

ISOLASI DAN SINTESIS GELATIN SISIK IKAN KAKAP PUTIH (*LATES CALCARIFER*) BERIKATAN SILANG DENGAN TEKNIK IRADIASI GAMMA

Dian P.P., Darmawan, Erizal dan Tjahyono

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) - BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49 Jakarta 12070

Diterima: 19 April 2012 Diperbaiki: 2 Agustus 2012 Disetujui: 10 September 2012

ABSTRAK

ISOLASI DAN SINTESIS GELATIN BERIKATAN SILANG DARI LIMBAH SISIK IKAN KAKAP PUTIH (*LATES CALCARIFER*) DENGAN TEKNIK IRADIASI GAMMA. Dalam kerangka pemanfaatan limbah perikanan telah dilakukan isolasi gelatin sisik ikan kakap dan disintesis gelatin berikatan silang dengan induksi iradiasi gamma pada rentang dosis 0 kGy hingga 50 kGy. Perubahan struktur kimianya dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Ultra Violet - Visible (UV-Vis)* dan *Fourier Transform - Infra Red (FT-IR)* serta perubahan viskositas diukur dengan viskosimeter. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan dosis iradiasi menyebabkan kenaikan absorbansi dan viskositas larutan gelatin secara linier pada dosis 10 kGy hingga 30 kGy. Sedangkan pada dosis 40 kGy hingga 50 kGy, larutan gelatin berubah ke bentuk gel disertai perubahan yang signifikan pada spektrum *FT-IR*. Teknik iradiasi gamma selayaknya dapat dipertimbangkan sebagai teknik yang aman dan relatif cepat untuk mensintesis gelatin berikatan silang.

Kata kunci: Sisik ikan, Gelatin, Iradiasi gamma, Ikatan silang

ABSTRACT

ISOLATION AND SYNTHESIS OF CROSSLINKED GELATIN OF WASTE *LATES CALCARIFER* SCALES USING GAMMA IRRADIATION INDUCTION TECHNIQUE. In order to use the fisheries waste, isolation of gelatin has been carried out from *Lates calcarifer* scales and then synthesized to be cross-linked gelatin by induction of gamma irradiation at irradiation dose of 0-50 kGy. Chemical structures change of irradiated gelatin was characterized by using *UV-Vis* and *FT-IR* spectrophotometer. The viscosity of gelatin was measured by using viscosimeter. The results showed that radiation dose correlate linearly to absorbance and viscosity of gelatin solution at doses of 10-30 kGy. While at doses 40-50 kGy, gelatin solution was transformed from solution to gel with significant change in *FT-IR* spectrum. Based on this result, gamma irradiation technique should be considered as a safe and quick technique to synthesis cross-linked gelatin.

Keywords: Fish scale, Gelatin, Gamma irradiation, Crosslinking

PENDAHULUAN

Limbah dari pengolahan perikanan diketahui mencapai 75 % dari berat total ikan [1]. Limbah tersebut berupa tulang, kulit dan sisik ikan yang dianggap sebagai bahan bernilai rendah [2]. Pengolahan limbah perikanan tersebut diharapkan mampu mereduksi volume limbah sekaligus memberikan nilai tambah terhadap produk yang dihasilkan. Gelatin merupakan salah satu material yang terkandung dalam limbah perikanan yang prospektif untuk dikembangkan [3].

Pada saat ini sebagian besar gelatin komersial diekstraksi dari babi dan sapi. Adanya larangan mengkonsumsi babi bagi umat Islam dan sapi bagi umat Hindu serta *outbreak* penyakit sapi gila *bovine*

spongiform encephalopathy memicu pengembangan sumber baru untuk isolasi gelatin, salah satunya adalah limbah perikanan [4]. Oleh karena itu, gelatin ikan telah diproduksi dari kulit *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis nilotica*, *Priacanthus macracanthus*, *Lutjanus vitta* *Johnius dussumeiri* dan *Decapterus macrosoma*, serta kulit dan tulang *Lates niloticus* [5-8]. Selain kulit dan tulang ikan, sisik ikan merupakan salah satu bentuk limbah perikanan yang dapat diproses sebagai sumber gelatin dengan kuantitas yang relative besar [9-11]. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki peluang besar untuk mengembangkan gelatin ikan. *Lates calcarifer* merupakan salah satu jenis ikan

konsumsi di Indonesia yang limbahnya dapat digunakan sebagai sumber gelatin.

Gelatin merupakan produk dari kolagen yang terhidrolisis secara parsial terdiri dari campuran rantai polipeptida polidispersi dengan berat molekul lebih dari 30 kDa [12,13]. Gelatin merupakan salah satu bahan yang prospektif karena bersifat biodegradable dan biokompatibel dalam lingkungan fisiologis yang dapat digunakan sebagai bahan biomaterial.

Beragam jenis gelatin pada umumnya digunakan sebagai makanan, film, lem, pelembab dan alat medis. Dalam bidang biomaterial, gelatin saat ini telah dimanfaatkan sebagai bahan kapsul, pembalut luka dan *scaffold* dalam rekayasa jaringan [14-16]. Gelatin pada umumnya dalam bentuk *sol* pada suhu $>40^{\circ}\text{C}$ dan transisi hidrogel terjadi jika suhu diturunkan melewati suhu transisi *sol-gel* gelatin tersebut. Transisi *sol-gel* adalah sebagai proses *thermo-reversible* yang berlangsung sebagai ikatan non kovalen seperti ikatan hidrogen dan ikatan ionik antara molekul-molekul gelatin.

Sifat termoplastik gelatin tersebut penting di bidang makanan seperti pada pembentukan jeli dan tidak layak pada bidang alat kesehatan dikarenakan hidrogel yang terbentuk tidak dapat mempertahankan bentuknya pada suhu tubuh manusia (37°C). Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut telah dilakukan penelitian untuk mensintesis gelatin berikatan silang. Pada umumnya sintesis gelatin berikatan silang dilakukan melalui reaksi kima menggunakan senyawa-senyawa turunan aldehida yang beracun seperti misalnya glutaral dehida, formaldehida dan asetaldehida [17-21].

Iradiasi gamma dan berkas elektron merupakan alat (*tool*) yang paling populer dimanfaatkan untuk sterilisasi di bidang kesehatan, pengawetan makanan [22-26]. Selain itu, kedua alat tersebut dapat dimanfaatkan untuk *surface coating* dan pembuatan *heat shrinkable cable* [27-29]. Kedua jenis sumber energi tersebut pada saat ini telah dimanfaatkan lebih jauh untuk proses ikatan silang dan degradasi monomer/polimer. Keunggulan radiasi gamma dan berkas elektron antara lain adalah prosesnya relatif cepat, tidak ada residu yang tersisa, tidak dibutuhkan katalisator atau inisiator dan dosis iradiasi dapat diatur sesuai keperluan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dimanfaatkan radiasi gamma untuk mensintesis gelatin berikatan silang dari larutan gelatin. Berdasarkan deskripsi hal-hal tersebut diatas, maka dalam penelitian ini dilakukan sintesis gelatin hasil isolasi sisik ikan menjadi gelatin berikatan silang dengan menggunakan iradiasi gamma dan menginvestigasi karakter fisiko-kimianya.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah sisik ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) diperoleh dari Balai Besar

Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Slipi. Bahan kimia yang digunakan berupa asam asetat (glasial) 100% (pro analisis, Merck) dan kalium bromida (pro analisis, Merck).

Alat

Spektrofotometer *Ultra Violet - Visible (UV-Vis)* (Shimadzu, UVmini-1240), Spektrofotometer *Fourier Transform - Infra Red* (Shimadzu, Prestige-21), *Sealer Machine* (Polystar, 401 HM), *Viscosimeter* (Tokyo Seiki Co.Ltd., Visconic EMD), *Shaker With Water Bath* (Kottermann Labortechnik, D-3162 type 3047), Autoklaf (Rayva) dan Irradiator Co-60 (Irradiator Karet, IRKA).

Proses Isolasi Gelatin

Limbah sisik ikan kakap putih dibersihkan dari kotoran-kotoran pada permukaannya, dicuci dengan air kran, dan direndam dalam larutan detergen selama 24 jam. Kemudian sisik ikan dalam larutan detergen *dishaker* selama 1 jam. Perlakuan diulang tiga kali dan terakhir sisik ikan dibilas bersih dengan air suling. Sisik ikan yang bersih dikeringkan dalam *oven* pada suhu 70°C . Gelatin dalam sisik ikan diekstraksi menggunakan pelarut asam asetat 0,5 M pada suhu 121°C tekanan 1 atm hingga 1,5 atm selama 20 menit. Setelah proses ekstraksi, larutan hasil ekstraksi didinginkan lalu dipisahkan dari sisik ikan.

Sintesis Gelatin Berikatan Silang

Larutan gelatin hasil ekstraksi dengan konsentrasi 12,5 % disaring dengan kertas *filter* No. 42 menggunakan pompa vakum. Setelah itu larutan dikemas sebanyak 50 mL dalam kantong plastik ukuran (9 x 11) cm² menggunakan mesin *sealer*. Sintesis gelatin berikatan silang dengan iradiasi sinar gamma pada dosis 10 kGy, 20 kGy, 30 kGy, 40 kGy, dan 50 kGy (laju dosis 7 kGy/jam) dalam kondisi suhu kamar dan udara atmosfer di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) BATAN.

Karakterisasi Spektrofotometer FT-IR

Sampel gelatin iradiasi dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *FT-IR* (Shimadzu, Prestige-21) di PATIR-BATAN. Sampel dipindai sebanyak 20 kali dengan resolusi 2 cm⁻¹ pada rentang bilangan gelombang 4000 cm⁻¹ hingga 400 cm⁻¹. Sampel gelatin yang berbentuk larutan dikarakterisasi langsung dengan spektrofotometer *FT-IR* sedangkan sampel yang berbentuk gel dikarakterisasi dalam bentuk film. *Background* standar yang digunakan adalah larutan asam asetat 0,5 M untuk sampel yang berbentuk larutan dan kalium bromida untuk sampel yang berbentuk film. Spektrum *FT-IR* dosis 0 kGy digunakan untuk

mengkonfirmasi bahan uji sebagai gelatin dan juga sebagai spektrum standar gelatin tanpa iradiasi.

Pengukuran Spektrofotometer UV-Vis

Absorbansi gelatin iradiasi yang berbentuk larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis (*Shimadzu, UVmini-1240*) di PATIR-BATAN. Pengukuran dilakukan pada interval panjang gelombang 200 nm hingga 400 nm pada suhu 25 °C. Koreksi *baseline* spektrum serapan menggunakan larutan asam asetat 0,5 M.

Penentuan Viskositas

Viskositas larutan gelatin ditentukan menggunakan viskosimeter (*Tokyo Keiki Co. Ltd., Visconic EMD*) di PATIR-BATAN. Alat viskosimeter bekerja pada 0,5 rpm dan suhu 30 °C. Pengujian dilakukan 10 kali ulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Gelatin Berikatan Silang

Bahan baku sisik ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) dan gelatin hasil ekstraksi ditunjukkan pada Gambar 1. Ekstraksi bahan baku tersebut menghasilkan larutan berwarna kuning bening dengan aroma khas ikan. Larutan tersebut masih berada pada fase *sol* pada suhu kamar.

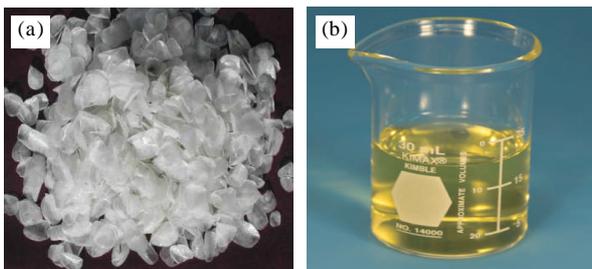
Pengukuran *FT-IR* larutan hasil ekstraksi (gelatin dosis iradiasi 0 kGy) mengkonfirmasi bahwa larutan

tersebut adalah gelatin, sebagaimana disajikan pada Gambar 2. Gelatin kontrol menunjukkan spektrum *FT-IR* tipikal gelatin ikan, dimana terdapat 3 *area* puncak, yaitu: *area* puncak 1 (3600 cm^{-1} hingga 2700 cm^{-1}) meliputi ikatan amida A dan amida B; *area* puncak 2 (1900 cm^{-1} hingga 900 cm^{-1}) meliputi ikatan amida I, amida II dan amida III; dan *area* puncak 3 (900 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1}) meliputi ikatan amida IV, amida V dan amida VI. Hasil ini bersesuaian dengan spektrum *FT-IR* gelatin ikan yang diperoleh peneliti sebelumnya [30,31].

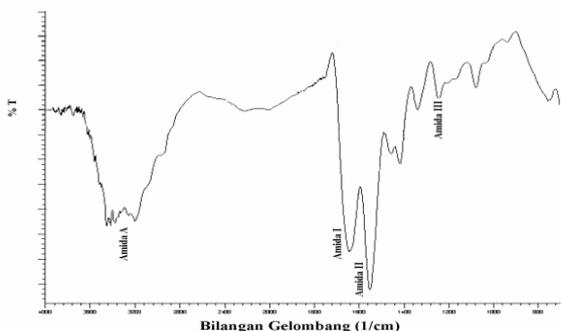
Sintesis ikatan silang pada gelatin dapat dilakukan secara fisika dan kimia melalui proses yang relatif sama. Proses pembentukan ikatan silang pada larutan gelatin terjadi melalui dua tahap, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 [32]. Dalam bentuk larutan, rantai gelatin menunjukkan perilaku agregasi sehingga molekulnya berada pada struktur *random coil*. Rantai gelatin pada segmen yang kaya kandungan asam imino kemudian mengalami proses renaturasi membentuk segment *triple heliks* yang mirip struktur tropokolagen.

Pada segmen *random coil* yang *amorph*, rantai-rantai tersebut saling berikatan silang membentuk struktur jalinan tiga dimensi (3D) disertai perubahan fasa gelatin dari larutan (*sol*) menjadi *gel* [33,34]. Sintesis gelatin berikatan silang secara fisika dilakukan dengan menurunkan suhu larutan gelatin dibawah suhu transisi *sol-gel* atau menaikkan konsentrasi gelatin hingga melewati konsentrasi kritis agregasi. Ikatan silang secara fisika terjadi karena adanya ikatan hidrogen, ikatan *Van der Waals* dan ikatan ionik. Ikatan silang secara kimiawi terjadi akibat terbentuknya ikatan kovalen yang bisa dilakukan dengan penambahan *cross linker* atau diinduksi dengan iradiasi gamma [35].

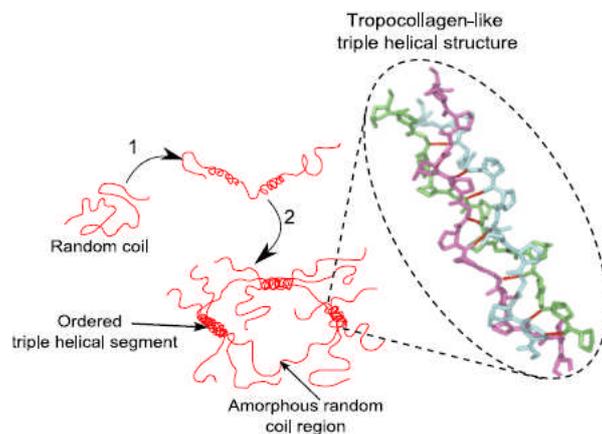
Dalam penelitian ini, gelatin berikatan silang telah disintesis dengan induksi iradiasi gamma. Iradiasi gamma pada dosis 40 kGy dan 50 kGy menyebabkan gelatin mengalami perubahan fasa dari *sol* menjadi *gel* pada suhu kamar. Perubahan fasa tersebut mengindikasikan terbentuknya ikatan silang antarmolekul gelatin yang membentuk struktur jalinan 3D. Ikatan silang tersebut



Gambar 1. Sisik ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) (a). setelah pencucian dan (b). gelatin hasil ekstraksi.



Gambar 6. Spektrum *FT-IR* larutan gelatin hasil ekstraksi dari sisik ikan kakap putih (*Lates calcarifer*)



Gambar 3. Skema proses pembentukan ikatan silang pada molekul gelatin

diduga terjadi secara kimiawi akibat pembentukan ikatan kovalen. Hal ini akan dikonfirmasi berdasarkan hasil karakterisasi *FT-IR gel* gelatin iradiasi.

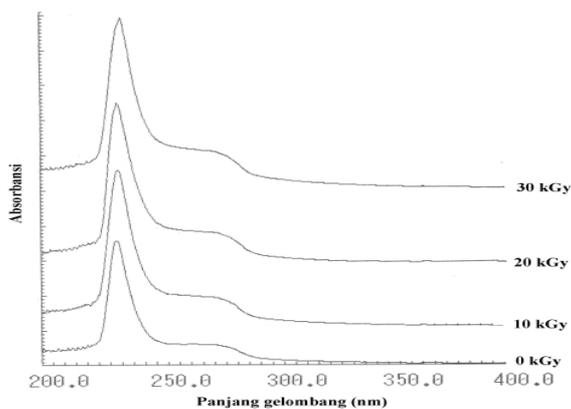
Iradiasi gamma pada dosis hingga 30 kGy tidak menyebabkan perubahan fasa pada larutan gelatin. Diduga ikatan silang telah terbentuk diantara molekul gelatin namun belum membentuk jalinan 3 dimensi secara menyeluruh dalam larutan. Ikatan silang yang terjadi secara parsial ini dikonfirmasi berdasarkan perubahan absorbansi spektrum *UV-Vis* dan viskositas larutan gelatin iradiasi [36].

Spektrum *UV-Vis* Gelatin

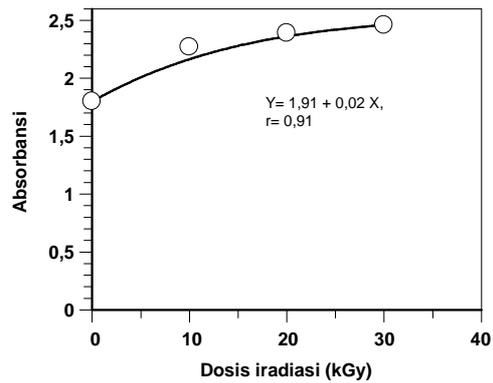
Pengukuran spektrum *UV-Vis* dalam penelitian ini digunakan untuk membuktikan pembentukan ikatan silang dalam larutan gelatin iradiasi pada dosis hingga 30 kGy. Kenaikan absorbansi larutan kolagen pada spektrum *UV-Vis* akibat suatu perlakuan berkaitan dengan kenaikan derajat ikatan silang molekul kolagen dalam larutan tersebut [37]. Spektrum *UV-Vis* larutan gelatin iradiasi 0 kGy hingga 30 kGy disajikan pada Gambar 4 dan hasil penentuan absorbansinya disajikan pada Gambar 5.

Pada dosis iradiasi hingga 30 kGy, pola spektrum *UV-Vis* gelatin iradiasi tidak mengalami perubahan baik pada panjang gelombang maupun bentuk puncak absorbansinya. Hal ini mengindikasikan bahwa iradiasi gamma tidak menyebabkan transformasi gelatin menjadi senyawa lain. Hasil ini bersesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya gelatin dari ikan *bigeye spapper* [38]. Puncak absorbansi spektrum *UV-Vis* gelatin terjadi pada panjang gelombang 235 nm dengan nilai absorbansi yang meningkat dengan peningkatan dosis radiasi.

Absorbansi larutan gelatin iradiasi dosis 0 kGy, 10 kGy, 20 kGy dan 30 kGy berturut-turut sebesar $1,80 \text{ cm}^{-1}$, $2,27 \text{ cm}^{-1}$, $2,39 \text{ cm}^{-1}$ dan $2,46 \text{ cm}^{-1}$. Peningkatan absorbansi larutan gelatin berkorelasi dengan dosis radiasi mengikuti persamaan linier $Y = 1,91 + 0,02X$ dengan $r = 0,91$. Hal ini membuktikan bahwa ikatan



Gambar 4. Spektrum *UV-Vis* larutan gelatin iradiasi pada dosis hingga 30 kGy



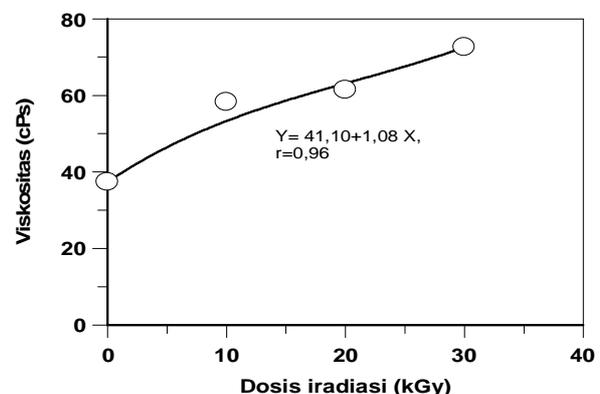
Gambar 5. Pengaruh dosis iradiasi terhadap absorbansi larutan gelatin hasil iradiasi 10 kGy, 20 kGy dan 30 kGy diukur dengan spektrofotometer *UV-Vis* pada $\lambda = 235 \text{ nm}$.

silang dalam molekul gelatin juga terjadi pada dosis iradiasi hingga 30 kGy walaupun larutan gelatin belum mengalami perubahan fasa. Ikatan silang dalam larutan gelatin iradiasi juga dikonfirmasi berdasarkan peningkatan viskositas larutan tersebut.

Penentuan Viskositas Gelatin

Gelatin merupakan senyawa biopolimer dengan berat molekul yang relatif tinggi. Peningkatan viskositas molekul polimer dalam larutan akibat suatu perlakuan pada kondisi lingkungan yang tetap berkaitan dengan peningkatan berat molekul polimer tersebut [39]. Perubahan viskositas larutan gelatin iradiasi akibat iradiasi gamma pada dosis hingga 30 kGy ditunjukkan pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6, viskositas larutan gelatin iradiasi meningkat dengan meningkatnya dosis radiasi pada dosis hingga 30 kGy. Peningkatan viskositas tersebut berkorelasi secara linier dengan dosis radiasi mengikuti persamaan $Y = 41,10 + 1,089 X$ dengan $r = 0,96$. Hal ini mengkonfirmasi adanya kenaikan berat molekul gelatin akibat pembentukan ikatan silang yang terjadi akibat induksi radiasi sinar gamma. Ikatan silang dalam molekul gelatin menyebabkan pembentukan rantai



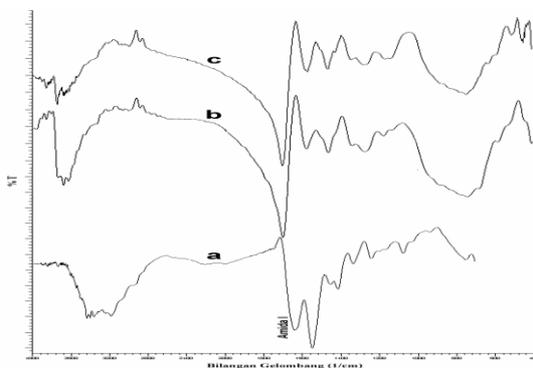
Gambar 6. Pengaruh dosis radiasi terhadap viskositas larutan gelatin hasil iradiasi 0 kGy, 10 kGy, 20 kGy dan 30 kGy.

cabang dan atau pemanjangan rantai linier gelatin yang menambah berat molekul gelatin [36].

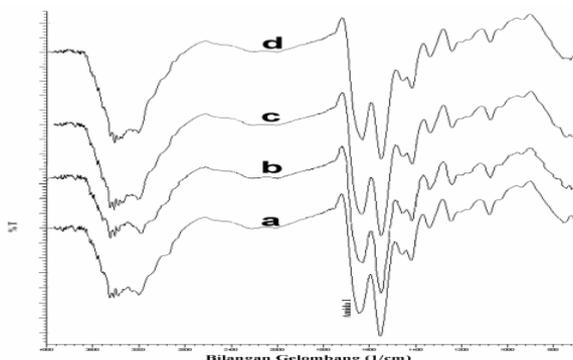
Spektrum *FT-IR* Gelatin

Efek radiasi terhadap pembentukan ikatan silang pada struktur molekul gelatin dalam larutan diketahui berdasarkan perubahan spektrum *FT-IR* sampel. Efek tersebut dianalisis berdasarkan perubahan pada ikatan amida I. Ikatan amida I (1900 cm^{-1} hingga 1650 cm^{-1}) merupakan puncak serapan yang paling penting dalam analisis struktur protein menggunakan spektroskopi *FT-IR* karena sebanyak 80 % serapan puncak tersebut berasal dari vibrasi regangan $C=O$ ikatan peptida protein yang sensitif terhadap variasi kecil pada geometri molekul dan pola ikatan hidrogen [40-42]. Penurunan intensitas serapan pada puncak ini disebabkan oleh hilangnya struktur sekunder dan pembentukan *random coil* [43]. Spektrum *FT-IR* larutan gelatin iradiasi ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Spektrum *FT-IR* gelatin iradiasi berbentuk *gel* pada dosis iradiasi 40 kGy dan 50 kGy berubah secara signifikan dibandingkan gelatin kontrol (bentuk larutan) seperti yang disajikan pada Gambar 7. Terlihat bahwa puncak ikatan amida I mengalami peningkatan intensitas absorbansi disertai pergeseran dari bilangan gelombang



Gambar 7. Spektrum *FT-IR* (a) gelatin kontrol (bentuk larutan), (b) 40 kGy (bentuk gel) dan (c) 50 kGy (bentuk gel).



Gambar 8. Spektrum *FT-IR* (a). gelatin kontrol dibandingkan gelatin berikatan silang yang berbentuk larutan dengan teknik induksi radiasi pada dosis (b). 10 kGy, (c). 20 kGy dan (d). 30 kGy.

1650 cm^{-1} menjadi 1700 cm^{-1} . Peningkatan intensitas absorbansi puncak amida I merupakan indikasi terjadinya ikatan silang melalui gugus karboksil ($C=O$) pada ikatan peptida yang menyebabkan adanya percabangan dan atau pemanjangan molekul gelatin. Selain itu, *area* puncak I gelatin iradiasi dosis 40 kGy dan 50 kGy mengalami penyempitan dan pergeseran bilangan gelombang dibandingkan gelatin kontrol (0 kGy). *Area* I gelatin kontrol berada pada rentang 3600 cm^{-1} hingga 2700 cm^{-1} sedangkan gelatin iradiasi dosis 40 kGy dan 50 kGy berada pada rentang 3250 cm^{-1} hingga 3800 cm^{-1} .

Hal ini mengindikasikan bahwa ikatan silang akibat induksi iradiasi gamma juga melibatkan gugus hidoksil ($-OH$) pada gelatin. Gugus hidoksil merupakan gugus reaktif pada rantai samping molekul gelatin yang membentuk ikatan silang sehingga terbentuk struktur heliks dan tropokolagen pada rantai gelatin [44].

Transisi larutan kolagen dari sol menjadi gel akibat ikatan silang yang diinduksi secara kimiawi [36]. Pada tahap awal dimana derajat ikatan silang sangat rendah, ikatan silang secara intramolekul agregat kolagen yang melibatkan residu lisin membentuk rantai berpilin. Selanjutnya ketika derajat ikatan silang meningkat, ikatan silang terjadi secara intramolekular dan intermolekular dalam molekul-molekul gelatin dalam larutan membentuk sistem campuran antara jalinan kolagen yang belum saling terkoneksi dan agregat kolagen dengan berat molekul beragam. Pada tahap ini, kolagen tersebut masih berada fasa *sol*. Ketika derajat ikatan silang dalam larutan melewati titik kritis transisi *sol* menjadi *gel*, agregat kolagen berikatan silang membentuk struktur jalinan 3D yang terinterkoneksi. Mobilitas agregat menurun secara drastis sehingga terjadi transisi dari *sol* menjadi *gel*. Pada penelitian ini, gelatin iradiasi pada dosis 10 kGy hingga 30 kGy masih berada pada fasa larutan dikarenakan derajat ikatan silang dalam larutan gelatin tersebut masih rendah dan belum mencapai titik kritis transisi *sol-gel*.

Pembentukan ikatan silang pada kondisi ini melibatkan gugus hidroksi dalam residu lisin dan arginin. Ikatan silang terjadi antara hidroksimetil-lisin dengan hidroksimetil-arginin membentuk jembatan dimetilen-eter antara kedua gugus asam amino tersebut [44]. Hal ini terlihat pada spektrum *FT-IR* gelatin iradiasi tersebut yang menunjukkan penyempitan *area* puncak I (*area* absorbansi hidoksil) tanpa disertai perubahan terhadap intensitas absorbansi puncak amida I dibandingkan gelatin kontrol (Gambar 8).

KESIMPULAN

Iradiasi gamma dapat digunakan untuk mengubah larutan gelatin menjadi bentuk *gel*. Meningkatnya dosis iradiasi hingga 50 kGy mengakibatkan viskositas larutan gelatin meningkat dan larutan gelatin berubah menjadi *gel*

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada ibu Dian Iramani dan Fajar Lukitowati SSi yang telah membantu analisis viskositas dan spektrofotometer *UV-Vis* larutan gelatin serta rekan-rekan di fasilitas irradiator IRPASENA yang telah membantu iradiasi sampel hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR ACUAN

- [1]. P. SONGCHOTIKUNPAN, J. TATTIYAKUL and P. SUPAPHOL, *International Journal of Biological Macromolecules*, **42** (2008) 247-255
- [2]. V. KLOMPONG, S. BENJAKUL, D. KANTACHOTE, F. SHAHIDI, *Food Chem.*, **102** (2007) 1317-1327
- [3]. S. S. CHOI and J. M. REGENSTEIN, *Journal of Food Science*, **65** (2000) 194-199
- [4]. M. C. GÓMEZ-GUILLÉN, B. GIMÉNEZ, M. E. LÓPEZ-CABALLERO and M.P. MONTERO, *Food Hydrocolloids*, **25** (2011) 1813-1827
- [5]. A. JONGJAREONRAK, S. BENJAKUL W. VISESSANGUAN and M. TANAKA, *Food Hydrocolloids*, **20** (2006) 1216-1222
- [6]. B. JAMILAH and K. G. HARVINDER, *Food Chem.*, **77** (2002) 81-84
- [7]. J. H. MUYONGA, C. G. B. COLE and K. G. DUODU, *Food Hydrocolloids*, **18** (2004) 581-592
- [8]. C. S. CHEOW, M. S. NORIZAH, Z. Y. KYAW and N. K. HOWELL, *Food Chem.*, **101** (2007) 386-391
- [9]. S. WANGTUEAI and A. NOOMHORN, *Food Sci. Technol.-LEB*, **42** (2009) 825-834
- [10]. Y. NOMURA, H. SAKAI, Y. ISHII and K. SHIRAI, *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, **60** (1996) 2092-2094
- [11]. M. OGAWA, R. J. PORTIER, M. W. MOODY, J. BELL, M. A. SCHEXNAYDER and J. S. LOSSO, *Food Chemistry*, **88** (2004) 495-501
- [12]. A. VEIS, *The Macromolecular Chemistry of Gelatin*, Academic Press Inc., New York, (1964)
- [13]. G. BORAN, S. J. MULVANEY and J. M. REGENSTEIN, *J. Food Sci.*, **75** (2010) 565-571
- [14]. N. J. EINERSONA, K. R. STEVENSA and W. J. KAO, *Biomaterials*, **24** (2002) 509-523
- [15]. A. TANAKA, T. NAGATE and H. MATSUDA, *J. Vet. Med. Sci.*, **9** (2005) 909-913
- [16]. H. W. KANG, Y. TABATA and Y. IKADA, *Biomaterials*, **14** (1999) 1339-1344
- [17]. M. A. VANDELLI, F. RIVASI, F. GUERRERA, F. FORNI and R. ARLETTI, *Int. J. of Pharmaceutic*, **215** (2001) 175-184
- [18]. R. A. DE CARVALLO and C. R. F. GROSSO, *Food Hydrocolloids*, **18** (2004) 717-726
- [19]. H. C. LIANG, W. H. CHANG, H. F. LIANG, M. H. LEE, H. W. SUNG, *J. of Appli. Polym. Scie.*, **91** (2004) 4017-4026
- [20]. G. THAKUR, A. MITRA, D. ROUSSEAU, A. BASAK, S. SARKAR and K. PAL, *J. Mater.Sci. Mater. Med.*, **22** (2011) 115-123
- [21]. S. FARRIES, J. H. SONG and Q. R. HUANG, *J. Agrie. Food Chem.*, **58** (2010) 998-1003
- [22]. ABRAHAM, A. C., CZAYKA, M. A., FISCH, M. R., *Radiat. Phys. and Chem.*, **79** (2010). 83-92
- [23]. J. P. MAITY, S. KAR, S. BANERJE, A. CHACREBORTY, and S. C. SANTRA, *Radiat. Phys. Chem.*, **78** (2009) 1006-1010
- [24]. K. A. RIGANAKOS, *Food Irradiation Techniques in Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. Ed. I S. ARVANITTOYANNIS, Academic Press, London (2010) 23-40
- [25]. O. MRAD, J. SANNIER, C. A. CHODUR, Y. ROSILLO, F. AGNELLY, P. AUBERT, J. VIGNERON, N. A. ETCHEBERRY, and N. YAGOUCHI, *Radiat. Phys. Chem.*, **79** (2010) 93-103
- [26]. H. Y. DAVID, A. F. MORGAN, and R. F. MARK, *The Journal of Arthroplasty*, **26** (2011) 303-308
- [27]. C. S. LUCIO, A. K. L. FRANCISCO, A. G. B. MARCEL, C. S. ALEX, and D. B. M. LUCI, *Progress in Nuclear Energy*, **52** (2010) 93-103
- [28]. J. K. MISHRA, Y. W. CHANG, B. C. LEE, and S. H. RYU, *Radiat. Phys. Chem.*, **77** (2008) 675-679
- [29]. S. CHATTOPADHYAY, T. K. CHAKI, and A. K. BHOWNICK, *Radiat. Phys. Chem.*, **59** (2000) 501-510
- [30]. D. M. HASYIM, Y. B. C. MAN, R. NORAKASHA, M. SHUHAIMI, Y. SALMAH, and Z. A. SYAHARIZA, *Food Chem.*, **118** (2010) 856-860.
- [31]. J. H. MUYONGA, C. G. B. COLE, and K. G. DOUDU, *Food Chem.*, **86** (2004) 325-332
- [32]. G. N. RAMACHANDRAN, *Treatise on Collagen: Chemistry of Collagen*, Academic Press Inc., London, (1967) 103-183
- [33]. J. L. GORNALL, and E. M. TERENTJEV, *Phys. Rev.* **E77** (2008) 0319081-0319088
- [34]. J. L. GORNALL, and E. M. TERENTJEV, *Soft Matter* **4** (2008) 544-549
- [35]. Y. ZHAO, Y. CAO, Y. L. YANG, and C. WU, *Macromolecules* **36** (2003) 855-859.
- [36]. M. ZHANG, J. H. LI, C. C. DING, W. T. LIU, and G. Y. LI, *Food Hydrocolloids*, **30** (2013) 504-511
- [37]. M. T. SHEU, J. C. HUANG, G. C. YEH, and H. O. HO, *Biomaterials*, **22** (2001) 1713-1719
- [38]. M. PEREZ-MATEOS, P. MONTERO, and M. C. GOMEZ-GUILLEN, *Food Hydrocoll.*, **23** (2009) 53-61
- [39]. H. L. WAGNER, *J. Phys. Chem.*, **14** (1985) 611-617
- [40]. S. KRIMM, and J. BANDEKAR, *Adv. Protein Chem.*, **38** (1986) 181-364
- [41]. H. SUSI, and D. M. BYLER, *Methods. Enzymol.*, **130** (1986) 290-311
- [42]. W. K. SUREWICZ, and H. H. MANSTTSCH, *Biochim. Biophys. Acta.*, **952** (1988) 115-130

- [43] G.S. AL-SAIDI, A. AL-ALAWI, M. S. RAHMAN, and N. GUIZANI, *Int. Food Res.*, **19** (3) (2012) 1167-1173
- [44] R. T. JONES, *Gelatin: Manufacture and Physico-Chemical Properties in Pharmaceuticals Capsule*. Eds F. PODCZECK, and B. E. JONES, 2nd Edition, Pharmaceutical Press, London (2004) 23-56