



Modifikasi Hidrogel dengan Penambahan Madu: Karakteristik Sifat Fisika-Kimia Hidrogel

Haryanto^{a†}, Karnofa^a, Angga Yuli Setiyawan^a

Hidrogel yang dikembangkan selama ini sebagai pembalut luka adalah hidrogel dengan basis polimer tanpa penambahan obat, untuk itu dalam penelitian ini dikembangkan hidrogel sebagai pembalut luka dengan penambahan madu yang diharapkan dapat mempercepat proses penyembuhan luka. Pembuatan hidrogel PEO-PPGDMA-Madu dikembangkan dengan melarutkan madu bersama PEO-PPGDMA sebelum dilakukan *crosslinking* dengan radiasi *electron beam*. Variasi konsentrasi madu yang digunakan adalah 0% sampai 7% (v/v). Karakteristik yang diukur meliputi fraksi gel, rasio *swelling*, kecepatan transmisi uap air dan sifat mekanik. Struktur kimia dan morfologinya dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan madu persen elongasi hidrogel naik dan sebaliknya fraksi gel dan kuat tarik hidrogel turun. Nilai rasio *swelling* (614%) dan kecepatan transmisi uap air (46 g/m² jam) tertinggi diperoleh pada konsentrasi 2% madu. Hasil penelitian menunjukkan bahan penambahan madu dapat meningkatkan kecepatan transmisi uap air dan fleksibilitas tetapi menurunkan kuat tarik dari hidrogel yang terbentuk.

Hydrogels which have been developed as wound dressing are hydrogels with a polymer base without the addition of medicine. Therefore, this study aims to develop hydrogels as wound dressing with the addition of honey that is expected to accelerate the process of wound healing. The PEO-PPGDMA-Honey hydrogels were developed by dissolving honey with PEO-PPGDMA before conducting the crosslinking with electron beam radiation. The variation in honey concentration used was 0% to 7% (v/v). The characteristics measured comprised gel fraction, swelling ratio, water vapor transmission rate, and mechanical properties. The chemical structure and morphology of the hydrogels were analyzed by using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM). The results show that with the addition of honey, the elongation percentage of the hydrogels increases, while the gel fraction and tensile strength of the hydrogels decrease. The highest swelling ratio (614%) and water vapor transmission rate (46 g/m²hour) were obtained at 2% honey concentration. Furthermore, the addition of honey could also increase the water vapor transmission rate and flexibility, but decrease the tensile strength of the hydrogels formed.

Received

10 October 2018

Received in revised form

-

Accepted

28 December 2018

Published

28 June 2019

DOI: 10.37889/mpi.2019.22.1.5

Kata kunci: *Electron beam*, hidrogel, madu, pembalut luka.

Pendahuluan

Madu merupakan cairan kental, dengan kandungan gula jenuh, berasal dari nektar bunga yang dikumpulkan dan dimodifikasi oleh lebah madu *Apis mellifera*. Madu adalah satu obat tradisional yang biasa digunakan untuk mempercepat penyembuhan luka. Madu memang bahan alami yang secara sepiantas efeknya kalah dengan obat-obatan kimia, akan tetapi menggunakan madu sebagai obat luka pada kulit memiliki efek lebih menguntungkan dari pada menggunakan obat-obatan kimia. Ada beberapa hasil penelitian yang melaporkan bahwa madu sangat efektif digunakan sebagai terapi topikal pada luka melalui peningkatan jaringan granulasi dan kolagen serta periode epitelisasi secara signifikan. Madu juga dapat meningkatkan waktu kontraksi pada luka. Madu efektif sebagai terapi topikal karena kandungan nutrisi yang terdapat di dalam madu dan hal ini sudah diketahui secara luas.

Seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, telah banyak dikembangkan berbagai alternatif bentuk sediaan lain yang digunakan untuk mengobati luka, salah satunya adalah pembalut luka hidrogel. Hidrogel adalah jaringan polimer hidrofilik terikat silang yang memiliki kapasitas mengembang (*swelling*) dengan menyerap air atau cairan biologis namun tidak larut karena adanya ikatan silang.³ Saat ini penggunaan polimer alam sebagai bahan baku obat bukanlah hal yang baru, karena memiliki biokompatibilitas yang tinggi, tidak beracun, memiliki kelarutan dalam air dan kemampuan mengembang yang tinggi.⁴ Kombinasi bahan alam dengan polimer dapat membentuk gel yang kompleks yang tidak larut dalam air namun dapat menyerap cairan tubuh dalam jumlah yang besar dan dapat digunakan sebagai pembalut luka yang efektif.

Pada beberapa akhir tahun ini, perhatian yang sangat besar telah difokuskan pada penelitian dan pengembangan polimer hidrogel sebagai biomaterial seperti untuk pembalut luka. Pembalut hidrogel terdiri dari polimer yang tidak larut dengan kandungan air yang tinggi yang membuatnya menjadi ideal sebagai pembalut luka

^a. Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Jl Raya Dukuhwaluh PO BOX 202, Purwokerto, 53182, Indonesia

† Corresponding author: harymsl@gmail.com.

untuk memfasilitasi penyembuhan luka. Pembalut luka tipe hidrogel dapat dibentuk dengan *crosslinking*, polimer yang larut dalam air seperti polivinil alkohol, polipirrolidon, poliakrilat dan polietilena oksida.

Diantara polimer yang diiri seperti disebutkan di atas, PEO (Polietilena oksida) menunjukkan kelebihanannya dalam hal toksisitas yang relatif lebih rendah. Hidrogel PEO murni memiliki kuat mekanik yang relatif rendah dan sangat mudah pecah/hancur. Polipropilena glikol dimetakrilat (PPGDMA) adalah termasuk polimer yang tidak beracun, larut dalam air serta memiliki gugus fungsi akhir yang dapat dipolimerisasi. Telah melakukan pembuatan hidrogel kombinasi Polietilena oksida (PEO) dan Polipropilena glikol dimetakrilat (PPGDMA) menggunakan dengan radiasi *electron beam* dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan densitas *crosslinking* sehingga pembalut luka tidak cepat rusak atau hancur saat digunakan sebagai pembalut.⁵

Berkas elektron (*electron beam*) relatif sederhana untuk perbaikan atau modifikasi bahan polimer melalui reaksi *crosslinking*, grafting dan degradasi. Selain itu, dosis radiasi dapat dikontrol dengan mudah dan kondisi eksperimental sangat mudah untuk produksi produk massal. Selain itu, produk ini bebas dari kotoran kimia yang tidak diinginkan seperti residu dari inisiator, *retarder* dan/atau akselerator untuk inisiasi dan untuk manipulasi reaksi pengikatan silang dalam metode pengikatan silang kimia.⁵

Berdasarkan pemaparan di atas, dapat dirumuskan permasalahan bagaimana formulasi pembalut luka hidrogel PEO-PPGDMA dengan penambahan madu sebagai bahan pembentuk hidrogel dan apakah formula hidrogel yang dihasilkan memiliki karakteristik sifat fisik-kimia dan stabilitas yang baik. Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mendapatkan formula sediaan pembalut luka hidrogel PEO-PPGDMA dengan penambahan madu yang mempunyai sifat fisik-kimia dan stabilitas yang baik.

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alternatif bentuk sediaan untuk penyembuhan luka sehingga dapat diaplikasikan kepada masyarakat sebagai salah satu alternatif sediaan dalam penyembuhan luka.

Metode Percobaan

Alat dan Bahan

Polietilena oksida (PEO), Polipropilena glikol Dimetakrilat (PPGDMA) dibeli dari Sigma Adrich-Singapura dan madu dari peternakan Baturaden. Peralatan proses yang utama yang digunakan adalah sumber *electron beam* yaitu menggunakan *e-beam* yang ada di Batan Yogyakarta, sedangkan peralatan analisa menggunakan FTIR, SEM, *universal mechanical strength* dan lain-lain.

Cara Kerja

Larutan PEO-PPGDMA dengan komposisi PPGDMA 10% ditambahkan madu sebanyak 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7% diaduk selama 24 jam. Lalu sebanyak 35 mL larutan dituangkan ke dalam petridisk lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C untuk mendapatkan film kering dengan ketebalan 0,3 mm. Hidrogel yang telah kering dibungkus dengan plastik dan selanjutnya diradiasi *electron beam* dengan intensitas berkisar 300 kGay.

Metode Analisis Hidrogel

1. Penentuan Fraksi Gel

Hidrogel hasil radiasi ditimbang beratnya dengan ukuran 1 × 1 cm². Setelah itu, hidrogel dimasukkan ke dalam aquades pada suhu 50°C

selama 24 jam untuk mengeluarkan bagian yang dapat terlarut. Gel tidak terlarut yang didapatkan lalu dikeringkan, dioven pada suhu 40°C selama 24 jam dan kemudian ditimbang berat kering akhir. Fraksi gel ditentukan dari rasio berat antara gel kering yang tidak terlarut dan berat awal hidrogel.

$$\text{Fraksi Gel} = \frac{W_c}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

di mana W_c adalah berat gel kering tidak terlarut (gram) dan W_0 adalah berat awal hidrogel kering (gram).

2. Penentuan Rasio Swelling

Hidrogel yang telah diradiasi dengan berat tertentu (1 × 1 cm²) dimasukkan ke dalam aquades pada suhu kamar. Gel yang telah menyerap air diukur beratnya pada waktu-waktu tertentu setelah dikeluarkan sisa airnya pada permukaannya dengan menggunakan kertas filter. Hal ini dilakukan terus sampai tidak ada lagi kenaikan berat. Rasio *swelling* diukur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rasio Swelling} = \frac{W_t}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

di mana W_t adalah berat gel yang telah mengembang pada waktu t (gram) dan W_0 adalah berat hidrogel film kering (gram).

3. Penentuan Kecepatan Transmisi Uap Air

Kecepatan transmisi uap air (*Water Vapour Transmission Rate* /WVTR) diukur dengan menggunakan metode standar JIS. Film kering berbentuk lingkaran dengan diameter 1,5 cm diletakkan di atas gelas yang berisi 5 g CaCl₂ dan ditempatkan pada inkubator dengan humiditas 90% pada suhu 40°C. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{WVTR} = \frac{W_2 - W_1}{S} \quad (\text{g/m}^2 \text{ jam}) \quad (3)$$

di mana W_1 dan W_2 adalah berat seluruh gelas pada jam pertama dan jam kedua (gram) serta S adalah luas daerah transmisi (m²).

4. Analisis Kuat Mekanik

Kuat tarik (*tensile strength*), modulus elastis (Young's modulus) dan perpanjangan (*elongation*) dari hidrogel PEO-PPGDMA-Madu diukur dengan menggunakan mesin kuat tarik dengan kecepatan 50 mm menit⁻¹ pada suhu kamar.

5. Penentuan Gugus Fungsi

Analisis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsional yang ada dalam struktur molekul hidrogel film PEO-PPGDMA-Madu.

6. Uji dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

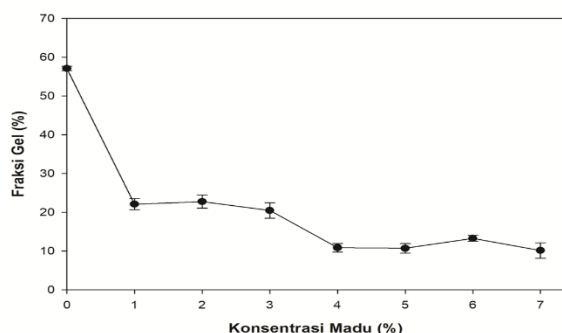
Analisis dilakukan untuk mengetahui bentuk permukaan (morfologi) hidrogel yang dihasilkan. Analisis dilakukan di Laboratorium Research Center Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto.

Hasil dan Pembahasan

1. Pengaruh Konsentrasi Madu terhadap Fraksi Gel Hidrogel PEO-PPGDMA

Fraksi gel merupakan indikasi adanya ikatan silang yang terbentuk akibat iridiasi sinar gamma terhadap polimer. Fraksi gel dinyatakan dalam persen (%). PPGDMA merupakan salah satu polimer yang bersifat membentuk ikatan silang bila diiradiasi dengan sinar

gamma/electron beam.² Banyaknya fraksi yang tidak terlarut menunjukkan jumlah ikatan silang (*crosslinking*) yang terbentuk dari hidrogel. Berdasarkan Gambar 1. dapat diketahui bahwa penambahan konsentrasi madu pada hidrogel PEO-PPGDMA mempengaruhi nilai fraksi gel hidrogel.



Gambar 1. Grafik pengaruh konsentrasi madu terhadap fraksi gel hidrogel PEO-PPGDMA.

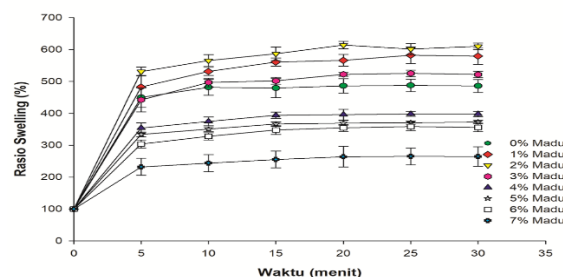
Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase fraksi gel yang dihasilkan dari penelitian ini semakin menurun dengan adanya penambahan madu hal ini menunjukkan bahwa ikatan silang (*crosslinking*) yang terbentuk dari hidrogel semakin sedikit. Pada persentase fraksi gel formulasi hidrogel PEO-PPGDMA dengan konsentrasi 0% madu (*pure*) mengalami penurunan fraksi gel dari konsentrasi 1–7% madu dengan nilai fraksi gel 57% menurun drastis menjadi 9%. Hal ini disebabkan karena sifat fisika madu yang hidrofilik yaitu mempunyai banyak ikatan O-H sehingga mudah berikatan dengan radikal *backbone* dari PEO/PPGDMA membentuk ikatan hidrogen akibatnya ikatan silang (*crosslinking*) menurun dan fraksi gel yang dihasilkan juga turun.

2. Pengaruh Konsentrasi Madu terhadap Rasio Swelling Hidrogel PEO-PPGDMA

Rasio *swelling* hidrogel merupakan salah satu evaluasi yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan mengembang dari hidrogel untuk dapat menyerap air. Kemampuan mengembang (*swelling*) merupakan salah satu sifat penting bagi hidrogel sebagai penutup luka. *Swelling* adalah kemampuan suatu hidrogel untuk dapat menyerap air atau cairan biologis lainnya dan tidak larut serta tetap mempertahankan struktur tiga dimensinya. Berdasarkan sifat tersebut hidrogel sangat ideal digunakan sebagai penutup luka, karena hidrogel yang telah menyerap air maupun cairan biologis dapat mempertahankan kelembapan sekitar luka sehingga mempermudah pembentukan sel-sel dan jaringan baru sehingga dapat mempercepat penyembuhan luka.

Komposisi PEO-PPGDMA dan madu yang digunakan merupakan komposisi yang relatif baik karena menghasilkan hidrogel dengan ikatan silang yang cukup untuk mempertahankan struktur tiga dimensi hidrogel. Madu yang memiliki sifat higroskopis yang tinggi juga menjadikannya sangat mudah menyerap air dari lingkungan sekitar apabila terjadi kontak langsung dengan udara. Osmolaritasnya yang tinggi karena kandungan kadar gula yang tinggi menyebabkan madu memiliki daya absorpsi yang baik sebagai kandidat hidrogel penutup luka. Penambahan *traditional drug* berupa madu diharapkan dapat menaikkan kemampuan mengembang (*swelling*)

hidrogel PEO-PPGDMA. Rasio *swelling* PEO-PPGDMA dengan penambahan madu disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pengaruh konsentrasi madu terhadap rasio *swelling* hidrogel PEO-PPGDMA.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa hidrogel PEO-PPGDMA pada setiap konsentrasi (1–7%) penambahan madu mengalami kenaikan nilai rasio *swelling* di setiap menitnya. Terlihat bahwa pada awal pengujian (0–5 menit), rasio *swelling* hidrogel dengan konsentrasi 1–7% madu mengalami kenaikan drastis dengan nilai rasio *swelling* kisaran 261% hingga 546%. Kemudian rasio *swelling* pada waktu ke 5–30 menit cenderung naik secara stabil dengan nilai rasio *swelling* kisaran 299% hingga 617%. Rasio *swelling* meningkat pada setiap konsentrasi penambahan madu di setiap menitnya, hal ini disebabkan karena madu yang memiliki sifat higroskopis yang tinggi juga menjadikannya sangat mudah menyerap air dari lingkungan sekitar apabila terjadi kontak langsung dengan udara sehingga nilai rasio *swelling* cenderung naik.

Pengukuran kemampuan pengembangan (*swelling*) hidrogel menunjukkan hasil yang cukup besar pada konsentrasi 1–3% madu. Jadi hidrogel dengan konsentrasi 1–3% madu, komposisi ini ideal untuk digunakan sebagai penutup luka karena hidrogel yang dihasilkan mampu menciptakan daerah lembap pada luka lebih baik dari pada hidrogel PEO-PPGDMA 0% madu (*pure*).

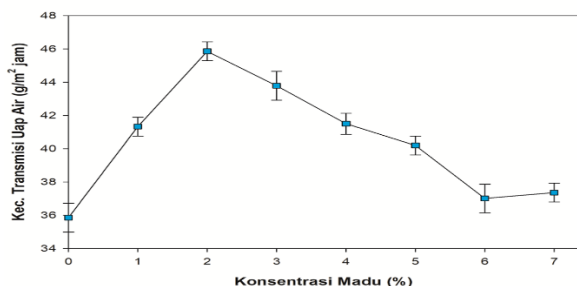
3. Pengaruh Konsentrasi Madu terhadap Kecepatan Transmisi Uap Air Hidrogel PEO-PPGDMA

Suatu pembalut luka harus mempunyai persyaratan dapat ditembus oleh gas (oksigen) dan uap air, agar terjadi aerasi dan penguapan air untuk mempercepat proses penyembuhan luka. Sel-sel tubuh memerlukan oksigen untuk aktivitas seperti migrasi dan mitosis.¹ Dalam penelitian ini dicoba penambahan *traditional drug* berupa madu dan diamati pengaruhnya terhadap kemampuan hidrogel dalam ditembus gas dan uap air. Hasilnya disajikan pada Gambar 3.

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi madu memberikan pengaruh nyata terhadap laju transmisi uap air pada hidrogel. Nilai kecepatan transmisi uap air pada hidrogel berkisar 35,86 g/m² jam sampai 46,87 g/m² jam. Pada hidrogel PEO-PPGDMA konsentrasi 0% madu dengan kecepatan transmisi uap air sebesar 36 g/m²jam mengalami kenaikan drastis menjadi 46 g/m² jam pada konsentrasi 1–2% madu, kemudian cenderung turun pada konsentrasi 3–7% madu dengan kecepatan transmisi uap air 46 g/m² jam menjadi 37,37 g/m² jam.

Pada konsentrasi 1–2% madu mengalami kenaikan kecepatan transmisi uap air hal ini disebabkan karena ikatan silang pada rentan konsentrasi tersebut masih tinggi maka kerapatan ikatan silang pun

masih tinggi akibatnya gas (oksigen) dan uap air mudah ditransmisikan sehingga kecepatan transmisi uap air naik, sedangkan pada konsentrasi 3–7% madu cenderung turun hal ini dimungkinkan karena semakin banyak konsentrasi madu yang diberikan maka ketebalan dari hidrogel meningkat dan kerapatan molekul juga semakin meningkat sehingga pori-pori mengecil akibatnya kecepatan transmisi uap air turun.



Gambar 3. Grafik pengaruh konsentrasi madu terhadap kecepatan transmisi uap air hidrogel PEO-PPGDMA.

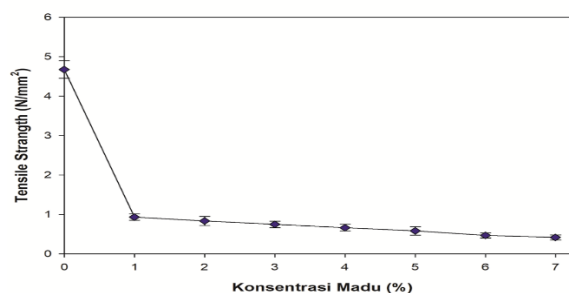
Bila kecepatan transmisi uap air tinggi maka luka bisa cepat kering, sehingga mempercepat penyembuhan luka. Selain itu, jika nilainya terlalu rendah jumlah eksudat menumpuk, proses penyembuhan dapat terbelakang, sehingga meningkatkan risiko pertumbuhan bakteri. Penggunaan *dressing ideal* diketahui mengendalikan penguapan air dari luka pada tingkat optimal. Tingkat untuk kulit normal adalah 8,5 g/m² jam, sedangkan untuk kulit yang terluka berkisar 11,6 g/m² jam. Oleh karena itu, *dressing* luka yang ideal harus memiliki kecepatan transmisi uap air lebih besar dari 11,6 g/m²jam.² Kecepatan transmisi uap air dari hidrogel PEO-PPGDMA dengan penambahan madu memiliki nilai ideal untuk pembalut luka.

4. Pengaruh Konsentrasi Madu terhadap Sifat Mekanik Hidrogel PEO-PPGDMA

Hidrogel merupakan bahan yang dapat menyerap banyak cairan, maka nilai sifat mekaniknya yaitu kuat tarik (*tensile strength*) dan elongasi (*elongation*) sangat rendah. Hidrogel sebagai aplikasi pembalut luka semestinya resisten terhadap kerusakan selama masa penyembuhan saat diaplikasikan kepada pasien. Kuat tarik dapat didefinisikan sebagai gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum terjadi kerusakan. Hidrogel PEO-PPGDMA sudah dianalisis pada penelitian sebelumnya bahwa penambahan PPGDMA ternyata dapat memperbaiki sifat mekanik hidrogel film sehingga dapat dikembangkan hidrogel film dengan penambahan *traditional drug* seperti madu (*honey*). Dalam penelitian ini ditambahkan *traditional drug* berupa madu yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan madu terhadap sifat mekanik hidrogel. Hasil analisis kuat tarik dan elongasi terhadap penambahan konsentrasi madu disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa penambahan konsentrasi madu berpengaruh terhadap kuat tarik hidrogel PEO-PPGDMA. Dapat dilihat bahwa kekuatan tarik hidrogel PEO-PPGDMA menunjukkan penurunan drastis pada konsentrasi 0–1% madu kemudian cenderung turun stabil pada konsentrasi 1–7% madu. Hal ini

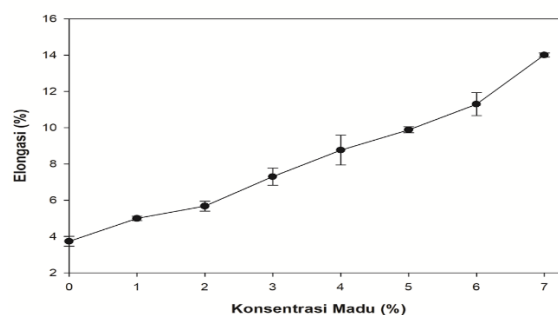
disebabkan penambahan madu ke dalam hidrogel menyebabkan interaksi antar PEO-PPGDMA menurun sehingga meningkatkan mobilitas rantai-rantai polimer dan menghasilkan film hidrogel yang lebih plastis. Jumlah atom karbon dalam rantai dan jumlah gugus hidroksil yang terdapat pada madu mempengaruhi sifat mekanis suatu film hidrogel. Madu yang bersifat hidrofilik dapat dengan mudah masuk ke rantai-rantai molekul PEO-PPGDMA sehingga meningkatkan sifat plastis dari film hidrogel dan menyebabkan kuat tarik menurun.



Gambar 4. Grafik pengaruh konsentrasi madu terhadap kuat tarik hidrogel PEO-PPGDMA.

Pengaruh konsentrasi madu terhadap elongasi film hidrogel PEO-PPGDMA dapat dilihat pada Gambar 5. Analisis menunjukkan bahwa konsentrasi penambahan madu pada hidrogel PEO-PPGDMA berpengaruh sangat nyata terhadap elongasi hidrogel film. Elongasi berkisar antara 3,99–14,09%. Elongasi hidrogel film tertinggi ditunjukkan pada konsentrasi 7% madu dan elongasi terendah ditunjukkan pada konsentrasi 0% madu.

Hasil elongasi hidrogel meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya madu. Hal ini karena molekul pemlastis madu mempunyai gaya interaksi yang cukup kuat dengan PEO-PPGDMA sehingga terdifusi ke dalam rantai polimer. Molekul pemlastis akan berada diantara rantai polimer PEO-PPGDMA kemudian mempengaruhi mobilitas rantai yang dapat meningkatkan plastisasi sampai batas kompatibilitas rantai.

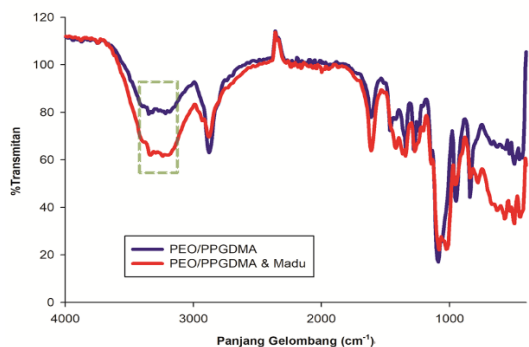


Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi madu terhadap elongasi hidrogel PEO-PPGDMA.

5. Analisis Struktur Senyawa Hidrogel PEO-PPGDMA dengan Penambahan Madu menggunakan FTIR.

Analisis menggunakan spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi atau ikatan kimia yang terdapat pada film hidrogel. Analisis ini didasarkan pada penyerapan radiasi elektromagnetik oleh sejumlah sampel

pada panjang gelombang antara 4000 sampai 400 cm^{-1} . Sampel hidrogel dianalisis dengan FTIR yang dapat dilihat dalam dua spektrum pada Gambar 6. Sumbu x merupakan panjang gelombang (cm^{-1}) dan sumbu y adalah % transmisi.

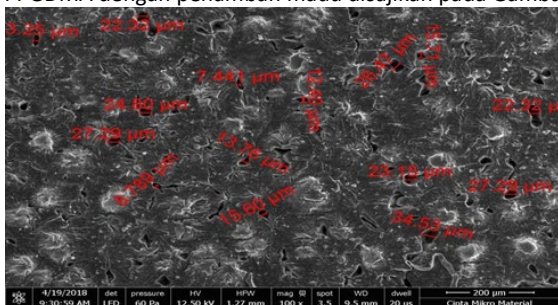


Gambar 6. Grafik analisis spektra ftir hidrogel PEO-PPGDMA dengan penambahan madu.

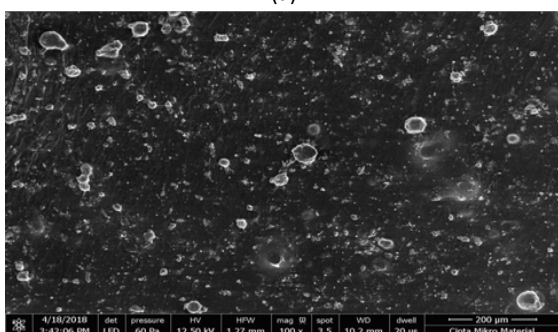
Pada spektra FTIR Gambar 6. menunjukkan perbedaan hidrogel PEO/PPGDMA dibandingkan dengan hidrogel PEO-PPGDMA dengan penambahan madu yang terdapat pada panjang gelombang 3500–3200 cm^{-1} untuk gugus hidroksil ($-\text{OH}$). Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan spektra yang terjadi berasal dari gugus fungsi khas madu yaitu gugus hidroksil ($-\text{OH}$). Mengingat bahwa madu memiliki sifat fisika yang hidrofilik yaitu banyak mengandung ikatan O-H.

6. Analisis Morfologi Hidrogel PEO-PPGDMA dengan Penambahan Madu

Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah teknik analisis untuk mengetahui morfologi, bentuk, serta porositas dari hidrogel. Hasil analisis struktur morfologi dari hidrogel film PEO-PPGDMA dengan penambah madu disajikan pada Gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. Mikrofotograf hidrogel PEO-PPGDMA (a) dan hidrogel PEO-PPGDMA dengan penambahan madu (b).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tingkat *crosslinking* hidrogel turun dengan penambahan madu yang ditunjukkan dengan nilai fraksi gel hidrogel PEO-PPGDMA yang cenderung turun. Nilai rasio *swelling* meningkat pada setiap konsentrasi penambahan madu di setiap menitnya. Kecepatan transmisi uap air meningkat dengan adanya penambahan madu. Kuat tarik hidrogel turun dengan adanya penambahan madu dan sebaliknya persen elongasi hidrogel naik dengan adanya penambahan madu. Hasil pengamatan struktur kimia hidrogel menggunakan FTIR telah membuktikan adanya madu pada hidrogel PEO-PPGDMA yang ditunjukkan dengan adanya perubahan interaksi gugus fungsi ($-\text{OH}$). Hasil pengamatan morfologi permukaan hidrogel menggunakan SEM menunjukkan bahwa hidrogel PEO-PPGDMA memiliki permukaan halus atau rata dan juga memiliki porositas sedangkan pada hidrogel film PEO-PPGDMA dengan penambahan madu terlihat sedikit tidak rata atau sedikit kasar dan juga tidak memiliki porositas.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapan terima kasih kepada Kemenristekdikti yang telah memberikan dana penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

1. D. Darwin, Pengembangan Bahan Biomaterial untuk Pemakaian di Bidang Kesehatan dengan Teknik Radiasi Pengion. Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, 2013, 251–275.
2. Haryanto dan Nunuk A.N., Polietilena Oksida–Polietilena Glikol Dimetakrilat Hidrogel Film untuk Aplikasi Pembuatan Pembalut Luka. LPPM Universitas Muhammadiyah Purwokerto, 2015.
3. C.M. Hassan dan N.A. Peppas. Structure and Morphology of Freeze/Thawed PVA Hydrogels, *Macromolecules*, School of Chemical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2000, **33**, 2472.
4. D. Pasqui, M.D. Cagna dan R. Barbucci, Polysaccharide-Based Hydrogels: The Key Role of Water in Affecting Mechanical Properties, *Polymers*, 2012, **4**, 1517.
5. F. Yoshii, et al. Electron Beam Crosslinked PEO and PEO/PVA Hydrogels for Wound Dressing. *Radiation Physics and Chemistry*, 1999, **55**, 133–138.