

SINTESIS HIDROGEL PVA UNTUK PROSTESIS DISKUS NUKLEUS PULPOSUS: PEMBENTUKAN INTERPENETRATING POLYMER NETWORK (IPN) HIDROGEL PVA DENGAN SINAR GAMMA

Darmawan Darwis, Erizal, Lely Hardiningsih dan Mirzan T. Razzak
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi - Batan, Jakarta

ABSTRAK

SINTESIS HIDROGEL PVA UNTUK PROSTESIS DISKUS NUKLEUS PULPOSUS: PEMBENTUKAN INTERPENETRATING POLYMER NETWORK (IPN) HIDROGEL PVA DENGAN SINAR GAMMA. Telah dilakukan penelitian sintesis IPN hidrogel polivinil alkohol (PVA) untuk digunakan sebagai prostesis diskus nukleus. Jaringan hidrogel dasar (*network I*) dibuat dengan mereaksikan larutan PVA 10 hingga 15 % b/b dengan formaldehid pada temperatur 80°C selama beberapa jam. *Network* hidrogel II (sebagai *network IPN*) kemudian di buat dengan merendam hidrogel dasar dalam larutan polimer (PVP atau PVA) hingga hidrogel mengembang mencapai keseimbangan volume. Hidrogel tersebut lalu diiradiasi menggunakan sinar gamma pada berbagai dosis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa IPN hidrogel PVA-PVP dan IPN hidrogel PVA-PVA mempunyai kekuatan kompresi yang lebih tinggi dibanding dengan hidrogel dasar. IPN hidrogel PVA-PVA yang dibentuk dengan meradiasi hidrogel dasar (yang telah direndam dalam larutan polimer) pada dosis 25, 50 dan 100 kGy mempunyai kekuatan kompresi pada *displacement* 5 mm berturut-turut 2,72; 2,83; dan 3,25 kg/cm². Sedangkan kekuatan kompresi hidrogel dasar adalah 1,75 kg/cm². IPN Hidrogel PVA-PVP dan PVA-PVA yang dihasilkan dengan dosis iradiasi 100 kGy tetap mempertahankan kandungan air yang tinggi yaitu masing-masing 72 dan 74 %. Selain itu IPN PVA-PVP dan PVA-PVA menunjukkan sifat re-absorpsi setelah kompresi yang baik yaitu hidrogel dapat kembali ke bentuk semula setelah dikompresi hingga *displacement* 12 mm (80 % dari tinggi hidrogel awal) dalam waktu yang relatif singkat yaitu kurang dari 15 menit.

ABSTRACT

SYNTHESIS OF PVA HYDROGEL FOR PROSTHETIC DISCUS NUCLEUS PULPOSUS: FORMATION OF INTERPENETRATING POLYMER NETWORK (IPN) PVA HYDROGEL BY GAMMA RAYS. Research on synthesis of IPN PVA hydrogel for using as prosthetic discus nucleus has been carried out. Base hydrogel network (*network I*) was made by reacting the solution of polyvinyl alcohol (PVA) 10 - 15 %w/w with formaldehyde at 80°C for several hours. Hydrogel network II (as IPN network) was then made by immersion of base hydrogel into polymer solution (PVP or PVA) until hydrogel swell to equilibrium volume. The hydrogel then irradiated using gamma rays at various doses. The results show that IPN PVA-PVP and IPN PVA-PVP hydrogels have higher compression strength compared to base hydrogel. IPN PVA-PVA hydrogel made by irradiating base hydrogel (immersed into polymer solution) with 25, 50 and 100 kGy have compression strength at 5 mm displacement 2,72; 2,83; and 3,25 kg/cm² respectively. While base hydrogel has compression strength of 1,75 kg/cm². IPN PVA-PVP and PVA-PVA hydrogels made by irradiating base hydrogel with 100 kGy still retain high water content i.e. 72 and 74 % respectively. Beside that they show good re-absorption property after compression treatment that is hydrogel can return to the original shape after compressed to 12 mm displacement (80% of initial height of hydrogel) at relatively short time, less than 15 minutes.

PENDAHULUAN

Penyakit tulang punggung bagian bawah (*low back pain*) merupakan penyakit yang banyak dijumpai terutama pada mereka yang berusia lanjut ⁽¹⁾. Namun demikian hal ini tidak berarti bahwa penyakit tersebut tidak dapat menghinggapi orang berusia muda. Beberapa hal

yang dapat menyebabkan terjadinya *low back pain* antara lain proses penuaan (perubahan konsentrasi kandungan diskus nukleus), trauma, pergerakan tubuh yang tidak benar. Pada kondisi yang cukup parah terutama apabila telah terjadi herniasi diskus maka diperlukan adanya tindakan pembedahan untuk mengeluarkan diskus tersebut dari ruas tulang belakang. Tulang punggung

terdiri dari 24 buah vertebra yaitu tulang-tulang kecil seperti lingkaran dengan lubang di tengahnya dan disisi-sisinya. Tulang punggung ini bertumpuk satu dan lainnya yang dibatasi oleh suatu cakram atau diskus nukleus berupa hidrogel alam yang tersusun dari proteoglikan dan kolagen. Hidrogel ini mempunyai kandungan air antara 70 - 90 % serta dapat mengabsorpsi air hingga 5 kali berat keringnya. Fungsi utama diskus (*intervertebral disc nukleus*) adalah sebagai bantalan penyangga tubuh untuk memperkecil dampak yang disebabkan oleh pergerakan tubuh melalui penyerapan stress dan strain yang dipindahkan dari tulang belakang ⁽²⁻³⁾.

Akibat bertambahnya usia atau faktor lainnya seperti trauma, pergerakan tubuh yang tidak normal, maka dapat mengakibatkan terjadinya pergeseran diskus yang akhirnya dapat menekan syaraf tulang belakang. Bergesernya diskus nukleus ini disebut dengan herniasi. Keadaan ini mengakibatkan rasa nyeri yang amat sangat. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menangani herniasi diskus adalah laminektomi yaitu dengan mengeluarkan sebagian lamina (bagian belakang tulang diatas kanalis spinalis), atau diskektomi yaitu dengan cara mengeluarkan sebagian dari diskus atau dengan cara fusi yaitu dengan memasukkan logam diantara ruas tulang belakang. Cara-cara ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Beberapa kekurangan yaitu pada laminektomi akan mengakibatkan stress tertumpu pada ruas tulang belakang yang ada di atas atau dibawahnya sehingga dapat menimbulkan adanya herniasi diskus yang baru. Oleh karena itu diperlukan adanya suatu prosthesis yang tidak hanya berfungsi menggantikan diskus nukleus tetapi juga dapat berfungsi menyerupai fungsi diskus nukleus baik secara fisiologi maupun fungsinya.

Hidrogel merupakan salah satu material yang potensial untuk digunakan sebagai prosthesis diskus nukleus karena mempunyai sifat unik yang menyerupai jaringan tubuh dan bersifat biokompatibel.

Polivinil alkohol merupakan suatu polimer larut air yang banyak digunakan dalam bidang farmasi dan kedokteran ⁽⁴⁾. Pada penelitian terdahulu telah dilakukan pembuatan hidrogel PVA dengan formaldehid untuk mendapatkan suatu hidrogel yang mempunyai sifat mekanik tinggi. Namun hasil yang diperoleh menunjukkan masih diperlukan adanya peningkatan sifat mekanik yang lebih tinggi.

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik hidrogel tersebut adalah dengan melakukan modifikasi melalui pembentukan *interpenetrating polymer network* (IPN) yaitu kombinasi erat dua polimer yang keduanya

berada dalam suatu jaringan yang paling tidak salah satunya disintesis atau terjadi ikatan silang dengan adanya polimer yang lainnya ⁽⁵⁾. Pembentukan IPN dilakukan dengan merendam hidrogel I dalam larutan polimer (PVP atau PVA) hingga mencapai keseimbangan volume, lalu diiradiasi dengan sinar gamma untuk membentuk *network* hidrogel II. Sistem yang terbentuk ini disebut *interpenetrating polymer network* (IPN) dan cara sintesis demikian disebut *sequential IPN* (IPN).

BAHAN DAN METODA

Bahan

Bahan dasar hidrogel yang digunakan pada penelitian ini adalah Polivinil alkohol (PVA) buatan Kuraray Co. Ltd Japan. Dengan derajat polimerisasi 1700- 2400 dan derajat penyabunan 95% - 98%. Polivinil pirolidon buatan Fluka Co., formaldehid, natrium sulfat, asam sulfat, reagen Hantzsh, dan air suling digunakan sebagai pelarut.

Metode

Pembuatan IPN hidrogel PVA dilakukan dengan dua tahap yaitu:

1. Pembentukan *network* polimer I (hidrogel dasar)
Network polimer I dibentuk dengan cara mereaksikan larutan PVA 15% b/b dengan reagensia pengikatan silang (formaldehid) dalam suasana asam sulfat dan natrium sulfat pada temperatur 80°C selama 24 jam. Setelah reaksi, formaldehid yang tidak bereaksi dengan molekul PVA diekstraksi dengan air pada suhu 60°C hingga hidrogel bebas dari formaldehid. Hidrogel lalu dikeringkan dalam freeze dryer hingga berat konstan.
2. Pembentukan *network* polimer II
Network polimer II dibuat dengan merendam hidrogel dasar yang (sebelumnya telah dikeringkan dengan teknik freeze dryer) dalam larutan polimer (PVP atau PVA) 10%b/b hingga keseimbangan volume kemudian diiradiasi dengan sinar gamma untuk membentuk ikatan silang diantara *network* polimer I.

Pengujian sifat IPN hidrogel PVA

Setelah terbentuk IPN, dilakukan pengujian terhadap sifat-sifat hidrogel tersebut antara lain: **Analisis formaldehid bebas**, Formaldehid yang tidak bereaksi dengan larutan PVA perlu dihilangkan dengan cara melakukan ekstraksi terhadap hidrogel dengan air pada suhu 80°C sampai hidrogel bebas dari formaldehid. Setiap

interval waktu tertentu, larutan ekstrak diambil dan direaksikan dengan reagen Hantzsh. Pengukuran konsentrasi formaldehid dilakukan dengan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 412 nm. Ekstraksi diulangi hingga larutan ekstrak bebas formaldehid.

Fraksi gel, Untuk menentukan jumlah ikatan silang (*crosslinking*) yang terbentuk maka dilakukan pengujian fraksi yang tidak larut dalam air (fraksi gel).

Kadar air, Hidrogel yang terbentuk ditimbang berat basah optimum (Wb). Dikeringkan secara bertingkat, mula-mula pada suhu kamar selama 24 jam, lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 60° C dan selanjutnya pada suhu 100°C hingga berat kering konstan (Wk). Kadar air (WC) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$WC (\%) = (Wb - Wk) / Wb \times 100\%$$

Kemampuan absorpsi air, Untuk mengukur daya serap air dari hidrogel dasar maupun IPN hidrogel PVA, dilakukan perendaman dalam air pada suhu kamar hingga dicapai keseimbangan volume. Kemampuan absorpsi air dihitung dengan rumus:

$$\text{Absorpsi air } (\%) = (W_s - W_a) / W_a \times 100\%$$

W_s = berat hidrogel dalam keadaan keseimbangan volume

W_k = berat hidrogel kering

Kekuatan kompresi, Sifat mekanik berupa kekuatan kompresi hidrogel diukur dengan menggunakan alat *Instron Testing Material*. Sampel berbentuk tabung dengan tinggi 15 mm dan diameter 20 mm dikompresi menggunakan instron meter dengan *crosshead speed* 20 mm/menit pada *displacement* 5 dan 12 mm. Kekuatan kompresi pada *displacement* tersebut kemudian dihitung dengan rumus:

$$\text{Kekuatan kompresi (kg/cm}^2\text{)} = F/A$$

F = force (kgf)

A = luas permukaan sample (cm²).

Sifat viskoelastis, Untuk mengetahui sifat viskoelastis suatu hidrogel maka dilakukan pengukuran absorpsi air hidrogel setelah mengalami kompresi atau disebut re-absorpsi setelah kompresi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis formaldehid bebas

Uji analisis formaldehid dari hidrogel PVA disajikan pada Gambar 1. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa konsentrasi formaldehid bebas

yang ada dalam hidrogel berkurang dengan bertambahnya waktu ekstraksi dan konsentrasi formaldehid tidak teramati lagi setelah waktu ekstraksi 80 jam. Dari literatur disebutkan bahwa persyaratan suatu vaksin yang mengandung formaldehid bebas tidak boleh lebih dari 0,02% b/v atau 0,0067 mol/L⁽⁶⁾. Untuk mendapatkan tingkat keamanan yang tinggi dimana hidrogel digunakan sebagai implan dalam tubuh manusia, maka lama waktu ekstraksi yang digunakan adalah 72 jam, yang ternyata dalam waktu tersebut telah memenuhi persyaratan kandungan formaldehid bebas.

Fraksi gel

Fraksi gel dari hidrogel dasar PVA disajikan pada Gambar 2a dan IPN hidrogel PVA pada Gambar 2b. Pada gambar 2a terlihat bahwa fraksi gel bertambah dengan cepat hingga mencapai 95 % dalam waktu reaksi 30 menit dan selanjutnya diikuti dengan penambahan yang kecil hingga waktu reaksi 60 menit. Penambahan waktu reaksi setelah 60 menit tidak menunjukkan adanya penambahan fraksi gel. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada awal reaksi (dibawah 30 menit), molekul polimer PVA bebas yang bereaksi dengan formaldehid untuk membentuk ikatan silang ada dalam jumlah besar sehingga menghasilkan kecepatan reaksi yang tinggi sebagaimana ditunjukkan dengan bertambahnya fraksi gel dengan cepat. Dengan bertambahnya waktu reaksi maka jumlah molekul PVA bebas semakin berkurang, akibatnya kecepatan reaksi semakin berkurang. Pembentukan fraksi gel dibawah 100 % masih menghasilkan fraksi yang larut (sol)⁽⁷⁾. Setelah tercapai 100 % fraksi gel, tidak terjadi penambahan fraksi gel melainkan adanya peningkatan densitas ikatan silang. Penambahan fraksi gel maupun densitas ikatan silang dapat diamati dengan semakin bertambah keras hidrogel yang terbentuk dan menurunnya daya absorpsi air.

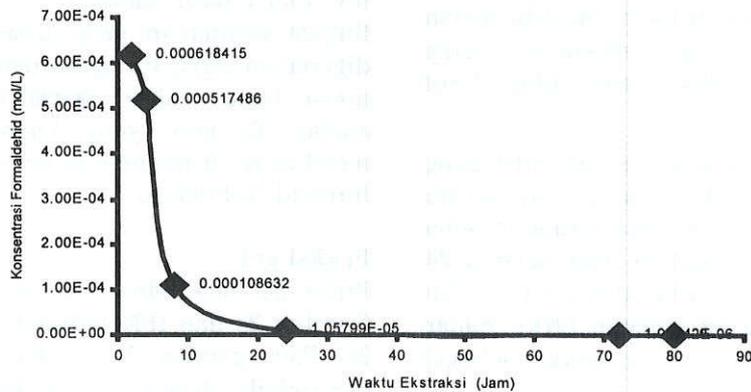
Pada Gambar 2b terlihat bahwa iradiasi terhadap hidrogel dasar PVA yang telah diimpregnasi dengan larutan PVP maupun PVA 10 % menghasilkan pembentukan ikatan silang sebagai *network II* sebagaimana ditunjukkan oleh bertambahnya fraksi gel. Pembentukan ikatan silang ini juga ditunjukkan oleh bertambahnya kekuatan kompresi IPN hidrogel PVA-PVP dan PVA-PVA.

Kadar air

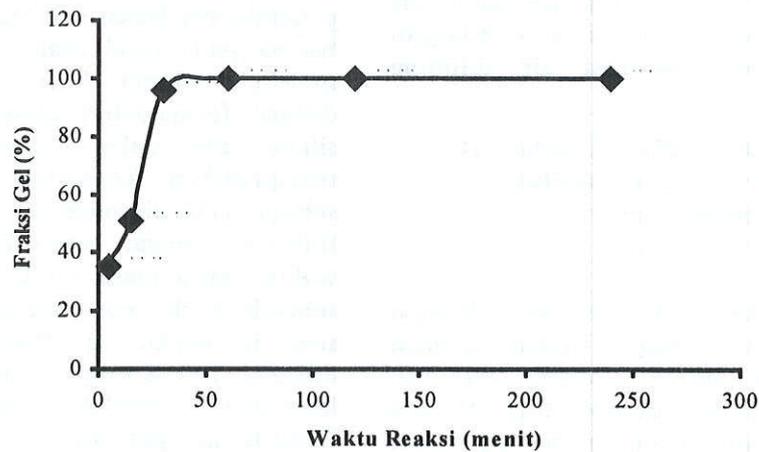
Kadar air hidrogel dasar PVA dan IPN hidrogel PVA disajikan pada Gambar 3. Kadar air adalah jumlah air yang terkandung dalam gel. Gambar 3 menunjukkan hubungan antara kadar air hidrogel terhadap dosis radiasi. Kadar air hidrogel dasar PVA (hidrogel *network I*) = 76%.

Sedangkan iradiasi hingga dosis 100 kGy terhadap hidrogel dasar PVA menghasilkan IPN hidrogel PVA yang mempunyai kadar air 74%.

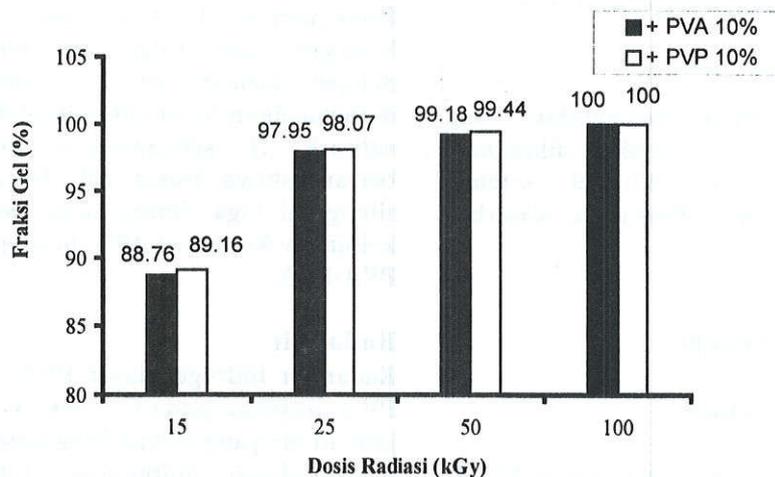
Adanya penurunan yang tidak bermakna ini menunjukkan ketidaktergantungan antara ikatan silang (*network*) I dengan ikatan silang jaringan II.



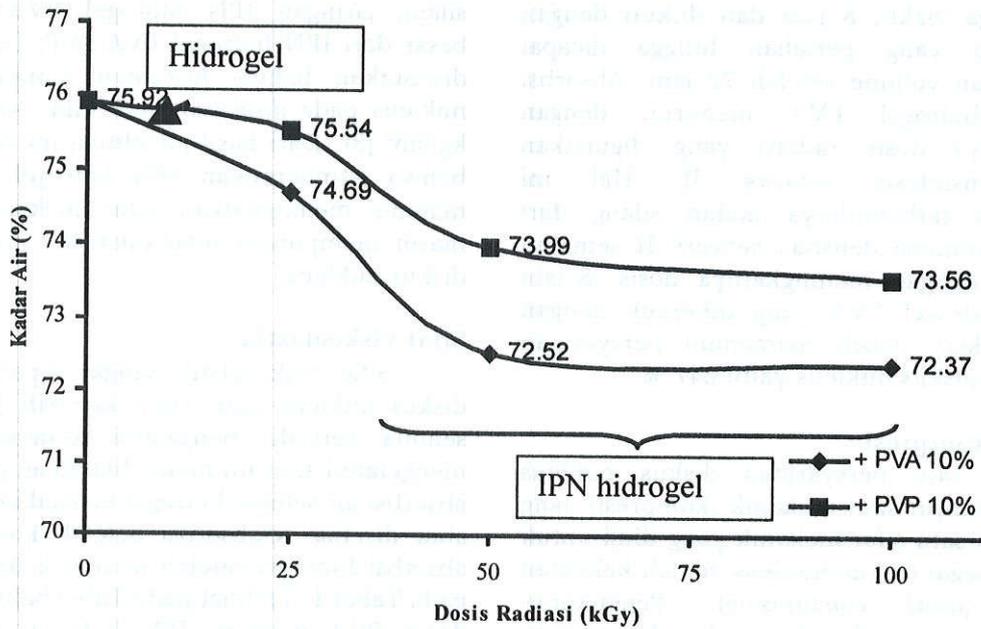
Gambar 1. Hubungan antara waktu ekstraksi dengan sisa formaldehid bebas



Gambar 2a. Hubungan antara Fraksi gel hidrogel dasar (network I) dengan waktu reaksi



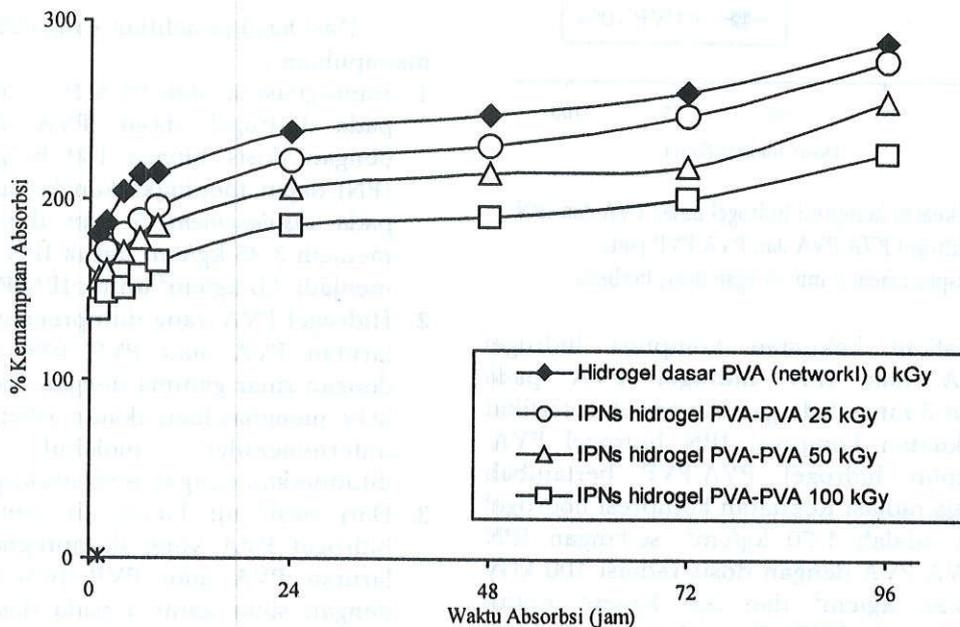
Gambar 2b. Fraksi gel IPN Hidrogel PVA-PVA dan IPN Hidrogel PVA-PVP



Dari literatur disebutkan bahwa kadar air diskus nukleus bervariasi antara 70-90%, dimana kadar air paling tinggi dijumpai usia dibawah 5 tahun, yaitu 88% dan dengan makin bertambahnya usia kadar air berkurang secara gradual hingga mencapai 70% pada usia diatas 50 tahun (8). Dari hasil uji kadar air didapatkan bahwa IPN hidrogel PVA-PVA dan IPN hidrogel PVA-PVP memenuhi persyaratan kadar air sebagai diskus nukleus.

Kemampuan Absorpsi air

Kemampuan absorpsi air dari hidrogel dasar PVA dan IPN hidrogel PVA disajikan pada Gambar 4. Diskus nukleus manusia mempunyai kemampuan menyerap cairan tubuh sebanyak 200 % atau lebih dari beratnya dan kecenderungan menyerap ini akan berkurang karena faktor usia. Hasil uji kinetika absorpsi hidrogel digambarkan pada Gambar 4.

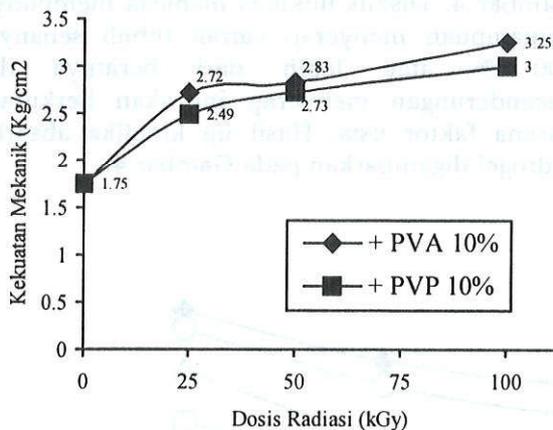


Gambar 4. Kinetika absorpsi air hidrogel dasar PVA dan IPN hidrohgel PVA-PVA pada berbagai dosis radiasi

Terlihat bahwa absorpsi bertambah secara tajam hingga waktu 8 jam dan diikuti dengan penambahan yang perlahan hingga dicapai keseimbangan volume setelah 72 jam. Absorpsi air IPN hidrogel PVA menurun dengan bertambahnya dosis radiasi yang digunakan untuk mensintesis *network* II. Hal ini menunjukkan terbentuknya ikatan silang dari polimer II dimana densitas *network* II semakin bertambah dengan meningkatnya dosis. Selain itu, IPN hidrogel PVA yang dibentuk dengan dosis 100 kGy masih memenuhi persyaratan absorpsi air diskus nukleus yaitu 247 %.

Kekuatan kompresi

Salah satu persyaratan diskus nukleus yaitu mempunyai sifat mekanik (kompresi) yang tinggi. Salah satu sifat mekanik yang diuji untuk hidrogel sebagai diskus nukleus adalah kekuatan kompresi (*axial compression*). Pengukuran kekuatan kompresi dilakukan pada suhu ruangan dalam kondisi *swelling* dengan menggunakan mesin test mekanik (*Instron Testing Material*). Gambar 5.



Gambar 5. Kekuatan kompresi hidrogel dasar PVA dan IPN hidrogel PVA-PVA dan PVA-PVP pada *displacement* 5 mm dengan dosis berbeda

memperlihatkan kekuatan kompresi hidrogel dasar PVA dan IPN hidrogel PVA pada *displacement* 5 mm. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kekuatan kompresi IPN hidrogel PVA-PVA maupun hidrogel PVA-PVP bertambah dengan dosis radiasi. Kekuatan kompresi hidrogel dasar PVA adalah 1,70 kg/cm², sedangkan IPN hidrogel PVA-PVA dengan dosis radiasi 100 kGy menjadi 3,25 kg/cm² dan 3,0 kg/cm² untuk hidrogel IPN PVA-PVP. Penambahan kekuatan kompresi menjadi sekitar 2 kali pada IPN hidrogel PVA menunjukkan adanya penambahan ikatan silang pada hidrogel jaringan (*network*) II. Kekuatan kompresi IPN hidrogel PVA-PVA sedikit lebih besar dari IPN hidrogel PVA-PVP.

Hal ini mungkin disebabkan densitas ikatan silang jaringan IPN hidrogel PVA-PVA lebih besar dari IPN hidrogel PVA-PVP. Dari literatur disebutkan bahwa kekuatan kompresi diskus nukleus pada *displacement* 5 mm sekitar 15-20 kg/cm² (8). Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa pembentukan IPN hidrogel PVA telah mampu meningkatkan sifat mekanik, namun masih mempunyai nilai dibawah sifat mekanik diskus nukleus.

Sifat viskoelastik

Sifat viskoelastik sangat diperlukan oleh diskus nukleus agar dapat kembali ke keadaan semula setelah mengalami kompresi. Untuk mengetahui sifat ini maka dilakukan pengukuran absorpsi air setelah hidrogel mengalami kompresi atau disebut re-absorpsi. Setelah kompresi, re-absorpsi hidrogel setelah kompresi diperlihatkan pada Tabel 1. Terlihat pada Tabel bahwa hidrogel dasar PVA maupun IPN hidrogel PVA dapat kembali ke bentuk semula dalam waktu kurang dari 5 menit untuk *displacement* 5 mm dan sekitar 15 menit pada *displacement* 12 mm. Kecepatan kembali ke bentuk semula setelah kompresi sangat diharapkan karena memenuhi syarat diskus nukleus. Disamping itu kemampuan hidrogel kembali ke bentuk semula menunjukkan adanya ikatan silang yang bersifat independen antara *network* I dan II.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan :

1. Impregnasi larutan PVA 10 % atau PVP 10 % pada hidrogel dasar PVA dan diiradiasi dengan dosis hingga 100 kGy (membentuk IPN) dapat meningkatkan kekuatan kompresi pada *displacement* 5 mm dari 1,75 kg/cm² menjadi 3,25 kg/cm² untuk IPN PVA-PVA dan menjadi 3,0 kg/cm² untuk IPN PVA-PVP .
2. Hidrogel PVA yang diimpregnasi baik dengan larutan PVA atau PVP 10% dan diiradiasi dengan sinar gamma dengan dosis hingga 100 kGy menghasilkan ikatan silang antar rantai (intermolekuler) molekul PVA yang ditunjukkan dengan terbentuknya fraksi gel.
3. Dari hasil uji kadar air dan absorpsi air hidrogel PVA yang diimpregnasi baik pada larutan PVA atau PVP 10% dan diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis hingga 100 kGy menunjukkan sedikit penurunan kadar air dan absorpsi terhadap air. Namun masih memenuhi persyaratan sebagai diskus nukleus.
4. Sifat re-absorpsi setelah kompresi hidrogel IPN hidrogel PVA-PVA atau PVA-PVP hasil

iradiasi sinar gamma hingga dosis 100 kGy baik pada *displacement* 5 mm atau 12 mm dapat kembali kebentuk semula dalam waktu relatif singkat yaitu sekitar 15 menit.

5. Ternyata hidrogel PVA yang telah dimodifikasi dengan menggunakan teknik impregnasi polimerisasi radiasi PVP ke dalam hidrogel PVA dapat digunakan untuk prostesis diskus nucleus pulposus, namun masih perlu ditingkatkan kekuatan kompresinya.

3. United State Patent, Hydrogel Bead Intervertebral Disc Nucleus, number 5,192,32, (1993).
4. N. A. PEPPAS, *Hydrogels of Poly(vinyl alcohol) and Its Copolymers*, Hydrogels in Medicine and Pharmacy, Vol. II, N. A. Peppas (Ed.), CRC Press, Boca Raton, (1987), 1-48.
5. HERMAN F. MARK (Eds.), *Interpenetrating Polymer Network*, in Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol. 8, John Wiley and Sons, (1987), 279
6. British Pharmacopoeia Commission, *British Pharmacopoeia 2001*. London : Her Majesty's Stationery Office; (1993), A67, A289.
7. Finch CA. *Polyvinyl Alcohol Properties and Applications*. New York : John Wiley and Sons Press, (1973), 183-99, 391-411.
8. United State Patent, Hydrogel Intervertebral Disc Nucleus, Number 5,047,055, 1991.

DAFTAR PUSTAKA

1. J. C. LATRIDIS, M. WEIDENBAUM, L. A. SETTON, Is Nukleus pulposus a Solid or a Fluid? Mechanical Behavior of the Nukleus of Human Intervertebral Disc, *Spine*, 21 (1996), 1174-1184.
2. M. CIACH, J. AWREJCEWICZ, Finite Element Analysis and Experimental Investigations on the Intervertebral Disc in the Human and Porcine Lumbar Spinal Segment, Unpublish data.

Tabel 1. Re-absorpsi hidrogel dasar PVA dan IPN hidrogel PVA-PVP dan PVA-PVA setelah kompresi pada displacement 5 mm

HIDROGEL PVA IPNs	Berat Sebelum Kompresi (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar Air (%)	Rata-rata Kadar Air (%)	SD	Kadar air Setelah Kompresi (gram)				Kadar air setelah reabsorpsi air				
						0 (menit)	Kadar Air (%)	Rata-rata Kadar Air (%)	SD	15 (menit)	Kadar Air (%)	Rata-rata Kadar Air (%)	SD	
HIDROGEL PVA 15% 24 JAM	0 kGy	4,49	1,0820	75,90	75,95	0,1323	4,22	74,36	73,83	0,4570	4,46	75,74	75,86	0,1050
		4,37	1,0556	75,84	75,95	0,1323	3,99	73,54	73,83	0,4570	4,38	75,90	75,86	0,1050
		4,54	1,0852	76,10	75,95	0,1323	4,11	73,60	73,83	0,4570	4,51	75,94	75,86	0,1050
	25 kGy	4,57	1,1919	73,92	74,65	0,6957	4,28	72,15	72,50	0,3102	4,56	73,86	74,56	0,6937
		4,59	1,1336	75,30	74,65	0,6957	4,16	72,75	72,50	0,3102	4,58	75,25	74,56	0,6937
		4,86	1,2278	74,74	74,65	0,6957	4,48	72,59	72,50	0,3102	4,83	74,58	74,56	0,6937
	50 kGy	4,61	1,2401	73,10	72,61	0,5713	4,37	71,62	71,76	0,5149	4,59	72,98	72,47	0,7082
		4,35	1,2187	71,98	72,61	0,5713	4,25	71,32	71,76	0,5149	4,30	71,66	72,47	0,7082
		4,53	1,2342	72,75	72,61	0,5713	4,46	72,33	71,76	0,5149	4,53	72,75	72,47	0,7082
	100 kGy	4,71	1,3254	71,86	72,27	0,5064	4,60	71,19	71,29	0,1771	4,70	71,80	72,25	0,5313
		4,35	1,2130	72,11	72,27	0,5064	4,21	71,19	71,29	0,1771	4,35	72,11	72,25	0,5313
		4,46	1,2115	72,84	72,27	0,5064	4,25	71,49	71,29	0,1771	4,46	72,84	72,25	0,5313
25 kGy	4,86	1,2551	74,17	74,71	0,5649	4,78	73,74	74,34	0,5743	4,84	74,07	74,53	0,5038	
	4,25	1,0497	75,30	74,71	0,5649	4,18	74,89	74,34	0,5743	4,21	75,07	74,53	0,5038	
	4,83	1,2239	74,66	74,71	0,5649	4,78	74,40	74,34	0,5743	4,79	74,45	74,53	0,5038	
50 kGy	5,14	1,3226	74,27	73,91	0,6120	5,09	74,02	73,40	0,8937	5,10	74,07	73,79	0,4089	
	4,66	1,2487	73,20	73,91	0,6120	4,52	72,37	73,40	0,8937	4,68	73,32	73,79	0,4089	
	4,63	1,1918	74,26	73,91	0,6120	4,55	73,81	73,40	0,8937	4,58	73,98	73,79	0,4089	
100 kGy	4,41	1,1635	73,62	73,57	0,1833	4,19	72,23	73,03	0,7025	4,39	73,50	73,49	0,1224	
	4,72	1,2404	73,72	73,57	0,1833	4,69	73,55	73,03	0,7025	4,70	73,61	73,49	0,1224	
	4,67	1,2439	73,36	73,57	0,1833	4,66	73,31	73,03	0,7025	4,67	73,36	73,49	0,1224	

DISKUSI

ZUBAIDAH IRAWATI

Pada proses impregnasi polimer digunakan dosis 100 kGy. Apakah sudah pernah dilakukan kombinasi antara iradiasi dengan dosis < 100 kGy dengan perlakuan lain (enzim, penambahan komponen kimia yang bersifat kompatibel/ aman dengan tubuh pengguna). Mengingat pada prakteknya, 100 kGy membutuhkan waktu radiasi yang lama dan mahal.

DARMAWAN

Pada penelitian ini untuk mendapatkan prosthesis diskus nucleus yang mempunyai sifat mekanik tinggi digunakan kombinasi dua metode yaitu metode kimia menggunakan agen pengikatan silang formaldehid dan metode iradiasi gamma untuk membentuk IPNs PVA-PVA dengan berbagai tingkat dosis yaitu 25, 50 dan 100 kGy. Untuk mendapatkan waktu iradiasi yang singkat pada penelitian selanjutnya akan digunakan iradiasi dengan electron beam. Mengingat produk yang dihasilkan adalah produk yang *sophisticated* maka menurut hemat kami teknik radiasi ini cukup ekonomis karena secara simultan dihasilkan dihasilkan produk yang bersifat steril.

MERI SUHARTINI

Apakah bahan polimer yang ditamamkan pada tubuh tersebut tidak perlu dilepas setelah beberapa tahun?

DARMAWAN

Tidak perlu selama prosthesis tersebut masih memenuhi persyaratan fungsi sebagai diskus nucleus.

RASI PRASETYO

1. Apakah prosthesis yang dibuat ini sudah digunakan secara klinis?
2. Apa fungsi H_2SO_4 pada percobaan ini?

DARMAWAN

1. Prosthesis yang digunakan belum diuji secara klinis.
2. Fungsi H_2SO_4 adalah sebagai katalisator dalam reaksi pembentukan ikatan silang PVA dengan formaldehid.

SUDRADJAT ISKANDAR

1. Apakah ada standar internasional dalam penggunaan polimer untuk dapat dipakai sebagai prosthesis diskus nucleus?
2. Kondisi optimum yang mana dalam penelitian yang dilakukan yang layak untuk dapat dipakai sebagai prosthesis diskus nucleus baik komposisi maupun dosis radiasi?

DARMAWAN

1. Standar internasional belum ada. Sebagai acuan untuk menentukan karakteristik diskus digunakan sifat-sifat diskus nucleus manusia normal seperti kandungan air 70 - 90 %, sifat reabsorpsi air setelah kompresi kurang dari 30 menit.
2. Pada penelitian ini belum didapatkan kondisi optimum untuk digunakan sebagai diskus nucleus. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan kondisi yang optimum.

