

## Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Hidrogel Metilselulosa Hasil Sintesis Menggunakan Iradiasi Berkas Elektron

### *Physical and Mechanical Characterization of Hydrogels Methyl-Cellulose Synthesized by Electron Beam Irradiation*

**Ambyah Suliwarno**

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440  
Email: ambyahs@batan.go.id

Diterima 25-2-2014; Diterima dengan revisi 14-3-2014; Disetujui 6-5-2014

#### ABSTRAK

**Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Hidrogel Metilselulosa Hasil Sintesis Menggunakan Iradiasi Berkas Elektron.** Telah dilakukan sintesis hidrogel metilselulosa dari 5 tipe berat molekul menggunakan radiasi berkas elektron pada dosis 10 kGy hingga 100 kGy. Film hidrogel dengan ukuran 16cm × 16cm × 1,2mm dilakukan pengamatan terhadap sifat fisik dan mekanik yang meliputi; persen pengembangan, fraksi gel, kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Pengukuran dengan viscometer *ubbelohde*, diperoleh berat molekul (Mv) metilselulosa berurutan dari rendah ke tinggi adalah sebagai SM-4 < SM-100 < SM-400 < SM-4000 < SM-8000. Pasca iradiasi, hidrogel metilselulosa SM-4 tidak terbentuk pada semua konsentrasi, karena semua gel larut dalam air. Fraksi-fraksi gel hidrogel SM-100, SM-400, SM-4000 dan SM-8000 naik dengan naiknya dosis iradiasi, dan turun pada konsentrasi yang meningkat. Persen pengembangan hidrogel SM-100, SM-400, SM-4000 dan SM-8000 turun dengan naiknya dosis, dan konsentrasi. Mv yang relatif tinggi pada; SM-400, SM-4000 dan SM-8000 menyebabkan tegangan putus cenderung naik dengan naiknya dosis khususnya pada konsentrasi 20% dan 30%. Perpanjangan putus hidrogel SM-400, SM-4000 dan SM-8000 meningkat dengan naiknya konsentrasi, dan turun seiring naiknya dosis radiasi. Penurunan sifat-sifat kekuatan tarik dan perpanjangan putus hidrogel, diduga kuat terjadi degradasi karena efek dosis radiasi di atas 40 kGy. Hidrogel dengan penampilan yang baik diperoleh dari metilselulosa dengan Mv menengah; SM-100, SM-400, dan SM-4000, konsentrasi 15% - 20% dan dosis radiasi pada 20 kGy.

**Kata kunci;** iradiasi berkas elektron, sifat fisik dan mekanik, hidrogel, metilselulosa, berat molekul.

#### ABSTRACT

**Physical and Mechanical Characterization of Hydrogels Methyl-Cellulose Synthesized by Electron Beam Irradiation.** Methylcellulose hydrogels from 5 kinds of molecular weight were synthesized by using electron beam irradiation with the dose range of 10 kGy up to 100 kGy. Hydrogels films with the size of 16cm × 16cm × 1.2mm were characterized on the degree of swelling, gels content, tensile strength and elongation at break. Measurement by using *ubbelohde* viscometer, showed that the methylcellulose's molecular weight (Mv) in the following rank of; SM-4 < SM-100 < SM-400 < SM-4000 < SM-8000. After irradiation, crosslink of SM-4 methylcellulose does not occurred, it was due to that the gels are dissolved in water. Gels fraction of methylcellulose SM-100, SM-400, SM-4000 and SM-8000 increased when dose irradiation was increased, and it decreased by increasing of gel concentration. Degree of swelling of the SM-100, SM-400, SM-4000 and SM-8000 hydrogels decreased by increasing irradiation dose as well as the by concentration of gel increases. At a relatively high Mv, that are SM-400, SM-4000 and SM-800 tensile strength rose with increasing of irradiation dose, especially at the concentrations of 20% and 30%. The

elongation properties of SM-400, SM-4000 and SM-8000 hydrogels, increase with increasing concentration, and decreases with the increase of radiation dose. Decreasing of both tensile strength and elongation of hydrogels, allegedly is due to the influence of the degradation of high irradiation dose, which was more than 40 kGy. The excellent hydrogels appearance are obtained from methyl-cellulose with a of Mv; SM-100, SM-400 and SM-4000, that required a range concentration of 15% ~20% and irradiation dose of 20 kGy.

**Key words:** electron beam irradiation, physical and mechanical, hydrogels, methylcellulose, molecular weight.

## PENDAHULUAN

Hidrogel merupakan suatu material terdiri dari satu atau lebih komponen pada suatu sistem yang mempunyai ikatan silang berupa jaringan tiga dimensi dari rantai polimer dan molekul-molekul air yang mengisi ruang di antara makromolekul yang berikatan silang. Interaksi serta terkekangnya air di dalam sistem, disebabkan sifat hidrofilik dari makromolekul. Pada umumnya, fraksi berat air lebih besar dari pada fraksi makromolekul pembentuk jaringan tiga dimensi. Hidrogel dengan ikatan kovalen untuk sistem jaringan 3 dimensi bersifat sebagai hidrogel permanen yang tahan terhadap pelarut, dan tipe hidrogel tersebut terurai atau rusak dengan reaksi kimia dan tekanan mekanik. Sebagian besar air sebagai komponen utama hidrogel memungkinkan adanya penetrasi dari senyawa atau pelarut berat molekul rendah [1].

Metil selulosa adalah senyawa hidropilik turunan selulosa dengan gugus metilen terikat oleh ikatan eter pada cincin glukosa anhidrat. Metilselulosa merupakan serbuk putih yang larut dalam air dingin, namun tidak larut dalam air panas. Sebagian besar metil selulosa yang digunakan dengan pelarut air mempunyai derajat substitusi (DS) antara 1,4 hingga 2,0 atau dengan kandungan metoksi antara 23,5 hingga 32,5%. Untuk senyawa dengan nilai DS yang tinggi, yaitu antara 2,4 hingga 2,8 tidak larut dalam air, melainkan larut dalam senyawa organik, sedangkan derajat substitusi rendah, yaitu 0,1 hingga 1,1 senyawa larut dalam larutan NaOH 2 hingga 8%. Secara umum, sifat metil selulosa

ditentukan oleh tinggi rendahnya DS dan distribusi gugus metoksi pada cincin glukosa. Dalam industri, metilselulosa dipakai sebagai adesif yaitu pengental pada sistem termoplastik pada logam panas. Dalam bidang kosmetik, sebagai pelarut dan pengental alkohol, zat untuk perawatan rambut, sedang dalam bidang lain, sebagai pengikat kadar abu rendah pada proses pembuatan keramik [2]. Beberapa tahun terakhir aplikasi hidrogel digunakan secara luas dalam bidang biomedis, dengan munculnya berbagai fungsi hidrogel yang dikenal dengan *Polimer Cerdas* di antaranya sebagai pemberian obat terkontrol, manajemen luka serta teknik jaringan [3,4]. Dalam bidang kedokteran, hidrogel dengan sifat sensitive terhadap suhu dan sifat keasaman (pH) banyak digunakan sebagai aplikasi bedah dan transkateter termasuk bedah vascular serta kedokteran regenerative, di mana variabel lingkungan seperti pH rendah dan temperatur tinggi, yang dijumpai dalam tubuh [5].

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah metilselulosa dengan nama dagang *metolose* SM-4, SM-100, SM-400, SM-4000 dan SM-8000 produk dari Shin Etsu Co. (Japan), sebagai bahan utama pembuatan larutan pasta dan gel, air suling demineralisasi yang dipakai sebagai pembuat pasta. Lembaran film poli propilen (PP) dengan ketebalan 30  $\mu\text{m}$  untuk pengemas vaum larutan pasta.

## Peralatan

Viskometer Ubbelohde untuk penentuan viskositas larutan metil selulosa pada suhu 20°C. Mesin berkas elektron Cock-Croft Walton NHV 5 MeV, 30mA yang dilengkapi dengan konveyor dengan kecepatan yang bisa diatur untuk penentuan laju dosis (JAEA Takasaki, Japan). Peralatan *Benchtop Centrifuge* BBI-858 dengan wadah bertutup rapat (*cup and cover*) kapasitas 150ml. Mesin pengemas vakum (*vacuum sealer*) untuk mengemas film pasta sebelum iradiasi. Mesin pres untuk membuat film pasta. Neraca analitik untuk penimbangan secara kuantitatif, saringan kawat baja 200 *mesh* untuk pengemas gel dalam air, kertas saring dan sebagainya.

## METODE

### Preparasi hidrogel

Dari 5 jenis metilselulosa; SM-4, SM-100, SM-400, SM-4000 dan SM-8000 masing-masing dibuat sebanyak 150 ml larutan pasta untuk konsentrasi-konsentrasi 15%, 20% dan 30% (b/b) dengan cara menambahkan serbuk ke dalam sejumlah air pada wadah, kemudian diaduk hingga merata dan wadah ditutup rapat, lalu dilakukan sentrifus pada 2500 rpm selama 10 menit. Larutan pasta disimpan pada lemari pendingin 12-15°C selama 24 jam untuk pemantapan homogenitasnya. Film pasta dibuat dengan cara pengepresan larutan pasta terkemas film PP, dengan mesin Press pada tekanan 150 kg/cm<sup>2</sup> pada suhu kamar, kemudian dilakukan pengemasan vakum. Film pasta yang diperoleh berdimensi; 16 cm × 16 cm dengan ketebalan 1,2 mm, sejumlah 15 lembar (variasi dari 3 konsentrasi dan 5 jenis sampel). Untuk memperoleh hidrogel, dilakukan iradiasi terhadap film pasta dengan menggunakan berkas elektron (1 MeV, 10 mA) dengan menaruh film pasta pada sebuah konveyor dengan pengaturan kecepatan, sehingga diperoleh laju dosis 10 kGy per lintas. Dengan mengatur arah kecepatan maju dan mundur konveyor

dalam melintasi *window beam*, dosis-dosis iradiasi 10 kGy hingga 100 kGy dapat dilakukan, sehingga diperoleh 15 × 8 = 120 lembar film hidrogel (variasi 15 sampel dan 8 dosis radiasi) untuk uji analisis sifat mekanik [7].

### Penentuan berat molekul

Ditimbang masing-masing serbuk sebanyak 0,02 gram kemudian dilarutkan dalam air hingga volume 100ml pada suhu ruang. Viskositas dari masing-masing larutan ditentukan dengan viscometer Ubbelohde pada suhu 20°C. Penentuan berat molekul (Mv) metil selulosa SM dilakukan menurut metode United Standard Pharmacopea (USP) [8].

### Pengujian fraksi gel (*gel fraction*)

Untuk setiap sampel diambil 2 (dua) potong film ukuran 1 cm × 1 cm dengan berat yang sama, potongan pertama dimasukkan ke dalam oven suhu 80°C selama 24 jam, kemudian gel kering ditimbang sebagai W<sub>o</sub>. Potongan film kedua dibungkus saringan kawat baja 200 *mesh* dan direndam dalam air pada suhu kamar sambil digoyang (*shaker*) selama 24 jam, kemudian dikeringkan dengan oven 80°C untuk 24 jam, setelah itu ditimbang sebagai W<sub>d</sub>. Fraksi gel adalah persen dari hidrogel yang tidak larut dalam air (pelarut), di mana fraksi gel dirumuskan dengan formulasi berikut [7, 9] :

$$\text{Fraksi gel} = \frac{W_d}{W_o} \times 100\%$$

Dengan W<sub>o</sub> = berat awal hidrogel kering, g  
W<sub>d</sub> = berat hidrogel kering setelah pelarutan, g.

### Penentuan persen pengembangan (*Degree of Swelling*)/DS

Persen pengembangan didefinisikan sebagai perbandingan antara berat dari gel saat mengembang (*swelling*) dengan berat gel kering. Persen pengembangan ini dapat ditentukan dengan cara memotong film gel

dengan masing-masing 1 cm × 1 cm, dan dibuang plastik pengemasnya. Potongan pertama dikeringkan dalam oven 80°C selama 24 jam, lalu ditimbang sebagai bobot kering,  $W_d$ . Potongan kedua dilarutkan dalam air didiamkan semalam, lalu gel diambil dan permukaannya diusap dengan kertas tisu, ditimbang sebagai berat saat mengembang,  $W_s$ .

Persen pengembangan atau *degree of swelling*, diformulasikan sebagai;

$$DS = \frac{W_s}{W_d} \times 100\%.$$

Dengan :  $W_s$  = berat gel di saat mengembang, g.  
 $W_d$  = berat gel kering, g.

#### Kekuatan tarik (*Tensile Strength*)/TS

Untuk penentuan kekuatan tarik, film hidrogel dipotong dengan pisau *dumbbell cutter* seri ASTM D 412 dalam beberapa potong, kemudian dilakukan pengujian dengan Instron tester Stograph-R1 (Toyoseiki). Spesi film uji dari ASTM D 412 berbentuk spesifik, dengan lebar bagian putus = 0,3cm, bagian mulur 1cm. Jumlah beban (kg) dalam penentuan sifat fisik ini adalah puncak yang merepresentasikan beban terhadap spesi film hidrogel hingga

$$TS = \frac{F}{L \times t}$$

Di mana;  $F$  = beban putus, kg  
 $L$  = Lebar spesi film uji, 0,3 cm,  
 $t$  = Ketebalan film hidrogel, cm.

Untuk perpanjangan putus/*elongation at break*, EB;

$$EB = \frac{L_b}{L_o} \times 100\%,$$

Di mana;  $L_b$  = Panjang spesi film uji yang mulur pada saat putus, cm  
 $L_o$  = Panjang spesi film uji awal, cm.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut WACH [1], air adalah pelarut yang terbaik untuk senyawa-senyawa turunan selulosa, karena secara langsung dapat berinteraksi melalui sifat hidropiliknya serta dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus -OH dari substituen metilselulosa. Hasil pengukuran viskositas larutan metilselulosa, diperoleh data berat molekul (*molecular weight*),  $M_v$  sebagai berikut (Tabel 1) ;

**Tabel 1.** Berat molekul,  $M_v$  dari 5 (lima) jenis metilselulosa tipe SM

No	Sampel	Viskositas instrinsik, $\eta$	Berat molekul $M_v$ , g/mol
1	Metolose SM-4	0,7532	$2,1 \times 10^4$
2	Metolose SM-100	3,0540	$2,67 \times 10^4$
3	Metolose SM-400	7,7251	$1,45 \times 10^6$
4	Metolose SM-4000	8,0232	$1,55 \times 10^6$
5	Metolose SM-8000	8,6820	$1,79 \times 10^6$

putus, yang tertera sebagai jarak (dalam cm) pada *chart paper* saat putus. Kekuatan tarik, TS diformulasikan sebagai berikut;

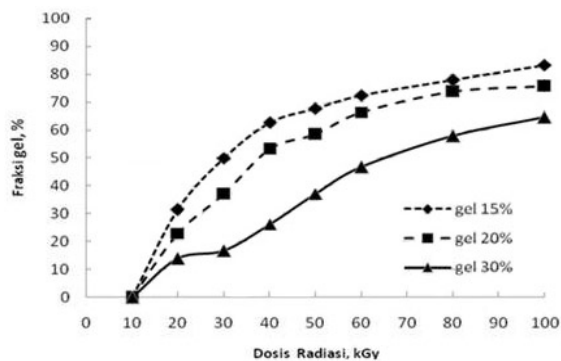
Larutan pasta metilselulosa SM-4 ( $M_v = 2,1 \times 10^4$ ) pada semua konsentrasi 15%, 20% dan 30% terlihat lunak dan pasca iradiasi, semua gel larut dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi ikatan

silang pada gel SM-4, disebabkan berat molekulnya yang relatif rendah [10]. Menurut LOT [16], bahwa pada larutan sistim air-metilselulosa dengan  $M_v > 3 \times 10^5$  g/mol dapat membentuk gel yang transparan dengan adanya serat-serat metilselulosa terdispersi dalam media air.

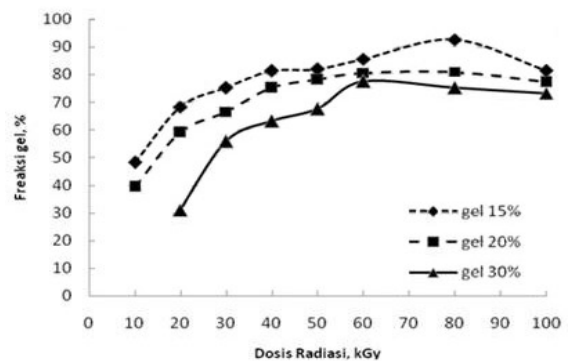
Gambar-gambar 1a, 1b, 1c dan 1d adalah besaran fraksi gel versus dosis radiasi dari metil-selulosa SM-100, SM-400, SM-4000 dan SM-8000. Dari kurva terlihat bahwa persen fraksi gel untuk semua konsentrasi, nilainya naik dengan naiknya dosis iradiasi, dan teramati turun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan ROSIAK, *et al* [9], yang menyatakan bahwa fraksi gel meningkat dengan naiknya dosis, namun dalam beberapa kasus fraksi gel menurun setelah mencapai maksimal. Fraksi gel optimum dipengaruhi oleh berat

molekul, konsentrasi gel dan dosis radiasi, yaitu semakin besar BM, semakin besar pula dosis optimum pada konteks konsentrasi yang sama.

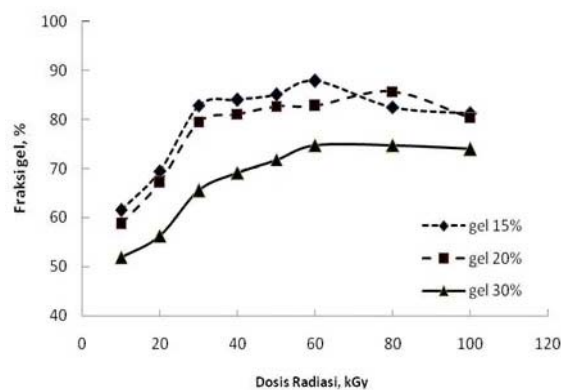
Pada Gambar 2a dan 2b untuk  $M_v$   $2,1 \cdot 10^4$  hingga  $1,55 \cdot 10^6$ , kurva-kurva mempunyai tendensi sama yaitu hingga dengan dosis 40 kGy, persen pengembangan nilainya bervariasi atas faktor konsentrasi yakni turun secara teratur dengan dosis radiasi meningkat hingga 100 kGy. BAJPAI and ANJALI [15], mengungkapkan bahwa Persen pengembangan hidrogel diatur oleh kekuatan fisik, elastisitas matrik dan afinitas hidrogel-air. Dengan demikian jelaslah bahwa proses penurunan rasio pengembangan turun, karena pada dosis di atas 40 kGy diduga kuat terjadi degradasi dengan turunnya kekuatan fisik. Dari segi konsentrasi, semakin tinggi konsentrasi



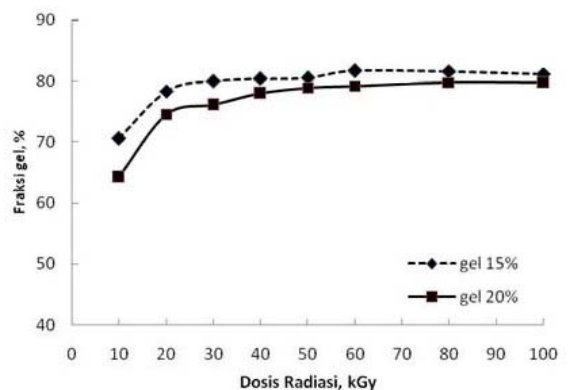
Gambar 1a. Fraksi gel hidrogel SM-100 versus dosis radiasi.



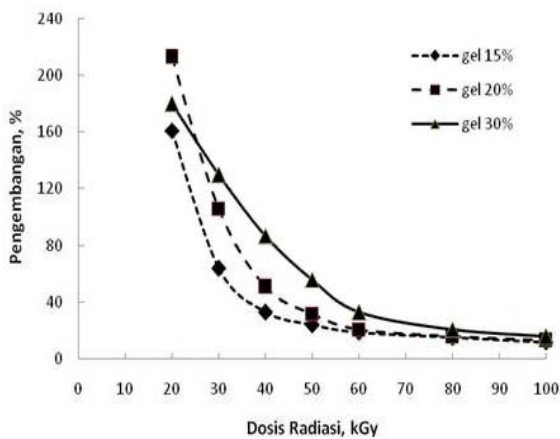
Gambar 1b. Fraksi gel hidrogel SM-400 versus dosis radiasi.



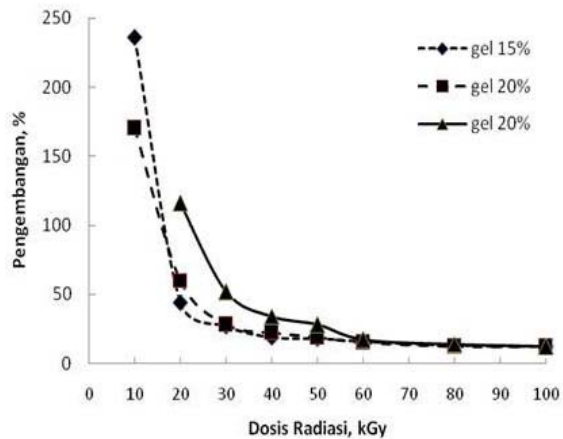
Gambar 1c. Fraksi gel hidrogel SM-4000 versus dosis radiasi.



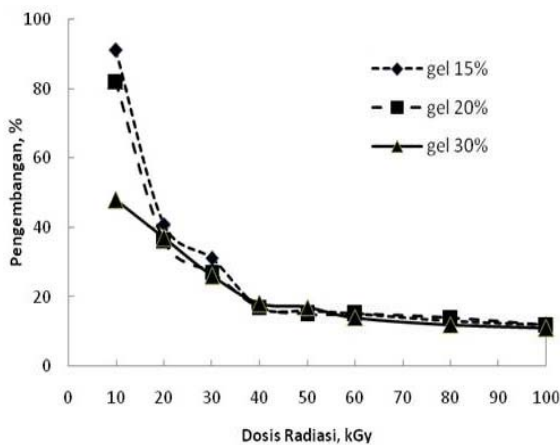
Gambar 1d. Fraksi gel hidrogel SM-8000 versus dosis radiasi.



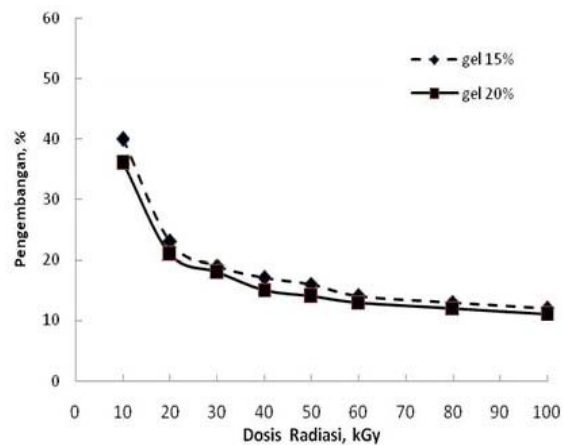
**Gambar 2a.** Persen pengembangan hidrogel SM-100 versus dosis radiasi



**Gambar 2b.** Persen pengembangan hidrogel SM-400 versus dosis radiasi



**Gambar 2c.** Persen pengembangan hidrogel SM-4000 versus dosis radiasi

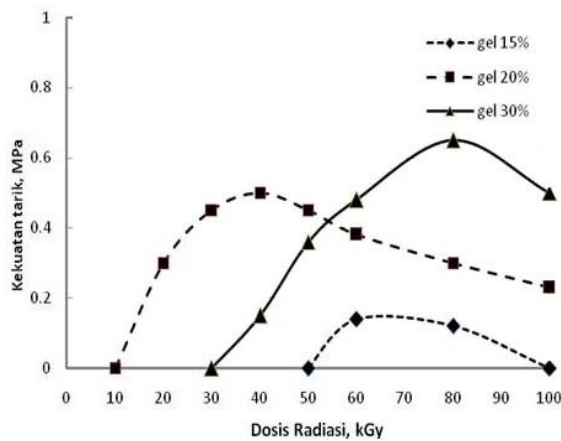


**Gambar 2d.** Persen pengembangan hidrogel SM-8000 versus dosis radiasi

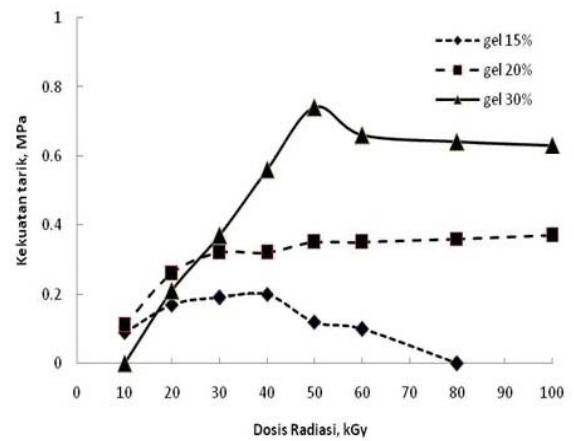
maka elastisitas gel berkurang karena gel semakin keras, dan afinitas hidrogel-air juga berkurang.

Untuk gel dengan  $M_v$  sama dengan  $1,45 \times 10^6$  hingga  $1,79 \times 10^6$  disajikan pada Gambar 2c dan 2d, terlihat identik tendensinya dengan gel SM-100 dan SM-400. Semakin besar  $M_v$ , maka persen pengembangan meningkat karena pada  $M_v$  yang lebih besar maka porsi ikatan silang semakin besar. Diungkapkan oleh WACH, *et al* [10], bahwa pada turunan selulosa dengan  $M_v$  yang lebih besar, semakin besar pula radikal substituen rantai samping yang pada saatnya akan memfasilitasi terjadinya proses ikatan silang.

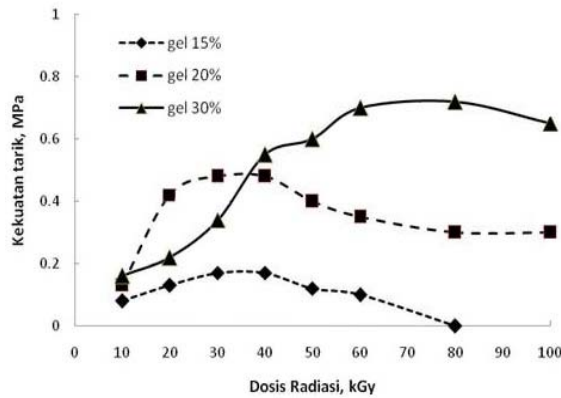
Sifat fisik lain, yaitu kekuatan tarik gel disajikan pada Gambar 3a dan 3b terdapat kesamaan pola kurva dengan Gambar 3c. Kekuatan tarik dari gel SM-100, gel SM-400 dan SM-4000 meningkat dengan naiknya konsentrasi, khususnya pada konsentrasi besar (20% ~ 30%) diduga semakin banyak ikatan silang yang terjadi di antara rantai yang memberi efek pada kekuatan tarik dari gel tersebut [10]. Di sisi lain, kekuatan tarik juga meningkat dengan naiknya dosis radiasi terlihat pada semua konsentrasi karena faktor konsentrasi dapat menghalangi proses degradasi dan menambah porsi ikatan silang melalui radikal substituent samping [16]. Pada dosis



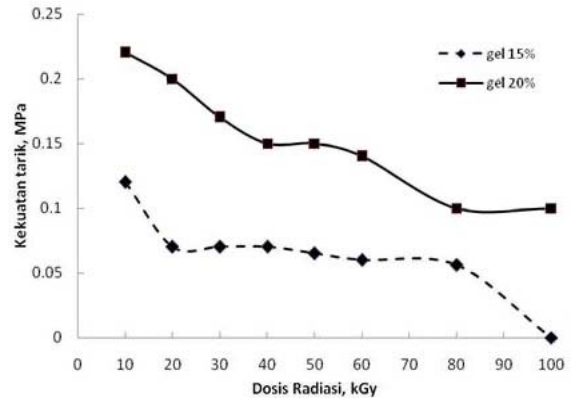
**Gambar 3a.** Kurva kekuatan tarik (TS) gel SM-100 pada variasi dosis radiasi



**Gambar 3b.** Kurva kekuatan tarik (TS) gel SM-400 pada variasi dosis radiasi



**Gambar 3c.** Kurva kekuatan tarik (TS) gel SM-4000 pada variasi dosis radiasi



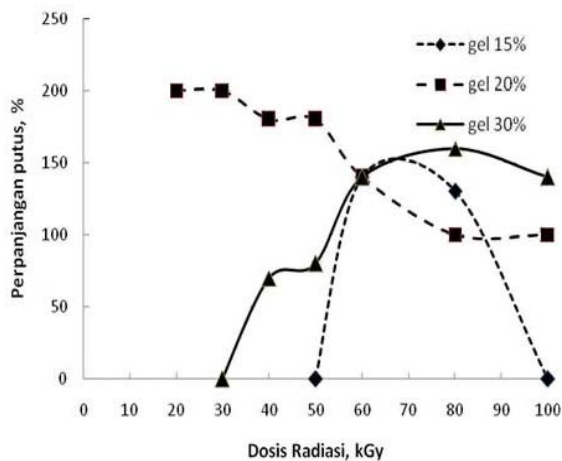
**Gambar 3d.** Kurva tegangan putus (TS) gel SM-8000 pada variasi dosis radiasi

semakin tinggi kekuatan tarik turun, fenomena diduga karena selain terjadi proses degradasi, afinitas air-metilselulosa juga berkurang. Pada Gambar 3d, metilselulosa SM-8000 dengan Mv terbesar, hanya konsentrasi gel 15% dan 20% yang mempunyai kekuatan tarik. Menurut JAFAR *et al* [14], pada larutan metilselulosa dengan Mv besar penyesuaian konformasi solvenzat terlarut dapat terjadi secara mudah, sehingga terbentuk gel yang homogen yang pada SM-8000 konsentrasi optimum diperoleh pada konsentrasi gel 15% ~ 20%. Pada gel konsentrasi 30% dari metilselulosa SM-8000 ada faktor kekentalan (Mv tinggi) memberi efek pada turunnya afinitas

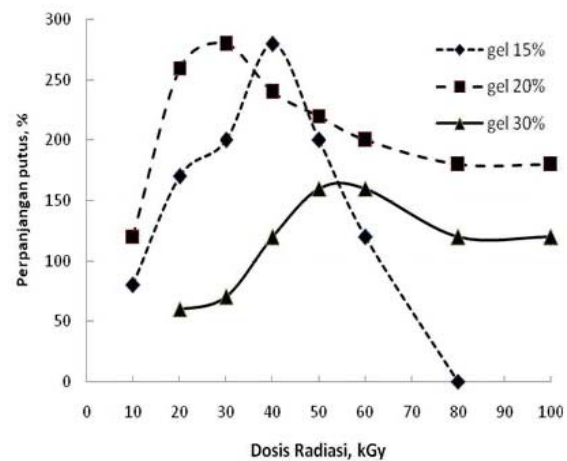
hidrogel-air [15], sehingga pasta maupun gel yang diperoleh bersifat keras dan rapuh.

Sifat elastisitas hidrogel merupakan fungsi dari perpanjangan putus yang disajikan pada Gambar 4a hingga 4d. SUZAN, *et al* [17], mengungkapkan bahwa gel dengan persen pengembangan yang besar akan menjadi rapuh, sehingga perpanjangan putus menjadi semakin kecil. Dilihat dari persen pengembangan sampel SM-100 hingga SM-8000 yaitu gambar 3a, 3b, 3c dan 3d maka persen pengembangan turun seiring naiknya Mv.

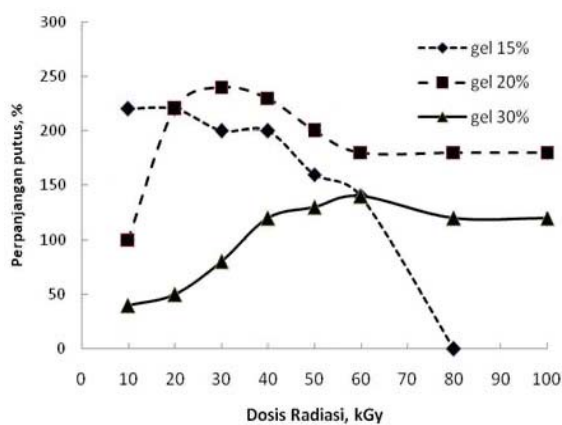
Gambar-gambar 4a, 4b dan 4c memperlihatkan bahwa dengan tingginya Mv, maka perpanjangan putus gel



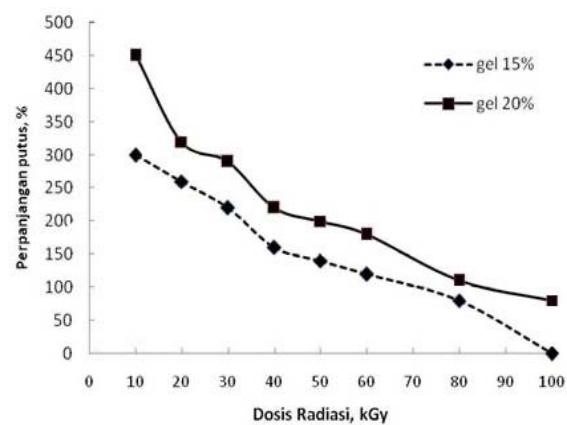
Gambar 4a. Perpanjangan putus gel SM-100 pada variasi dosis radiasi.



Gambar 4b. Perpanjangan putus gel SM-400 pada variasi dosis radiasi.



Gambar 4c. Perpanjangan putus gel SM-4000 pada variasi dosis radiasi.



Gambar 4d. Perpanjangan putus gel SM-8000 pada variasi dosis radiasi.

meningkat hingga dosis 40 kGy, dan selanjutnya turun pada kenaikan dosis berikutnya, yang diduga karena gel terdegradasi. Hal ini juga diungkapkan oleh WACH, *et al* [10], bahwa dengan Mv lebih besar maka efek *crosslink* lebih dominan dari pada degradasi, namun ini hanya berlaku pada rentang variasi dosis tertentu.

## KESIMPULAN

Berdasar pengamatan dari persen pengembangan dan sifat fisiknya, metilselulosa seri SM berikatan silang

melalui proses radiasi, pada metilselulosa SM-4 dengan Mv  $2,1 \times 10^4$  gel tidak terbentuk karena lemahnya gaya *intermolecular crosslink*, sementara proses degradasi lebih dominan. Untuk metilselulosa dengan Mv  $2,67 \times 10^4$  (SM-100) hingga  $1,55 \times 10^6$  (SM-4000) gel terbaik diperoleh dengan konsentrasi 15% hingga 20% dengan dosis iradiasi pada kisaran 10 kGy hingga 20 kGy. Pada Mv besar yaitu  $1,79 \times 10^6$  (SM-8000) diperoleh gel dari konsentrasi menengah 15% dan 20%, dengan dosis rendah 10 kGy dan untuk dosis berikutnya terjadi degradasi.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Mr. Yamaguchi K. staf JAEA Takasaki, Jepang yang telah membantu pelaksanaan iradiasi berkas elektron selama penelitian ini dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. WACH, R. A., Radiation-Induced Crosslinking of Cellulose Ether with Water, Doctoral Dissertation, Gunma University, Japan, 6, (2003).
2. Anonimous, <http://en.wikipedia.org/wiki/Methylcellulose>, diakses Maret (2013).
3. PAL K., *et al.*, Polymeric Hydrogels: Characterization and Biomedical Application -A Mini review, *Designed Monomers and Polymers*, 12, 197-220, (2009).
4. ARTI V., *et al.*, Recent Advances In Hydrogel Based Drug Delivery System For the Human Body, *J. Mater. Chem. B.*, 2, 147-166, (2014).
5. SULIWARNO, A., Orientasi Sifat Mekanik Dan Porsen Pengembangan Hidrogel Metilselulosa SM-100 Iradiasi dengan Berkas Elektron, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14, (2013).
6. WACH, R.A., *et al.*, Radiation Crosslinking Of Methylcellulose And Hydroxyethylcellulose In Concentrated Aqueous Solutions, *Journal Of Nuclear And Method In Physic Research*, Section B : Beam Interactions With Materials And Atoms, ISSN 0168-583X, Elsevier, Amsterdam, vol. 211, No 4, 533-544, (2003).
7. SULIWARNO, A., Sintesis Hidrogel Karboksimetil Selulosa (CMC) Dengan Teknik Iradiasi Gamma Dan Karakterisasinya, Seminar Nasional XVIII Kimia Dalam Industri Dan Lingkungan, Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, Yogyakarta, 339-342, (2009).
8. Anonimous, [http://en.wikipedia.org/wiki/Ubbelohde\\_viscometer](http://en.wikipedia.org/wiki/Ubbelohde_viscometer), diakses April 2013.
9. ROSIAK J.M., *et al.*, Radiation Formation of Hydrogels for Biomedical Applications, Institute of Applied Radiation Chemistry, Technical University of Lodz Wroblewskiego 15, Poland, 32, (2002).
10. WACH R.A., *et al.*, Polysaccharide derivatives crosslinked by ionizing radiation, *Proceeding of the 8th Polymers for Advanced Technologies International Symposium*, Budapest, Hungary, 13-16, (2005).
11. PATEL T.R., *et al.*, Molecular Flexibility of Methylcelluloses of Differing Degree of Substitution by Combined Sedimentation and Viscosity Analysis, *Macromol. Biosci.* Weinheim, 8, 1-8, (2008).
12. MARGUERITE R., Periodate Oxidation of Methylcellulose: Characterization and Properties of Oxidized Derivatives, *Polymers*, 2, 505-521, (2010).
13. SREEDHAR T., *et al.*, Methylcellulose Based Thermally Reversible Hydrogel System for Tissue Engineering Applications, *Cells* 3, 460-475, (2013).
14. JAFAR A., *et al.*, Influence of Hydroxypropyl Methylcellulose Molecular Weight Grade on Water

- 
- Uptake, Erosion and Drug Release Properties of Diclofenac Sodium Matrix Tablets, *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, **5**, 535-54, (2011).
15. BAJPAI A. K. and ANJALI G., Swelling Dynamics Of a Macromolecular Hydrophilic Network And Evaluation Of Its Potential For Controlled Release Of Agrochemicals, *Reactive & Functional Polymers*, **5**, 125-141, (2002).
16. JOSEPH R. LOTT. *et al.*, Fibrillar Structure of Methylcellulose Hydrogels, *Biomacromolecules*, **14**, pp 2484-2488, (2013).
17. SUZAN A., *et al.*, Design Of High-Toughness Polyacrylamide Hydrogels By Hydrophobic Modification, *Polymer*, **50**, 5449-5455, (2009).