektrum ESR sukrosa diiradiasi dengan gamma dan ion nitrogen serupa [4]. Gula disakarida lain yang diteliti untuk menjadi dosimeter adalah laktosa. Namun penelitian laktosa sebagai dosimeter tidak sebanyak sukrosa. Hasan, Ikeya dan Toyoda (1998) meneliti litium laktat dan laktosa sebagai dosimeter ESR. Hasil penelitiannya adalah litium laktat dan laktosa dapat digunakan sebagai dosimeter ESR dan sensitivitas litium laktat 0,3x lebih tinggi dari laktosa [5]. Amrei, Khierkah dan Raisali (2012) meneliti larutan laktosa dan sukrosa untuk mendeteksi iradiasi elektron. Respon absorban mulai stabil setelah 9 hari selesai iradiasi [6].

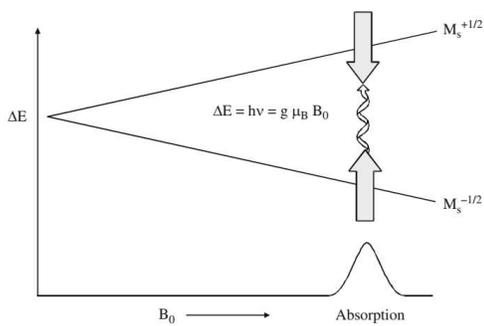
Keberadaan laktosa dan sukrosa mudah ditemui di sekitar kita dan harganya pun terjangkau. Sukrosa memiliki sinyal ESR cukup stabil, tidak beracun dan tersedia dalam bentuk kristal murni [7]. Material yang dapat dijadikan dosimeter ESR seharusnya memiliki nilai *g-value* (jumlah pasangan radikal stabil per energi radiasi 100 eV), garis-garis spektrum yang tajam dan kestabilan sinyal yang bagus pada temperatur ruang [8]. Selain itu jumlah radikal bebas meningkat secara linier terhadap dosis merupakan syarat material dapat digunakan sebagai dosimeter ESR [9]. Kriteria ini terdapat pada material disakarida. Namun, penelitian laktosa sebagai dosimeter ESR belum banyak dilakukan. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menggali potensi laktosa sebagai dosimeter ESR. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakterisasi laktosa sebagai dosimeter ESR dosis tinggi melalui iradiasi gamma. Keterbaruan penelitian ini terletak pada pengaruh besar dosis iradiasi terhadap nilai *g-value*, rentang power sweep yang bisa digunakan pada pengukuran sampel laktosa iradiasi dengan esr, waktu terjadinya kestabilan intensitas ESR dan mekanisme peluruhan radikal bebas.

TEORI/PERHITUNGAN

Elektron spin resonance (ESR) merupakan alat yang digunakan untuk mempelajari molekul

dan unsur yang memiliki elektron bebas atau tidak berpasangan. Pada ESR terjadi efek zeeman dan *hyperfine interaction* (interaksi hyperfine). Efek zeeman terjadi karena interaksi antara elektron bebas dan medan magnet. Elektron memiliki momen magnet seperti halnya kompas atau magnet batang saat ditempatkan di dalam medan magnet. Karena energi terkuantisasi, satu elektron bebas hanya diperbolehkan memiliki dua keadaan energi dan spin elektron $\frac{1}{2}$ sehingga keadaan parallel $m_s = -1/2$ dan keadaan antiparalel $m_s = \frac{1}{2}$ [10].

Ketika diberikan energi elektromagnetik *microwave* yang bersesuaian dengan energi pisahnya maka terjadi penyerapan energi oleh sampel dan terjadi resonansi spin akibat frekuensi/energi yang diberikan. Resonansi merupakan keadaan ketika spin elektron menyerap energi gelombang mikro [11]



Gambar 1. Energi elektron bebas menjadi dua energi keadaan pada spin berbeda saat diberikan medan magnet.

Elektron memiliki momen magnet seperti halnya kompas atau magnet batang saat ditempatkan di dalam medan magnet. Karena energi terkuantisasi, satu elektron bebas hanya diperbolehkan memiliki dua keadaan energi dan spin elektron $\frac{1}{2}$ sehingga keadaan parallel $m_s = -1/2$ dan keadaan antiparalel $m_s = \frac{1}{2}$. Perbedaan antara kedua energi ini disebabkan oleh interaksi spin elektron dengan medan magnet, dengan besar energi:

$$\Delta E = g \mu_B B_0 \Delta m_s \dots \dots (1)$$

Perbedaan kedua spin $\Delta m_s = \pm 1$, energi $E = h\nu$ diperlukan untuk menyebabkan terjadinya transisi kedua spin ini maka persamaan (1) menjadi:

$$\Delta E = g \mu_B B_0 = h\nu \dots \dots (2)$$

$$g = \frac{h\nu}{\mu_B B_0} \dots \dots \dots (3)$$

di mana

$g = G\text{-Value}$

$h =$ Konstanta Planck = $6,626 \times 10^{-34} \text{ JS}^{-1}$

$\nu =$ frekuensi yang digunakan pada ESR (Hz)

$\mu_B =$ magneton bohr = $9,2740 \times 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$

$B_0 =$ medan magnet yang digunakan (Tesla)

Dua hal yang dapat diambil dari persamaan (1), (2) dan Gambar 1 adalah kedua spin memiliki energi sama saat tidak ada medan magnet dan besarnya perbedaan kedua energi linier terhadap medan magnet. Karena perbedaan kedua energi spin dapat divariasikan dengan perubahan medan magnet, maka ada dua pendekatan untuk mendapatkan spektrum. Pendekatan pertama medan magnet dibuat konstan dan frekuensi gelombang mikro dapat diubah. Pendekatan kedua frekuensi gelombang mikro dibuat konstan dan medan magnet dapat diubah. Pendekatan pertama cukup sulit sehingga umumnya elektron spin resonance menggunakan pendekatan kedua dalam pengoperasiannya [10].

Interaksi antara elektron dengan inti atom disebut interaksi struktur sangat halus (*hyperfine interaction*). Interaksi ini disebabkan oleh medan magnetik yang dihasilkan oleh pergerakan elektron di sekitar inti. Interaksi spin menyebabkan *splitting* struktur halus (*fine structure*) pada garis spektrum menjadi komponen yang lebih kecil yang disebut sebagai struktur sangat halus (*hyperfine structure*). Struktur *hyperfine* 1000x lebih kecil dibandingkan *fine structure*.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah laktosa dari Leprino dengan kandungan minimal 99,3% laktosa, maksimal 0,3% protein dan maksimal 0,3% lemak. Alat yang digunakan adalah MiniScope MS5000 EPR Spectrometer dari Magnattech, Gamma Cell 220 Upgraded dan Spektro *Infrared* IR Prestige 21.

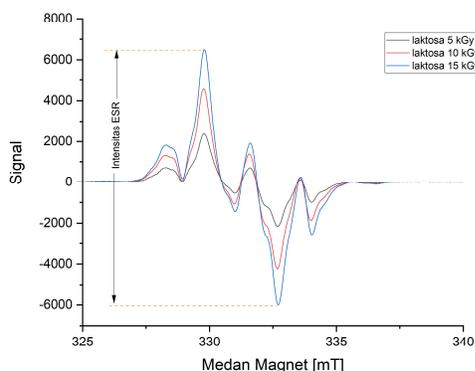
Laktosa bubuk ditempatkan ke dalam pot urine ukuran 100 mL dan diiradiasi dengan sinar gamma dari dosis 250 Gy hingga 80 kGy. Laju

dosis iradiasi yang digunakan adalah 3,1 kGy/jam. Pengujian linieritas diukur dengan cara mengukur jumlah radikal bebas dan intensitas sinyal ESR terhadap dosis serap iradiasi sampel. Standar radikal bebas yang digunakan adalah DPPH (1,1-difenil-2-pikrihidrazil). DPPH dilarutkan dengan benzena dan jumlah radikal bebas yang terdapat dalam larutan digunakan sebagai standar acuan untuk menghitung radikal bebas pada laktosa yang telah diiradiasi. Jumlah radikal bebas dihitung dari perhitungan double integral pada grafik turunan pertama fungsi absorpsi pada ESR. Jumlah radikal bebas sampel dapat dihitung dengan persamaan di bawah:

$$\frac{\text{Double Integral Sampel}}{\text{Double Integral DPPH}} * \text{jumlah radikal bebas DPPH} \dots (4)$$

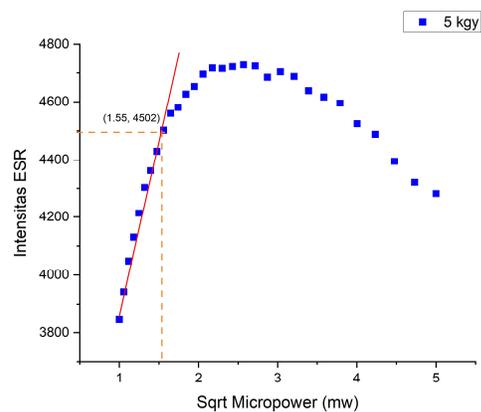
Pengukuran ESR dilakukan pada frekuensi X-band, micropower 2mW, sweep time 60 s dan modulasi 0,20000 mT. Pengujian yang dilakukan berupa linearitas intensitas ESR dan radikal bebas terhadap dosis iradiasi, waktu kestabilan intensitas ESR dari sampel yang selesai diiradiasi, peluruhan intensitas ESR dan radikal bebas terhadap waktu dan G-Value. Semua pengujian dilakukan pada dosis 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy kecuali pengujian linieritas. Pengujian linieritas dilakukan pada rentang 250 Gy – 80 kGy. Nilai g-value dapat dicari dengan persamaan (3). Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR) dilakukan pada resolusi 2 dan jumlah scan 20. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi laktosa setelah diiradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

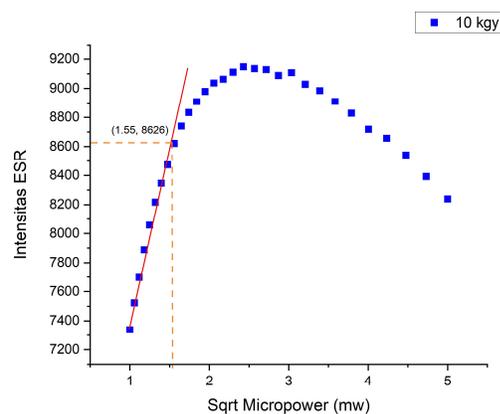


Gambar 2. Sinyal ESR laktosa diiradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy.

Gambar 2 menunjukkan sinyal esr laktosa diiradiasi dengan dosis 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy pada temperatur ruang dengan nilai g-faktor secara berturut-turut adalah $1,9991 \pm 0,0002$, $1,9991 \pm 0,0003$, dan $1,9989 \pm 0,0001$. Hasil ketiga g-faktor ini tidak jauh berbeda, hal ini menunjukkan bahwa g-faktor merupakan karakter intrinsik suatu material. Gamal M. Hassan dkk juga melakukan penelitian laktosa sebagai dosimeter ESR. Nilai g-faktor yang didapatkan $2,0043 \pm 0,0003$ [5].



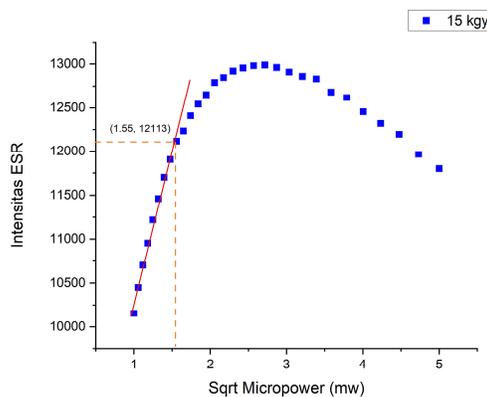
Gambar 3. Kurva power saturasi sampel laktosa iradiasi 5kGy



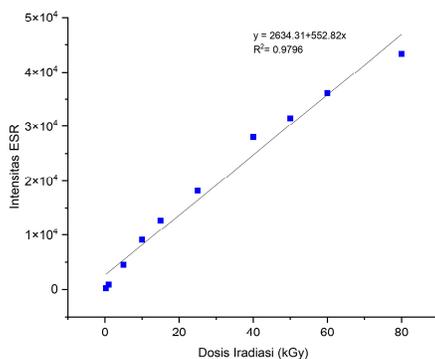
Gambar 4. Kurva power saturasi sampel laktosa iradiasi 10 kGy

Nilai $\sqrt{P_{mw}}$ (square root microwave power) digunakan untuk mengetahui keberadaan saturasi amplitudo/ intensitas ESR. Dalam literatur lain, Mailer dkk menyatakan bahwa $P_{1/2}$ pada umumnya parameter saturasi sinyal ESR [12]. $P_{1/2}$ adalah microwave power (micropower) dimana besar sinyal ESR setengah amplitude dan tidak berada di daerah saturasi. Dalam menentukan

$\sqrt{P_{mw}}$ dan $P_{1/2}$ yang optimal adalah berada dalam garis linear dan tidak berada di daerah saturasi. Pada Gambar 3,4 dan 5 batas nilai optimal $\sqrt{P_{mw}}$ yang digunakan 1,55. Nilai $\sqrt{P_{mw}}$ di atas 1,55 sudah tidak linier dan memasuki daerah saturasi. Sehingga nilai *micropower* yang dapat digunakan 2,40 mw. *Micropower* yang digunakan pada penelitian 2 mw dan nilai masih masuk nilai optimal.



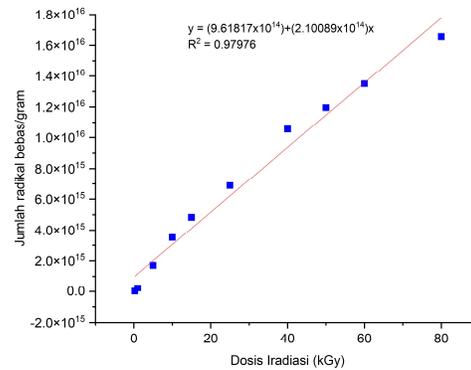
Gambar 5. Kurva power saturasi sampel laktosa iradiasi 15 kGy



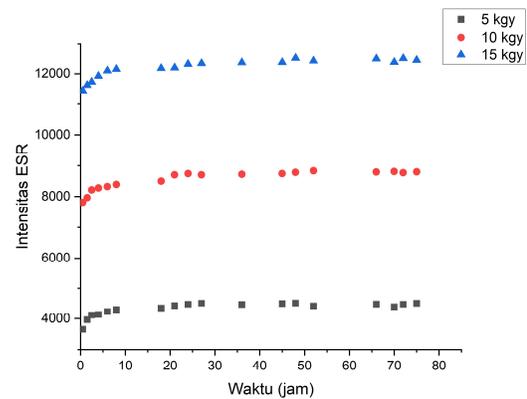
Gambar 6. Grafik linieritas antara dosis 250 Gy – 80 kGy terhadap intensitas ESR.

Secara ideal karakteristik dosimeter yang baik adalah memiliki hubungan linier antara dosis iradiasi dengan respon sampel iradiasi. Respon kualitatif sampel iradiasi yang diukur dengan ESR adalah intensitas sinyal dan respon kuantitatif sampel iradiasi yang diukur dengan ESR adalah jumlah radikal bebas. Gambar 6 dan 7 menunjukkan karakteristik linieritas antara respon sampel laktosa iradiasi dengan dosis iradiasi. Hasil keduanya menunjukkan sampel laktosa iradiasi

memiliki respon linier dari rentang dosis radiasi 250Gy – 80 kGy.



Gambar 7. Grafik linieritas antara dosis 250 Gy – 80 Gy terhadap jumlah radikal bebas.

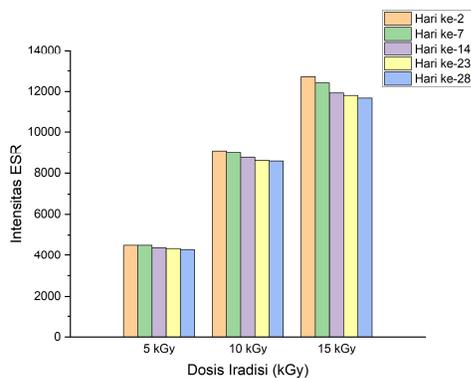


Gambar 8. Grafik kestabilan intensitas laktosa pada dosis iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy diukur dengan *Electron Spin Resonance*.

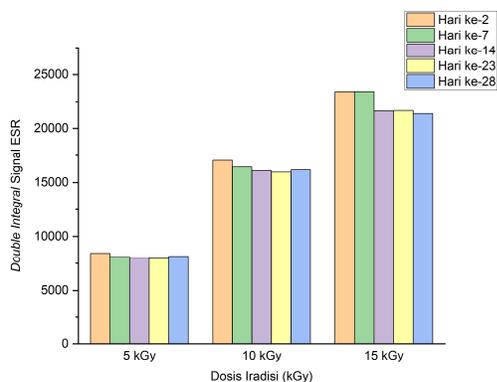
Kestabilan intensitas pada laktosa iradiasi tidak langsung terjadi setelah iradiasi. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 8. Intensitas ESR semakin lama semakin besar hingga terjadi kestabilan 48 jam setelah iradiasi baik pada dosis 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy. H. Vrielinck, dkk juga menemukan hal serupa pada penelitiannya mengenai perubahan spektrum ESR sukrosa setelah diiradiasi dengan dosis tinggi [13]. Material yang digunakan pada penelitian H. Vrielinck berbeda dengan penulis tetapi memiliki kesamaan berjenis disakarida.

Pengukuran peluruhan intensitas ESR dan radikal bebas diukur 2 hari setelah selesai iradiasi. Grafik pada Gambar 9 dan 10 menunjukkan peluruhan intensitas sinyal dan radikal bebas pada

laktosa iradiasi. Besarnya intensitas sinyal ESR berbanding lurus dengan banyaknya radikal bebas pada sampel. Peluruhan radikal bebas dihitung dari peluruhan *double integral* sinyal esr karena banding lurus dengan jumlah radikal bebas. Hasil menunjukkan semakin besar dosis iradiasi semakin cepat peluruhan intensitas sinyal dan jumlah radikal bebas meskipun ada sedikit hasil fluktuatif pada pengukuran radikal bebas.



Gambar 9. Grafik peluruhan intensitas sinyal ESR pada laktosa dengan dosis iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy.



Gambar 10. Grafik peluruhan radikal bebas pada laktosa dengan dosis iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy.

Penelitian serupa juga dilakukan Zofia Paimel dengan sampel disakarida berupa sukrosa. Dosis yang digunakan oleh Zaifa Paimel 5-50 kGy. Hasil serupa pun juga didapatkan yaitu semakin besar dosis iradiasi semakin cepat peluruhan intensitas sinyal ESR [3]. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar dosis iradiasi radikal yang terbentuk akan semakin cepat radikal bebas berekombinasi menghasilkan radikal stabil.

Tabel 1. Penurunan intensitas sinyal ESR dan jumlah radikal bebas pada laktosa iradiasi dengan dosis 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy di hari ke-28

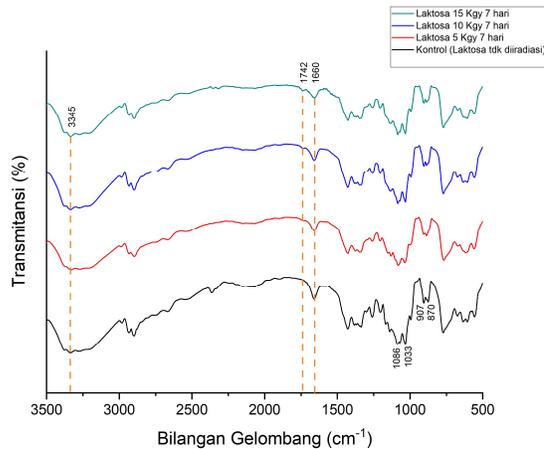
	5 kGy	10 kGy	15 kGy
Penurunan intensitas sinyal ESR	4,67 %	5,67%	8,1%
Penurunan jumlah radikal bebas	3,43%	5,13%	8,82%

Mekanisme peluruhan radikal pada laktosa iradiasi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Ada beberapa radikal mengalami peluruhan karena berekombinasi dengan radikal sekitar dan ada juga beberapa radikal mengalami peluruhan pada suhu ruang karena radikal tersebut bermigrasi pada kisi kristal lalu berekombinasi dengan oksigen. Contoh radikal seperti ini adalah radikal alkil. Hal ini diungkapkan pada penelitian Tadao Sugachi [14]. Penelitian mekanisme peluruhan radikal juga dilakukan oleh T. Kojima dkk mengenai peluruhan radikal pada alanine iradiasi. Salah satu hasil penelitiannya menyebutkan bahwa semakin besar dosis iradiasi semakin cepat peluruhan radikal pada alanine iradiasi. Ada dua radikal pada alanine iradiasi, yaitu alanine radikal dan amino radikal. Jarak antara kedua radikal ini pada struktur kimia ini sangat dekat sehingga memungkinkan terjadinya rekombinasi.

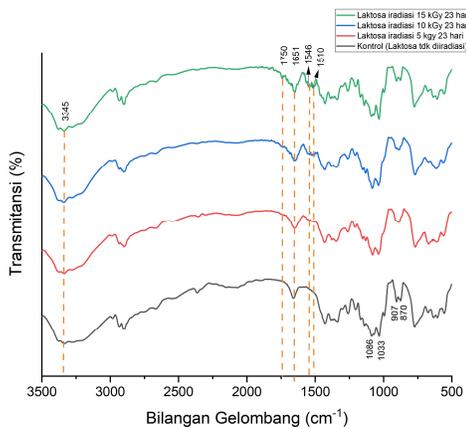
Mekanisme peluruhan kedua pada alanine iradiasi adalah radikal yang terbentuk bereaksi dengan uap air sekitar [15]. M.Korzmaz juga melakukan penelitian peluruhan radikal pada gandum durum. Gandum durum memiliki kandungan karbohidrat. Sinyal intensitas ESR gandum durum iradiasi menurun terhadap waktu dan terjadi perubahan bentuk sinyal. Penurunan sinyal sangat cepat pada kondisi kandungan oksigen meningkat. Oksigen ini memiliki peran penting dalam kinetika radikal karena kemampuannya memasuki reaksi dengan mudah dengan radikal yang diinduksi dengan radiasi [16].

Dari beberapa mekanisme peluruhan radikal pada karbohidrat dan material organik lain yang disebutkan sebelumnya, kemungkinan peluruhan radikal pada laktosa iradiasi disebabkan radikal yang terbentuk dari laktosa iradiasi berekombinasi dengan oksigen. Kandungan oksigen di lingkungan

sekitar lebih banyak dibandingkan radikal yang terbentuk sehingga semakin besar dosis iradiasi akan semakin cepat peluruhan radikal. Hal ini diperkuat dengan data dari pengujian FTIR pada Gambar 12, yaitu timbulnya puncak pada daerah 1546 cm^{-1} dan 1510 cm^{-1} .



Gambar 11. Grafik pengujian FTIR laktosa dengan dosis iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy dengan waktu simpan 7 hari.



Gambar 12. Grafik pengujian FTIR laktosa dengan dosis iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy dengan waktu simpan 23 hari

Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi pada laktosa yang diiradiasi dengan dosis 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy. Laktosa merupakan disakarida yang terdiri dari glukosa dan galaktosa. Laktosa yang digunakan dalam pengujian ftir adalah laktosa iradiasi yang sudah didiamkan selama 7 dan 23 hari pada temperatur ruang dan memiliki kandungan protein maksimal 0,3%. Pada laktosa non iradiasi terdapat puncak pada bilangan gelombang 1660 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi C=O pada amida dan

3345 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi N-H pada amida. Puncak pada bilangan gelombang 1150 cm^{-1} – 1030 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi C-O, C-C dan C-O-C pada karbohidrat. Puncak pada bilangan gelombang 1000 cm^{-1} – 800 cm^{-1} menunjukkan vibrasi pada cincin karbohidrat (*carbohydrate ring*) [17]. Pada daerah ini terdapat pada puncak 870 dan 907 cm^{-1} . Pengujian FTIR pada laktosa juga pernah dilakukan Yu Lei, dkk [17] dan hasilnya serupa seperti yang dilakukan oleh penulis.

Pada Gambar 11, hasil pengujian FTIR menunjukkan puncak pada bilangan gelombang 1660 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C=O pun juga terdapat pada laktosa iradiasi 5 kGy, 10 kGy dan 15 kGy dan timbulnya gugus fungsi karbonil baru pada puncak 1742 cm^{-1} pada laktosa iradiasi dengan dosis 15 kGy. Namun pada laktosa iradiasi dengan dosis 5 kGy dan 10 kGy tidak menunjukkan gugus fungsi karbonil yang baru. Penelitian yang dilakukan oleh Erizal dkk menunjukkan adanya gugus fungsi karbonil pada kappa karaginan iradiasi. Kappa karaginan juga memiliki gugus fungsi glikosida dan galaktosa seperti halnya laktosa [18]. Penelitian yang dilakukan Li dkk menunjukkan adanya gugus fungsi karbonil pada kulit jeruk iradiasi. Kulit jeruk tersebut memiliki beberapa komposisi monosakarida seperti rhamnosa, arabinosa, galaktosa, xilosa dan glukosa [19]

Hasil pengujian FTIR pada laktosa iradiasi dengan waktu simpan 23 hari menunjukkan adanya puncak 1651 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C=O dan puncak ini bergeser dari puncak gugus fungsi C=O pada laktosa non iradiasi di bilangan gelombang 1660 cm^{-1} . Puncak baru yang muncul pada bilangan gelombang 1546 cm^{-1} dan 1510 cm^{-1} . Kedua puncak tersebut menunjukkan N-O pada nitro. Gugus-gugus tersebut semakin terlihat jelas pada dosis 10 kGy dan 15 kGy. Kizil, Irudayaraj dan Seetharman (2002) melakukan penelitian tentang karakterisasi starch (pati) iradiasi. Salah satu hasil penelitiannya adalah terdapat puncak serapan *infrared* pada *starch* iradiasi pada daerah 1550 cm^{-1} – 1750 cm^{-1} karena ada adsorpsi uap air [20]. Salah satu hasil penelitian Wolfrom, Binkley dan McCabe (1958) adalah ikatan peptida terputus karena iradiasi ultraviolet. Energi yang terserap pada asam amino akan bergerak sepanjang rantai dan memutus ikatan karbon dan nitrogen sehingga memecahkan ikatan peptida [21]. Energi radiasi gamma lebih tinggi dari ultraviolet sehingga radiasi gamma dapat juga memutus ikatan karbon dan

nitrogen. Ikatan karbon terdapat pada laktosa dan ikatan nitrogen terdapat amida di protein. Ikatan glikosida pada laktosa mudah rusak karena iradiasi dan di dalam ikatan tersebut terdapat ikatan karbon [21]. Pada proses iradiasi ikatan-ikatan tersebut terputus. Saat ikatan karbon dan nitrogen terputus maka atom ini akan berikatan dengan atom lain agar stabil. Ada kemungkinan atom-atom ini berikatan dengan oksigen sekitar agar stabil. Hal ini terkonfirmasi dari hasil FTIR muncul gugus karbonil pada laktosa iradiasi dengan masa simpan 7 hari dan 23 hari. Gugus nitro muncul pada laktosa iradiasi dengan masa simpan 23 hari dan tidak terlihat pada laktosa iradiasi dengan masa simpan 7 hari. Gugus ini sangat terlihat jelas pada dosis tinggi. Hasil ini menguatkan asumsi peluruhan radikal dari laktosa iradiasi disebabkan karena rekombinasi dengan oksigen dan rekombinasi radikal semakin cepat saat dosis iradiasi semakin tinggi. Radikal yang timbul kemungkinan juga berasal dari ikatan karbon yang terputus pada laktosa dan ikatan nitrogen yang terputus pada amida.

KESIMPULAN

Laktosa berpotensi digunakan sebagai dosimeter ESR sinar gamma. Respon laktosa iradiasi pada pengukuran menggunakan ESR adalah intensitas dan jumlah radikal bebas. Laktosa iradiasi memiliki respon yang linier terhadap dosis iradiasi 250 Gy – 80 kGy. Pengukuran respon yang baik adalah saat waktu respon stabil dan waktu respon stabil laktosa iradiasi adalah dua hari setelah iradiasi. Rekombinasi radikal semakin cepat saat dosis radiasi semakin tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman balai iradiasi dan peneliti pusat teknologi radiasi BRIN yang telah membantu penelitian sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Atomic Energy Agency, "Technical Report Series Dosimetry for Food Irradiation", Austria : International Atomic Energy Agency, pp.10-12.2002
- [2] Tuta, C.S, Amiot Sommier, M.N, L. and Ioan, R.M., "Alanine Pellets Comparison Using EPR Dosimetry in the Frame of Quality Assurance for Gamma Knife System in Romania. Radiation Physics and Chemistry". vol.170, pp 1-5.2020
- [3] Stuglik, Z.F dan Fabisiak, S., "Sucrose as Double-High Signal High-Dose Dosimeter for Ionizing Radiation. Radiation Physics and Chemistry. vol.78, pp.449-452.2009
- [4] Karakirova, Yordanka, Lund, Eva, Yordanov, Nicola D., "EPR and UV Investigation of Sucrose Irradiated with Nitrogen Ions and Gamma-Rays". Radiation and Measurement. Vol.43. pp.1337-1342.2008
- [5] Hasan, Gamal M., Ikeya, M. dan Toyoda, S., "Lithium Lactate as an ESR Dosimeter". Appl. Radiat. Isot., vol. 49, no 7. pp. 823–828.1998
- [6] Davidson, M.T.M dan Jordan, K.M. "Dosimetric Evaluation of Sucrose and Granulated Cane Sugar in The Therapeutic Dose Range. Medical Physics. Vol.36. pp.1340-1350.2009
- [7] Amraei, R., Kheirkhah, M., dan Raisali, G. "Lactose and Sucrose Aqueous Solution for High-Dose Dosimetry with 10-MeV Electron Beam Irradiation. Radiation Protection Dosimetry. Vol.149. No.4. pp.357-362.2012.
- [8] Ikeya, M., Hassan, G.M., Sasaoka, H., Kinoshita, Y., Takaki, S, dan Yamanaka, C., "Strategy for Finding New Material for ESR Dosimeter". Appl. Radiat. Isot. vol. 52, pp. 1209–1215. 2000
- [9] J, C.Flores, B.E. Cabrera., Calderon, T., P.E. Munoz, J, E.Adem. A, Hernandez, Boldu, J.L., M,P. Ovalle, S,H. Murrieta., "ESR and Optical Absorption Studies of Gamma- and Electron-Irradiated Sugar Crystals", Appl. Radiat. Isot., vol. 52, pp. 1229–1234.2000.
- [10] International Atomic Energy Agency, "Technical Report Series Dosimetry for Food Irradiation", Austria : International Atomic Energy Agency, pp.1-3.2002
- [11] N.K.N Anggraini, D.J Djoko H.S, and U.P Juswono, " Identifikasi Radikal Bebas pada

- Asap Utama Rokok dengan Campuran Cengkeh (Kretek) dan Rokok tanpa Campuran Cengkeh (Putih)", *Buletin Fisika*, vol.21, no.2, pp.73-81,2020.
- [12] G.R Eaton, S.S Eaton, D.P Barr and R.T Weber, "*Quantitative EPR*", Germany : Springer Wien New York,2010, pp.45-48
- [13] H.Vrielinck, H. De Cooman and Y. Karakirova, "*Early Stage Evolution on the EPR Spectrum of Crystalline Sucrose at Room Temperature after High Dose X-Ray Irradiation*", *Radiation Research*, Vol.172, pp.226-233, 2009
- [14] Seguchi,T. and Tamura, N., "*Mechanism of Decay of Alkyl Radicals in Irradiated Polyethylene on Exposure to Air as Studied by Electron Spin Resonance*", *The Journal of Physics Chemistry*, Vol.77, no.1, pp 40-44.
- [15] Tuta C.S., Amiot M.N., Sommier L., dan Ioan R.M., "*Alanine Pellets Comparison Using EPR Dosimetry in the Frame of Quality Assurance for Gamma Knife System in Romania*", *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.170, pp 1-5, 2020.
- [16] Korkmaz M. dan Polat M , "*Free Radical Kinetics of Irradiated Durum Wheat*", *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.58, pp.169-179,2009
- [17] Lei,Y. ,Zhou Q. Yan-Ling Zhang, Jian-bo Chen, Su-qin Sun, and I.Nada, "*Analysis of Crystallized Lactose in Milk Powder by Fourier-Transform Infra Red Spectroscopy Combined with Two-Dimensional Correlation Infrared Spectroscopy*", *Journal of Molecular Structure*, Vol.974, pp.88-93, 2010
- [18] Erizal, S.P. Dewi, Sudrajat, A., dan C. Rahayu. "Pengaruh Iradiasi Gamma Terhadap Sifat Fisiko-Kimia Kappa Karaginan". *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*. pp.313-317. 2004
- [19] Li, X dkk." *Effect of gamma irradiation on structure, physochemical property and bioactivity of soluble dietary fiber in navel orange peel*. Vol.10. No.14. pp.1-9.2022
- [20] Kizil, R., Irudayaraj, J., dan Seetharman, K. "*Characterization of Irradiated Straches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy*". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.50. pp.3912-3918.2002
- [21] Wolfrom, M.L., Binkley, W.M, dan McCabe, L.J. "*The Effect of Ionizing Radiation on Carbohydrates. The Irradiation of Sucrose and Methyl α -D-Glucopyranoside*". *Journal of the American Chemical Society*. Vol.81. pp.1442-1446. 1958