

PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA SIFAT FISIKO-KIMIA NATRIUM ALGINAT

Erizal*, A.Sudrajat*, Tatiek Martati **, Dewi S.P. dan Rahayu Chosdu*.

*Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi -BATAN, Jakarta

**Universitas Pancasila, Fak. Farmasi, Jakarta

ABSTRAK

PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA SIFAT FISIKO-KIMIA NATRIUM ALGINAT. Dalam kerangka pengembangan aplikasi radiasi pada bahan polimer alam, telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh iradiasi gamma terhadap karakter fisiko-kimia Na-alginat dalam bentuk serbuk dan larutan diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 0;10;30; dan 50 kGy. Parameter yang diamati meliputi viskositas, pH, tegangan putus, spektra IR dan UV. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Na-alginat hasil iradiasi hingga 50 kGy tidak menunjukkan adanya perubahan pH dan tidak timbulnya puncak baru dalam spektra IR dengan naiknya dosis iradiasi hingga 50 kGy. Namun demikian, tegangan putus dan viskositas turun serta timbul puncak baru dalam spektra UV dengan naiknya dosis iradiasi hingga 50 kGy, yang menunjukkan kemungkinan terjadinya degradasi Na-alginat.

ABSTRACT

THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SODIUM ALGINATE. In the order to develop application of radiation to improve the quality of natural polymers, irradiation effects on physico-chemical characterization of Na-alginate has been carried out. Both Na-alginate powder and solution were irradiated by gamma rays at doses of 0;10;30; and 50 kGy. The parameters observed consisting of viscosity, pH, tensile strength, IR and UV spectra of irradiated and unirradiated samples. The results showed that irradiation up to 50 kGy, did not give effect on pH and no new peak appeared in the IR spectra. However, tensile strength and viscosity decreased with increasing irradiation dose up to 50 kGy, which showed the possibility of degradation process on Na-alginate.

PENDAHULUAN

Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang dikelilingi lautan disamping sebagai sumber ikan yang melimpah juga tempat yang cocok bagi pertumbuhan beragam jenis tumbuhan laut yang potensial misalnya rumput laut. Ditinjau dari struktur kimianya, sebagian besar dari rumput laut mengandung derivat-derivat polisakarida yang dapat digunakan dalam industri makanan, minuman dan keperluan sehari-hari (1-2). Na-alginat (struktur kimianya disajikan pada Gambar 1) merupakan salah satu jenis polisakarida laut (*marine polysaccharide*) yang berasal dari hasil ekstraksi rumput laut berwarna coklat, pada awal penemuannya Na-alginat digunakan sebagai pembalut luka. Di Indonesia, Na-alginat berasal dari hasil ekstraksi rumput laut *Sargassum spp*, *Dyctioa spp*, *Hormophysa spp*, dan *Turbinaria spp*,. Dalam industri Na-alginat digunakan sebagai pensuspensi dalam pembuatan krim dan gel, media pencetak gigi, perekat dan kegunaan lainnya (3).

Timbulnya jamur pada rumput laut, merupakan salah satu masalah yang seringkali dihadapi oleh para nelayan dalam mengolah rumput laut khususnya pada pasca panen (4).

Seperti yang umum telah diketahui bahwa iradiasi baik gamma maupun berkas elektron dapat digunakan untuk sterilisasi dan pengawetan makanan. Besar kecilnya dosis iradiasi untuk mengurangi pengaruh jamur tergantung kontaminasi awal dari bahan serta sudah banyak dilakukan (5,6).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh iradiasi terhadap sifat fisiko-kimia dari Na-alginat dengan parameter yang diamati meliputi viskositas, pH, tegangan putus, spektra IR dan UV.

BAHAN DAN METODA

Bahan.

Na-alginat dalam bentuk serbuk diperoleh dari Dept. Perikanan dan Kelautan, Slipi. Bahan kimia lainnya yang dipakai adalah kualitas p.a.

Alat.

Alat yang dipakai dalam penelitian ini khususnya untuk menganalisis bahan hasil iradiasi maupun kontrol meliputi spektrofotometer UV-VIS, Shimadzu buatan Jepang; Spektrometer Infra Merah Shimadzu, buatan Jepang ; Instron, Storograph, Toyoseki, buatan Jepang; pH meter, Neomet, buatan Jepang; Viscometer Coolmate-105 IR, buatan Jepang. Untuk iradiasi bahan digunakan sumber iradiasi gamma.

Pembuatan Film Na-alginat

Satu koma nol gr Na-alginat dilarutkan dalam 100 ml air suling pada suhu 60 °C hingga homogen. Kemudian masing-masing 10 ml larutan Na-alginat dituangkan kedalam wadah cetakan plastik ukuran 10x10x 3 cm³, selanjutnya larutan dikeringkan pada suhu kamar selama 48 jam.

Iradiasi Bahan.

Lima gr Na-Alginat dalam bentuk serbuk (60 mesh) dan plastik film Na-Alginat dengan ukuran 10x10 cm² yang dikemas dalam plastik polipropilen (PP) diiradiasi dengan sinar gamma dalam iradiator IRKA, P3TIR -BATAN pada dosis :0; 10; 30; dan 50 kGy (laju dosis 10 kGy/jam). Untuk masing-masing dosis iradiasi, bahan diiradiasi triplo. Selanjutnya dilakukan analisis sifat fisiko-kimianya pada bahan hasil iradiasi maupun kontrol.

Pengujian Spektra Infra Merah.

Pengujian spektra Infra Merah ini dimaksudkan untuk menganalisis kemungkinan terjadinya perubahan pada gugus-gugus fungsi Na-alginat akibat pengaruh iradiasi. Na-alginat dalam bentuk film dengan ketebalan 0,06-0,08 mm dan daerah lebar titik putus sebesar 3 cm baik hasil iradiasi maupun kontrol dilakukan analisis spektrum Infra Merah pada daerah bilangan gelombang 0-4000 cm⁻¹ menggunakan FT-IR, buatan SHIMADZU, Jepang,

Pengujian Spektra UV-VIS.

Pengujian spektra UV-VIS Na-alginat dimaksudkan untuk menganalisis kemungkinan timbulnya puncak-puncak baru akibat pengaruh iradiasi pada Na-alginat. Na-alginat yang dilarutkan dalam air pada konsentrasi 0,1 % b/v baik kontrol (0 kGy) maupun iradiasi 10;30; dan 50 kGy diuji spektranya menggunakan spektrofotometer UV-VIS , Shimadzu, buatan Jepang pada daerah ukur 0-400 nm.

Pengujian pH.

Larutan Na-alginat dengan kosentrasi 1% b/v dalam air baik hasil iradiasi maupun kontrol (0 kGy) dilakukan pengujian pHnya

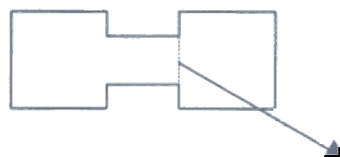
menggunakan pH meter Neomet, buatan Jepang, pada suhu kamar. Pengujian dilakukan triplo untuk masing-masing dosis iradiasi..

Pengujian Viskositas.

Na-alginat dengan konsentrasi 10 % b/v dalam air baik hasil iradiasi maupun kontrol dimasukkan dalam cawan stationer, dari viscometer Coolmate-105 IR, buatan Jepang, selanjutnya larutan diputar dengan kecepatan 100 rpm selama 5 menit pada suhu 25 °C. Volume larutan untuk pengukuran viskositas setiap dosis adalah 5 ml, dan pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap dosis iradiasi,.

Pengujian Tegangan Putus.

Pengujian karakter fisik yang penting dari Na-alginat baik hasil iradiasi maupun kontrol adalah tegangan putus yang pengujiannya dilakukan berdasarkan metode yang tertera dalam ASTM yaitu menggunakan alat *Instron tester* model R-1 buatan Toyoseki, Jepang dengan kecepatan 30 mm/menit pada suhu 32°C. Lapisan film dengan ketebalan berkisar 0,06-0,08 mm dan lebar 3 mm dicetak dengan alat *dumbbell* untuk mendapatkan bentuk standar pengukuran dari bahan yang bentuknya adalah sebagai berikut;



lebar titik putus

Selanjutnya plastik film dengan bentuk *dumbbell* tersebut pada kedua ujungnya dijepit dengan alat penjepit khusus, dan mesin dinyalakan pada posisi on, maka akan terjadi proses penarikan pada salah satu posisi penjepit. Ukuran kekuatan tarik pada plastik film dari mesin diukur pada saat plastik film putus pada posisi tengahnya. Tegangan putus film dihitung berdasarkan persamaan berikut ;

$$\text{Tegangan Putus} = F/A \dots \dots \dots (1)$$

F = Beban dari alat hingga bahan putus (Kg)

A = Luas penampang bahan (cm²)

pengukuran dilakukan 5 kali ulangan untuk setiap dosis iradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Viskositas

Na-alginat merupakan salah satu jenis polimer alam, ditinjau dari struktur molekul dasarnya Na-alginat dibentuk oleh sederetan

senyawa derivat glukosa dengan perkataan lain bahwa Na-alginat dapat pula disebut sebagai derivat selulosa. Besar-kecilnya viskositas suatu larutan polimer dalam pelarut tertentu dapat mewakili kondisi berat molekul (BM) rata-rata suatu polimer (6), hubungan matematisnya dinyatakan dalam bentuk persamaan Mark-Houwink-Sakurada sebagai berikut :

$$[\eta] = K \bar{M}_v^a \quad (2)$$

dimana, $[\eta]$ = viskositas, K = konstanta dari larutan polimer, \bar{M}_v^a = BM rata-rata polimer Dengan perkataan lain viskositas larutan polimer berbanding lurus dengan berat molekul rata-ratanya, sehingga perubahan dari viskositas larutan berkaitan erat dengan perubahan berat molekul rata-rata. Viskositas larutan Na-alginat baik kontrol (0 kGy) maupun iradiasi hingga 50 kGy disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa dengan meningkatnya dosis iradiasi hingga dosis 50 kGy, viskositas larutan Na-alginat menurun dari 160 cps pada 0 kGy menjadi 50 Cps pada dosis 50 kGy. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi hingga 50 kGy juga menyebabkan menurunnya berat molekul rata-rata molekul Na-alginat karena terjadinya degradasi.

Pengujian pH.

pH merupakan salah satu parameter yang penting pada Na-alginat, karena Na-alginat banyak digunakan sebagai makanan (2). Pengaruh iradiasi terhadap pH larutan Na-alginat disajikan pada Tabel 1. Terlihat bahwa pH larutan Na-alginat dengan meningkatnya dosis iradiasi hingga 50 kGy, tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi tidak menyebabkan dekomposisi gugus fungsi yang menentukan pH dari Na-alginat.

pH larutan Na-alginat 1 % b/v hasil iradiasi hingga 50 kGy

Dosis (kGy)	Perlakuan (kali)			pH rata-rata
	I	II	III	
0	8,64	8,66	8,65	8,65
10	8,59	8,55	8,57	8,57
30	8,50	8,51	8,49	8,50
50	8,40	8,41	8,40	8,45

Pengujian Tegangan Putus

Na-alginat ditinjau dari struktur kimianya yang terdiri atas senyawa-senyawa derivat glukosa yang umumnya didominasi oleh gugus-gugus hidroksi (OH) sangat mudah membentuk jembatan ikatan hidrogen. Sebagai akibatnya larutan Na-alginat jika dikeringkan pada suhu kamar dengan mudah membentuk padatan yang berupa lapisan film tipis pada kondisi tertentu.

Fenomena inilah yang menyebabkan peneliti tertarik mengembangkannya untuk pengemas yang ramah lingkungan (*biodegradable material*). Kekuatan dari plastik ini umumnya diukur berdasarkan kekuatan tegangan putus. Hubungan pengaruh iradiasi terhadap tegangan putus dari Na-alginat baik kontrol maupun iradiasi hingga 50 kGy disajikan pada Gambar 3. Terlihat bahwa dengan meningkatnya dosis iradiasi, tegangan putus Na-alginat yang pada mula-mula adalah sebesar 445 kg/cm² (kontrol) turun nilai tegangan putusnya menjadi 180 kg/cm² dengan meningkatnya dosis iradiasi hingga 50 kGy. Penurunan yang tajam pada tegangan putus ini menunjukkan kemungkinan terjadinya kerapuhan lapisan film Na-alginat dengan meningkatnya dosis iradiasi. Hal ini disebabkan terjadinya degradasi baik secara fisik yaitu terjadinya kerusakan dalam morfologinya maupun putusannya ikatan-ikatan kimia yang membentuk lapisan film Na-alginat atau sebab lain yang perlu diteliti lebih lanjut.

Pengujian Spektra Infra Merah.

Untuk mengetahui lebih jauh kemungkinan akibat iradiasi terhadap Na-alginat dilakukan analisis dan karakterisasi dari Na-alginat dalam bentuk lapisan film tipis hasil iradiasi menggunakan spektrometer Infra Merah (IR). Pada Gambar 4 disajikan spektra IR dari Na-alginat baik kontrol maupun hasil iradiasi pada dosis 10,30 dan 50 kGy, dan hasil indentifikasi gugus-gugus fungsi pembentuknya yang terdiri atas gugus-gugus -OH, C-H, C=O dan C-O yang berturut-turut terdapat pada daerah panjang gelombang 400-4000 cm⁻¹ disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi gugus fungsi Na-alginat kontrol dan yang diiradiasi.

Dosis (kGy)				C-O
0		2935,3	1606,8	1035,2
10	3487,3 & 3209,5	2936,7	1606,7	1037,2
30	3460,3 & 3213,4	2936,7	1606,6	1036,4
	3472,7 & 3221,1	2931,8	1606,2	1035,5

mungkin disebabkan molekul Na-alginat terdegradasi dalam jumlah kecil, sehingga spektrum IR yang nampak sebagai hasil analisis ini didominasi oleh bagian Na-alginat yang tidak terdegradasi atau sebab lain yang perlu diteliti lebih lanjut.

Pengujian Spektra UV-VIS

Untuk memperkuat analisis pengaruh iradiasi terhadap Na-alginat dilakukan analisis spektrum UV-VIS Na-alginat hasil iradiasi hingga 50 kGy maupun kontrol yang disajikan pada Gambar 5. Terlihat bahwa pada iradiasi dosis 0 kGy, tidak tampak adanya puncak serapan dari Na-alginat sedangkan pada dosis 10 kGy mulai nampak timbulnya satu puncak baru pada daerah 260 nm, dan puncak ini timbul pula pada dosis 30 dan 50 kGy. Timbulnya puncak serapan pada daerah serapan 260 nm dalam dosis iradiasi 10,30 dan 50 kGy, hal ini menunjukkan bahwa iradiasi menyebabkan degradasi dari molekul Na-alginat.

Beberapa peneliti melaporkan bahwa polimer alam yang merupakan derivat selulosa jika dipapari iradiasi dapat menyebabkan terjadinya degradasi (7). Terjadinya degradasi dalam molekulnya mungkin disebabkan putusnya ikatan glikosida dalam molekul

KESIMPULAN

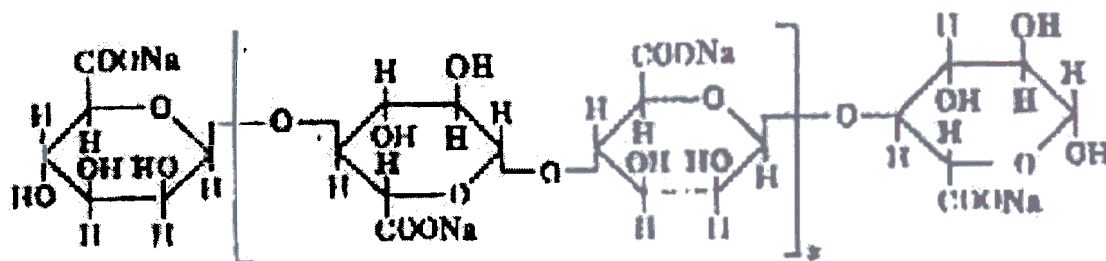
Dari penelitian ini dapatlah disimpulkan bahwa dengan menaiknya dosis iradiasi dari 10kGy hingga 50 kGy terhadap Na-alginat memperlihatkan adanya kecenderungan dari Na-alginat mengalami reaksi degradasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

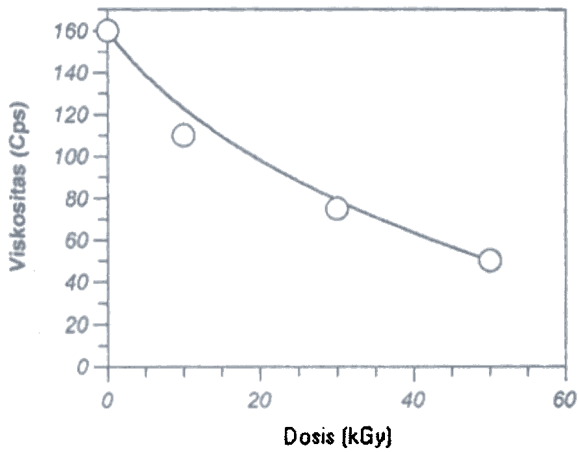
Ucapan terima kasih disampaikan pada rekan-rekan di fasilitas Iradiasi P3TIR-BATAN yang telah banyak membantu iradiasi bahan sehingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

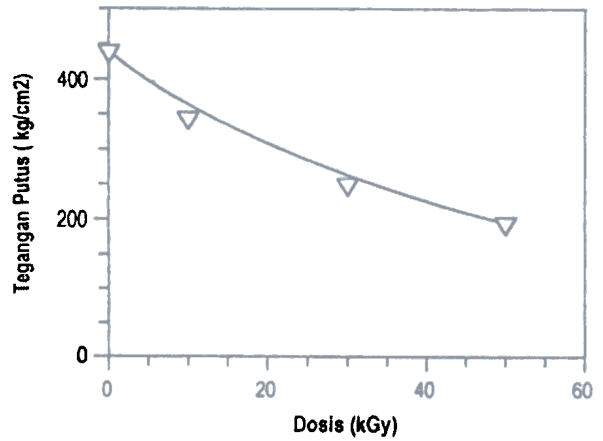
1. MICHAEL,P.T., and STEPHEN,E.H, "Introduction to Polysaccharide Biotechnology" , Taylor & France Ltd, London (1998) hal123-140
2. OTHMER,K., "Encyclopedia of Chemical Technology", Second Ed. *1995) hal 802.
3. SMIDROD,O., and DRAGET,KI., " Chemistry and Physical Properties of Algi- nates " Carbohydrates (1996) 14, hal 6-13
4. YUSNIZAL, 'KOMUNIKASI PRIBADI " Balai Penelitian Sosio-Ekonomi Pengolahan Hasil-hasil Laut Dept. Perikanan, Slipi (2003)
5. BRYANJOLESSON,A., ' Mathematical Model for Microbial Kill by Radiation" IAEA, Vienna (1978) 1
6. SOMMER,N., "The Effect of Ionizing Radiation of Fungi" Dalam Manual On Radiation Sterilization of Medical and Biological Materials, IAEA, Vienna (1975)
7. CHIAQUI,C.A., The effects of electron beam treatments on wood componen, Proceeding of the seventh Canadian Biotechnology, Canada (1989) hal 124-130.



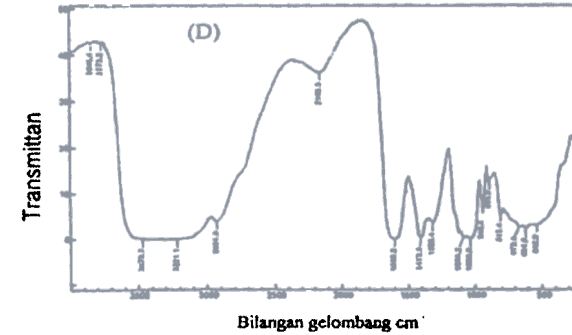
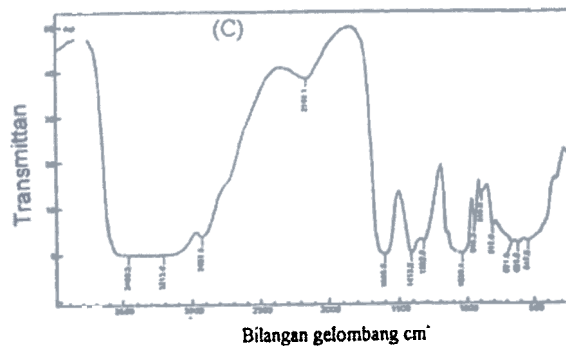
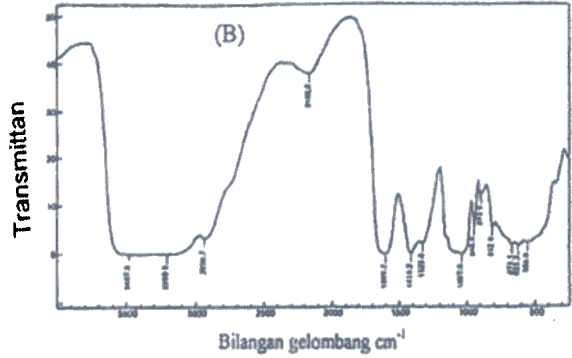
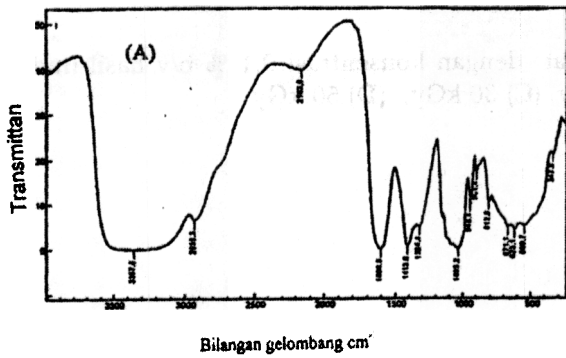
Gambar1. Struktur kimia Na-alginat



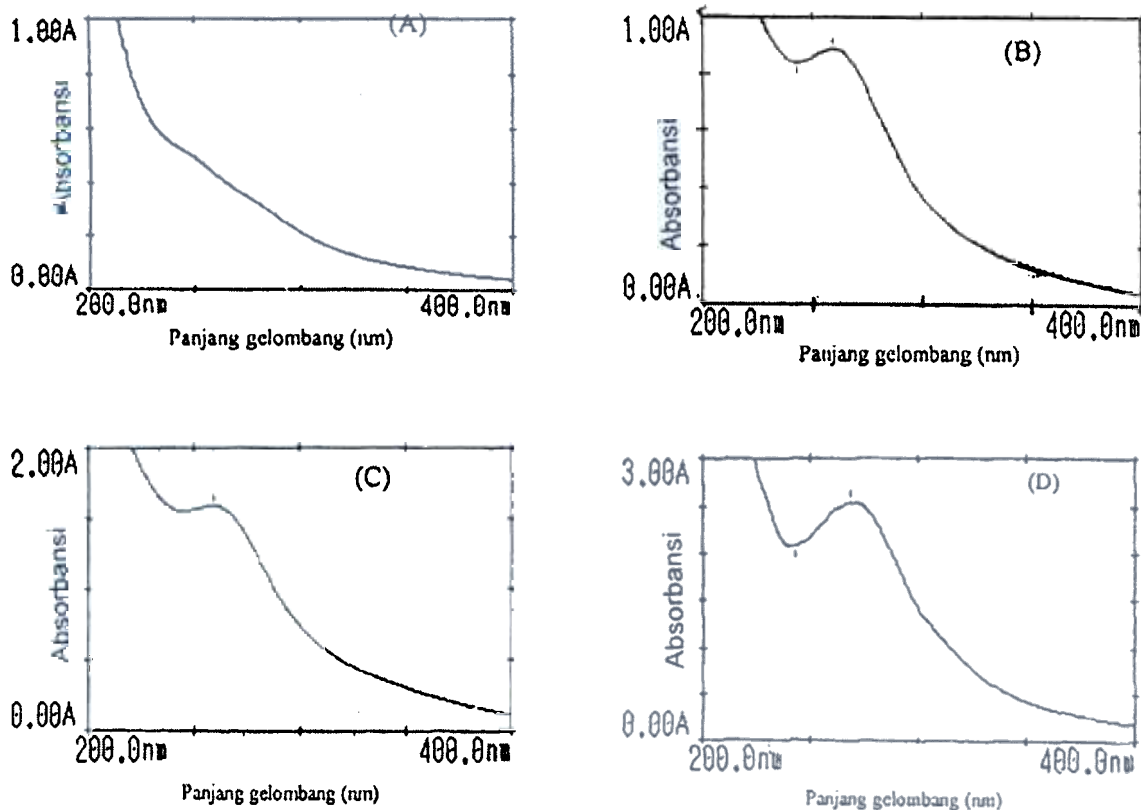
Gambar 2. Hubungan antara dosis iradiasi terhadap Viskositas larutan Na-alginat hasil iradiasi hingga 50 kGy. Konsentrasi larutan Na-alginat dalam air = 1 % b/v



Gambar 3. Hubungan antara dosis iradiasi terhadap Tegangan putus plastik film Na-alginat hasil iradiasi hingga 50 kGy. Ketebalan film rata-rata berkisar antara 0,06-0,08 mm, dan lebar 3 cm .



Gambar 4 Spektra Infra Merah plastik film Na-alginat hasil iradiasi pada dosis ; (A) 0 kGy, (B) 10 kGy, (C) 30 kGy, (D) 50 kGy



Gambar 5 Spektra UV-VIS larutan Na-alginat dengan konsentrasi 0,1 % b/v hasil iradiasi pada dosis ; (A) 0 kGy, (B) 10 kGy, (C) 30 kGy, (D) 50 kGy

DISKUSI

DARMAWAN DARWIS

1. Dalam latar belakang masalah disebutkan bahwa masalah yang dihadapi pada Na-alginat adalah adanya jamur/mikroba yang mencemari (Bioburden). Namun dalam penelitian ini tidak diamati/diteliti bioburden maupun penurunan jumlah mikroba pada Na-alginat akibat iradiasi ? mohon penjelasan
2. Apakah penelitian ini akan menyelesaikan masalah perencanaan mikroba pada Na-alginat

ERIZAL

1. Seperti umumnya yang kita ketahui yaitu pekerjaan yang berkaitan dengan masalah mengatasi baik itu jamur maupun bakteri dalam suatu materi dengan menggunakan iradiasi adalah pekerjaan standard. Jika bioburden dari suatu materi diketahui, maka berdasarkan buku petunjuk aplikasi iradiasi untuk mengurangi jamur yang diterbitkan IAEA dapatlah diberikan dosis iradiasi yang tepat untuk mengurangi jamur tersebut. Jadi pekerjaan ini adalah suatu pekerjaan pada penelitian berjalan secara paralel.
2. Ya otomatis, dan selain daripada itu sesuai dengan judul yaitu penelitian ini hanya bertujuan untuk melihat perubahan sifat fisiko-kimia dari Na-alginat yang merupakan bagian serangkaian penelitian yang akan dilanjutkan dengan penelitian karakter distribusi berat molekul hasil degradasi Na-alginat

YAROSITA FAJAR SARI

Bagaimana prospek Na-alginat yang diiradiasi untuk industri ?

ERIZAL

Cukup baik, mengingat Indonesia merupakan salah satu produsen rumput laut terbesar di Asia Tenggara serta iradiasi dapat menghilangkan kontaminasi jamur dan seandainya terjadi perubahan sifat fisiko-kimia akibat iradiasi tidak akan mengurangi kualitas dari bahan.

MADE SUMATRA

1. Berapa lama waktu yang bapak butuhkan untuk melakukan penelitian ini, sampai memperoleh data yang bapak presentasikan dalam seminar ini ?
2. Masalah apa yang dialami oleh produsen Na-alginat sehingga bapak melakukan penelitian radiasi ini ? Masalah apa yang hendak dipecahkan ?.

ERIZAL

1. \pm 3 BULAN
2. Sebenarnya masalah adanya jamur, tetapi dibalik itu sebenarnya adalah hal lain yang lebih penting yaitu perubahan fisiko-kimianya.

HENDIG WINARNO

1. Dari kesimpulan yang ditulis, saya tidak melihat adanya manfaat penggunaan iradiasi pada Na-alginat.
2. Dari spektrum IR nampaknya tidak ada perubahan spektrum (bilangan gelombangnya) yang menunjukkan bahwa tidak ada transform, kemungkinan hanya putus ikatan "glukosida". Jika dugaan saya betul, maka pada spektrum UV pun mestinya tidak akan muncul puncak pada λ 270 nm. Apa yang dapat bapak simpulkan dari fakta tersebut ?.
3. Dengan menurunnya nilai viskositas apa pengaruhnya terhadap Na-alginat sebagai sumber makanan.
4. Sebelum saya mendengarkan presentasi, saya sama sekali tidak mengerti membaca abstrak yang ditulis. Tidak ada tujuan dari Na-alginat itu bahan apa dan untuk apa ? tidak tersurat sama sekali.

ERIZAL

1. Sesuai dengan judul penelitian saya yaitu mempelajari sifat fisiko-kimia dari Na-alginat. Manfaatnya perlu dikaji lebih jauh, karena data-data yang diperoleh pada penelitian ini perlu dilengkapi khususnya distribusi berat molekul Na-alginat akibat iradiasi.
2. Munculnya puncak baru pada UV-VIS, hal ini disebabkan Na-alginat diiradiasi pada daerah dosis 10-50 kGy dalam bentuk larutan dengan konsentrasi yang relatif kecil 0,1%.
3. Betul, pada abstrak tidak dituliskan hal-hal tersebut.

NAZLYHILMY

Apakah ada masalah dilapangan, sehingga anda berkeinginan meradiasi Na-alginat ?. Radiasi akan menaikkan ongkos produksi, kalau tidak ada alasan meradiasi hasil penelitian akan susah untuk diaplikasikan.

ERIZAL

Ada, salah satunya adalah kontaminasi jamur. Namun demikian disisi lain seperti diketahui bahwa iradiasi dapat memodifikasi suatu bahan apalagi pada Na-alginat yang merupakan salah satu komoditi yang potensial yang dimiliki Indonesia. Penelitian sudah tentu selayaknya dilakukan.

MERI SUHARTINI

1. Bila Na-alginat terdegradasi karena diiradiasi, dibagian manakah degradasi itu terjadi ?.
2. Mengapa anda tidak menguji/menganalisa berat molekul untuk melihat benarkah terjadi degradasi ?.

ERIZAL

Secara umum ada dua kemungkinan proses yang terjadi pada reaksi degradasi senyawa makromolekuler yaitu degradasi yang terjadi pemutusan rantai molekul secara acak (random) yang disebabkan oleh intermolecular radikal reaksi dan depropagasi makroradikal yang keduanya berlangsung secara kompetitif. Pada Na-alginat yang merupakan derivat selulosa, degradasi umumnya mengikuti pola reaksi degradasi selulosa yaitu pemutusan ikatan 1,4 glikosida.

2. Betul, untuk memperkuat data penelitian ini selayaknya perlu dilakukan pengujian distribusi berat molekul rata-rata dari Na-alginat baik yang diiradiasi maupun kontrol menggunakan GPC atau HPLC yang dilengkapi kolom SEC. Namun demikian alat yang digunakan untuk menguji distribusi berat molekul rata-rata akibat iradiasi kita tidak punya dan bagian ini akan dilakukan penelitian khusus.

ZAINAL ABIDIN

Benar apa yang diharapkan untuk industri dari penelitian yang dilakukan ?.

ERIZAL

Mengingat Indonesia yang merupakan salah satu produsen rumput laut yang cukup besar di dunia, berdasarkan karakter degradasi dari Na-alginat. Salah satu kemungkinan benefit yang dapat disumbangkan ke nindustri adalah bahwa iradiasi pada Na-alginat disamping iradiasi dapat mengurangi kontaminasi jamur, yaitu bahwa iradiasi dapat membentuk molekul polimer dengan variasi berat molekul rata-rata yang beragam. Sudah tentu hal ini sangat bermanfaat dalam aplikasinya yaitu tersedianya Na-alginat dengan beragam berat molekul.