

## **PENGEMBANGAN HIDROGEL FILM POLIETILENA OKSIDA DENGAN PENAMBAHAN GETAH PISANG (*MUSA PARADISIACA*) UNTUK APLIKASI PEMBALUT LUKA**

**Fena Retyo Titani<sup>1</sup>, Haryanto<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

### Informasi Makalah

Dikirim, 22 Juli 2019  
Direvisi, 23 April 2020  
Diterima, 28 April 2020

#### Kata Kunci:

*Hidrogel*  
*Getah Pisang*  
*Crosslinking*  
*Sifat mekanik*  
*Pemalut luka*

#### Keyword:

Hydrogel  
Banana Sap  
Crosslinking  
Mechanical Properties  
Wound dressing

### INTISARI

Hidrogel yang telah dikembangkan selama ini adalah hidrogel dengan basis polimer tanpa ada penambahan obat, sehingga untuk akselerasi penyembuhan luka dapat dikembangkan hidrogel dengan penambahan getah pisang (*Musa Paradisiaca*) sebagai obat yang diharapkan dapat mempercepat proses penyembuhan luka. Pembuatan hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang dibuat menggunakan metode baru yaitu melarutkan getah pisang bersama PEO-PEGDMA sebelum dilakukan *crosslinking*. Formulasi konsentrasi getah pisang yang digunakan adalah 0% sampai 15% (volume) dan diiradiasi dengan sinar gamma. 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). Sedangkan untuk membuktikan akselerasi kecepatan penyembuhan luka dianalisis dengan uji *invivo*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai fraksi gel, rasio *swelling* dan kecepatan transmisi uap air hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang meningkat pada konsentrasi 0-15%. Kuat tarik hidrogel turun dengan adanya penambahan getah pisang dan sebaliknya persen elongasi hidrogel naik dengan adanya penambahan getah pisang. Hidrogel film PEO-PEGDMA dengan adanya penambahan getah pisang terbukti mampu mempercepat penyembuhan luka sayat melalui Uji *Invivo*. Hal ini menunjukkan bahwa hidrogel dapat dikembangkan dari PEO-PEGDMA-Getah Pisang yang dapat digunakan sebagai pemalut luka.

### ABSTRACT

Hydrogels having been developed so far are those with polymer bases without any additives. For the acceleration of wound healing, it can be developed hydrogels with the addition of banana sap (*Musa Paradisiaca*) as a drug that is expected to accelerate the wound healing process. The preparation of Banana PEO-PEGDMA-Hydrogel Banana was made using a new method of dissolving banana juice with PEO-PEGDMA before crosslinking. The formulations of banana sap concentration used ranged from 0% to 15% (volume) and they were irradiated with gamma rays. The characteristics measured include gel fraction, swelling ratio, velocity of water vapor transmission and mechanical properties. The chemical and morphological structures were analyzed using the Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM). The acceleration of wound healing speed was analyzed by *invivo* test. The results showed that the value of gel fraction, swelling ratio and velocity of water transmission of PEO-PEGDMA-Banana Gum hydrogel increased at a concentration of 0-15%. Hydrogel tensile strength decreased with the addition of banana sap and conversely the percentage of elongation of hydrogel increased with it. PEO-PEGDMA hydrogel film with the addition of banana sap has been proven to accelerate the wound healing through the *Invivo* Test. This shows that hydrogels can be developed from PEO-PEGDMA- Banana Sap which can be used as wound dressing.

**Korespondensi Penulis:**

Fena Retyo Titani  
Program Studi Teknik Kimia  
Fakultas Teknik dan Sains  
Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
Jl. Raya Dukuhwaluh, Purwokerto, 53182  
Email: Fenafen16@gmail.com

**1. PENDAHULUAN**

Seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, telah banyak dikembangkan berbagai alternative bentuk sediaan lain yang digunakan untuk mengobati luka, salah satunya adalah pembalut luka hidrogel. Hidrogel adalah salah satu jenis makromolekul polimer hidrofilik yang berbentuk jaringan berikatan silang, mempunyai kemampuan mengembang dalam air (*swelling*), dan memiliki daya difusi air yang tinggi. Oleh karena sifat fisik yang khas tersebut, pada awalnya hidrogel disintesis untuk digunakan sebagai kontak lensa dan imobilisasi enzim dan sel [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Bila reaksi ikatan silang lebih dominan daripada reaksi degradasi, maka polimer tersebut bersifat ikatan silang (*crosslinking*), sebaliknya bila degradasi lebih dominan maka polimer tersebut bersifat degradasi [7]. Pembalut luka umumnya dipakai untuk mempercepat proses penyembuhan luka dan menciptakan kondisi yang lebih baik untuk penyembuhan.

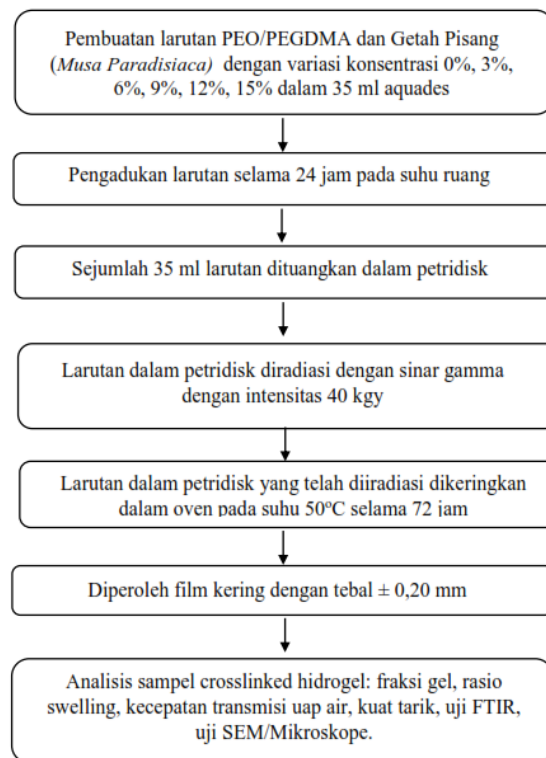
Terdapat tiga jenis bahan utama pembalut luka yang sering digunakan dalam dunia medis yaitu semipermeabel film, hidrokoloid dan hidrogel. Pembalut luka seharusnya mudah untuk digunakan, tidak menimbulkan rasa sakit pada saat dilepas dari luka dan lebih sedikit membutuhkan penggantian pembalut pada saat pemakaian. [8]. Salah satu dari biomaterial yang sangat menjanjikan adalah hidrogel. Istilah biomaterial biasanya digunakan untuk material yang dipakai dalam keperluan biomedis. Selama lebih dari puluhan tahun hidrogel telah digunakan pada berbagai aplikasi medis seperti pengantar obat, pembalut luka dan kontak lensa [9]. Polimer hidrogel merupakan jenis pembalut luka yang ideal karena mampu memfasilitasi *autolytic debridement of necrosis* serta mampu menyerap cairan luka. Namun demikian hidrogel memiliki kelemahan yaitu mudah hancur dan kekuatan mekaniknya sangat rendah [10].

Hidrogel yang telah dikembangkan selama ini adalah hidrogel dengan basis polimer tanpa ada penambahan obat, sehingga untuk akselerasi penyembuhan luka dapat dikembangkan hidrogel dengan penambahan getah pisang (*Musa Paradisiaca*) sebagai obat yang diharapkan dapat mempercepat proses penyembuhan luka. Kandungan zat dalam getah batang pisang terdapat "saponin, antrakuinon, dan kuinon yang dapat berfungsi sebagai antibiotik dan penghilang rasa sakit [11].

Untuk itu didalam penelitian ini akan dikaji pengembangan polimer hidrogel khususnya hidrogel film berbahan adiktif sebagai pembalut luka yang kuat secara mekanik dan dapat mempercepat proses penyembuhan luka.

**2. METODE PENELITIAN****2.1 Bahan dan Metode**

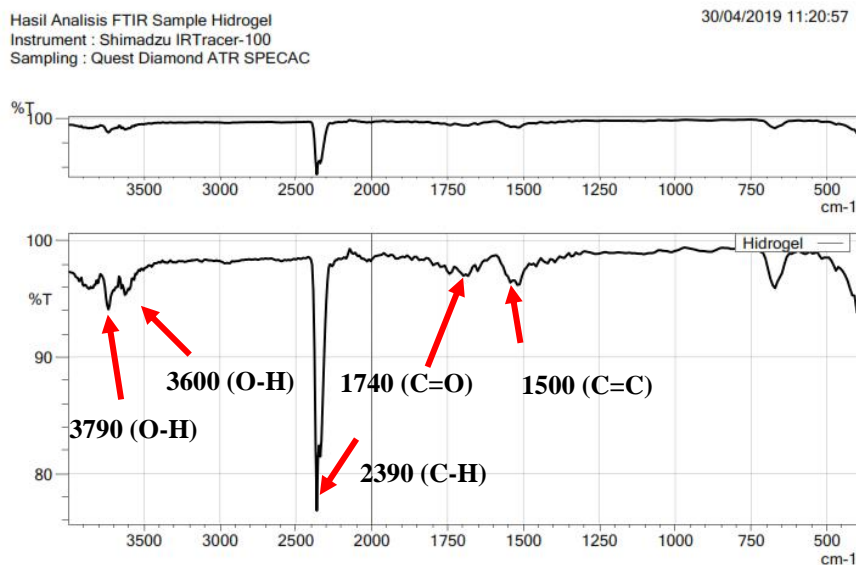
Bahan yang digunakan untuk pembuatan hidrogel adalah Polietilena Oksida (PEO) dengan berat molekul (Mr)  $6 \times 10^5$  gr/mol dan Polietilene Glikol Dimetakrilat dengan berat molekul 750 gr/mol dan getah pisang. Larutan PEO/PEGDMA dengan komposisi PEGDMA 10% ditambahkan madu sebanyak 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15% diaduk selama 24 jam. Lalu sebanyak 35 ml larutan dituangkan ke dalam petridisk, selanjutnya diradiasi sinar gamma dengan intensitas berkisar 40 kGy. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 72 jam untuk mendapatkan film kering dengan ketebalan 0,2 mm. Tujuan radiasi adalah untuk sintesis dan sterilisasi hidrogel secara simultan. Hidrogel hasil radiasi selanjutnya diuji karakterisasinya. Penelitian ini dapat dilihat pada Gambar dibawah.



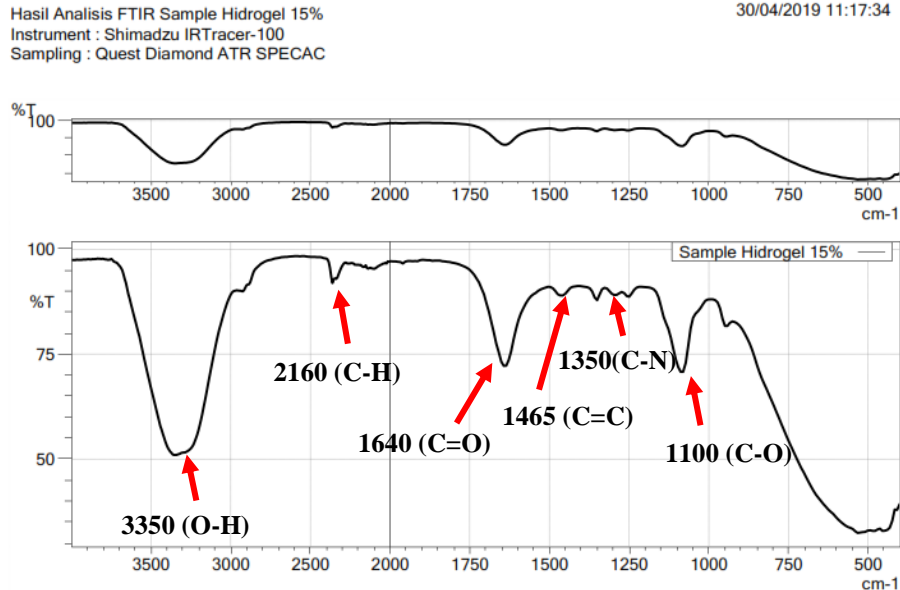
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisis Struktur Senyawa Hidrogel PEO-PEGDMA Getah Pisang Menggunakan FTIR

Karakterisasi hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang ini dilakukan dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infrared* (FT-IR). Spektroskopi FTIR merupakan alat untuk mengukur serapan radiasi daerah inframerah pada berbagai panjang gelombang. Secara kualitatif, spektroskopi FT-IR dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada dalam struktur molekul. Sampel hidrogel dianalisis dengan FTIR yang dapat dilihat dalam dua spektrum pada Gambar 3.1. Sumbu x merupakan panjang gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) % dan sumbu y adalah % transmittan.



Gambar 3.1. (a) Grafik Spektra FTIR Hidrogel PEO-PEGDMA

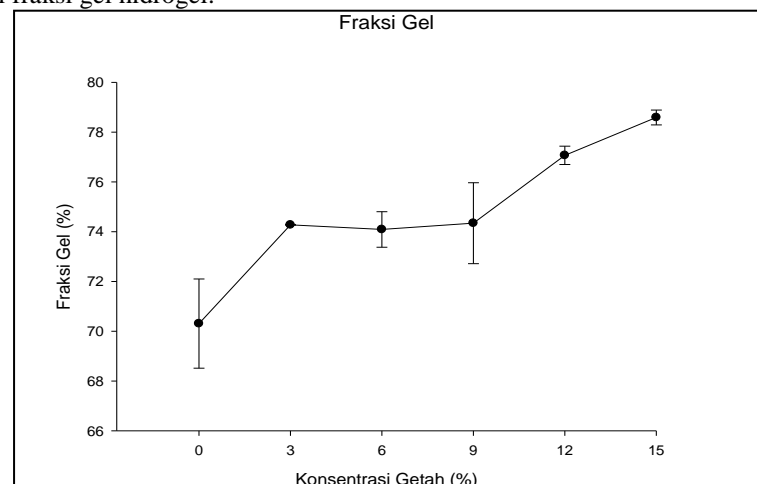


Gambar 3.1. (b) Grafik Spektra FTIR Hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang

Dari spektra FTIR menunjukkan perbedaan hidrogel PEO-PEGDMA dibandingkan dengan hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang. Grafik hidrogel PEO-PEGDMA menunjukkan adanya gugus fungsi seperti O-H dengan panjang gelombang  $3790\text{ cm}^{-1}$  dan  $3600\text{ cm}^{-1}$ , C=O dengan panjang gelombang  $1740\text{ cm}^{-1}$ , C=C dengan panjang gelombang  $1500\text{ cm}^{-1}$ , dan C-H dengan panjang gelombang  $2390\text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan pada spektra FTIR hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang menunjukkan adanya gugus O-H pada panjang gelombang  $3350\text{ cm}^{-1}$ , C-H dengan panjang gelombang  $2160\text{ cm}^{-1}$ , C=O dengan panjang gelombang  $1640\text{ cm}^{-1}$  dan C=C dengan panjang gelombang  $1465\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu pada spektra FTIR yang kedua setelah penambahan getah pisang menunjukkan adanya gugus baru yang teridentifikasi yaitu gugus amida C-N dengan panjang gelombang  $1350\text{ cm}^{-1}$  dan C-O dengan panjang gelombang  $1100\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya senyawa alkaloid didalam getah pisang. Hal ini membuktikan bahwa hidrogel film yang dihasilkan melalui kombinasi PEO-PEGDMA-Getah Pisang setelah dianalisa FTIR didalam analisa terlihat hidrogel film mengandung senyawa C-N dan C-O yang merupakan senyawa khas dari getah pisang.

### 3.2. Pengaruh Konsentrasi Getah Pisang terhadap Fraksi Gel Hidrogel PEO-PEGDMA

Fraksi gel merupakan indikasi adanya ikatan silang yang terbentuk akibat iradiasi sinar gamma terhadap polimer. Fraksi gel dinyatakan dalam persen (%). PEGDMA merupakan salah satu polimer yang bersifat membentuk ikatan silang bila diiradiasi dengan sinar gamma / *electron beam* [12]. Berdasarkan Gambar 3.2. dapat diketahui bahwa penambahan konsentrasi getah pisang pada hidrogel PEO-PEGDMA mempengaruhi nilai fraksi gel hidrogel.



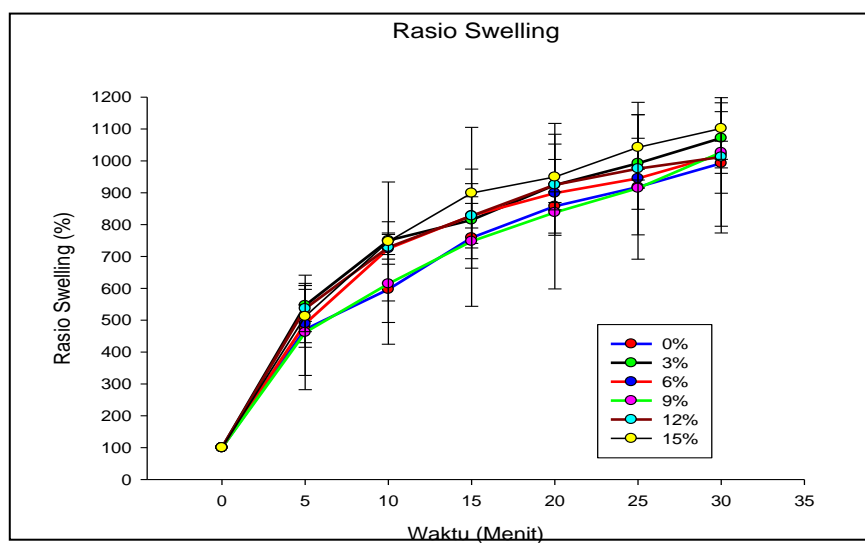
Gambar 3.2. Grafik Analisis Fraksi Gel Hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase fraksi gel yang dihasilkan dari penelitian ini semakin meningkat dengan adanya penambahan getah pisang, hal ini menunjukkan bahwa ikatan silang (*crosslinking*) yang terbentuk dari hidrogel semakin banyak. Peningkatan nilai fraksi gel terjadi dari formulasi hidrogel PEO-PEGDMA murni (konsentrasi getah pisang 0%) dengan nilai 70% meningkat stabil menjadi 74% pada konsentrasi getah pisang 3%, 6% dan 9% dan kemudian nilainya meningkat pada konsentrasi getah pisang 12% dan 15%.

Hal ini secara tidak langsung menunjukkan bahwa banyaknya gugus O-H yang terdapat dalam kandungan kimia getah pisang dapat dengan mudah berikatan dengan radikal *backbone* dari PEO-PEGDMA membentuk ikatan hidrogen akibatnya ikatan silang (*crosslinking*) menjadi meningkat.

### 3.3. Pengaruh Konsentrasi Getah Pisang terhadap Rasio Swelling (RS) Hidrogel PEO-PEGDMA

Rasio *swelling* merupakan kemampuan mengembang dari hidrogel untuk dapat menyerap air. Rasio *swelling* merupakan salah satu kriteria utama agar hidrogel dapat dipakai sebagai pembalut luka (*wound dressing*). Hal ini berkaitan erat dengan jenis kondisi luka yang akan disembuhkan seperti luka bakar atau luka basah (*exudate*). Hasil rasio *swelling* hidrogel disajikan pada Gambar 3.3.

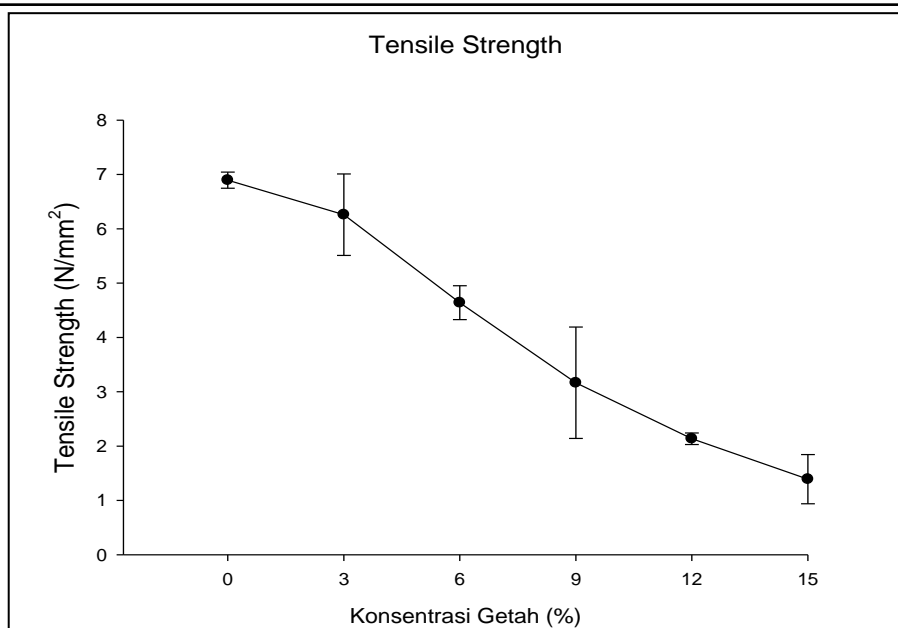


Gambar 3.3 Grafik Analisis Rasio Swelling Hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang mengalami kenaikan nilai rasio *swelling* disetiap menitnya. Pada hidrogel konsentrasi PEO-PEGDMA 0% nilai rasio *swelling* mencapai 992% kemudian nilainya meningkat dengan adanya penambahan getah pisang pada konsentrasi 3%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Data ini menunjukkan bahwa adanya penambahan getah pisang memperlihatkan peningkatan daya serap hidrogel terhadap air saat dilakukan perendaman. Peningkatan nilai *swelling* disebabkan karena kandungan tanin dan kuinon yang terdapat didalam getah pisang dapat meningkatkan sifat hidrofilik yang terbentuk dari hidrogel film PEO-PEGDMA.

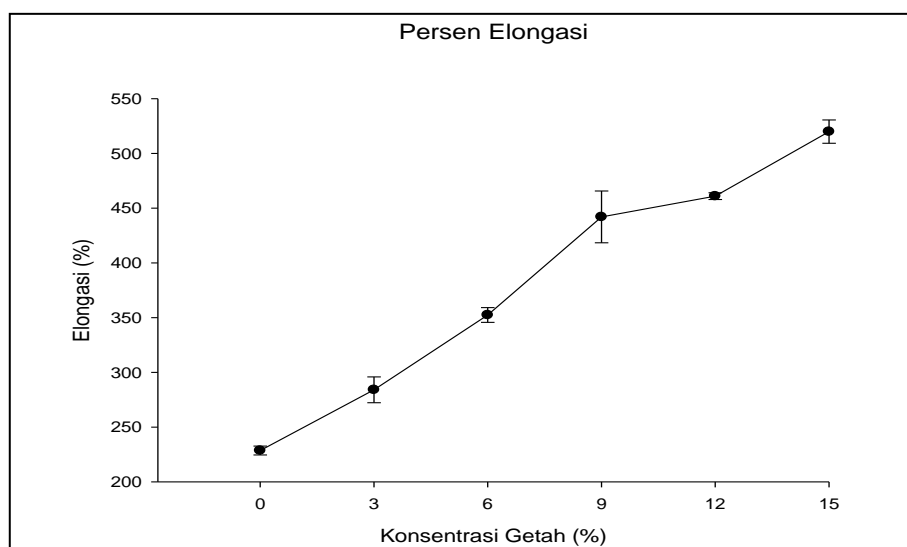
### 3.4. Pengaruh Konsentrasi Getah Pisang terhadap Sifat Kuat Mekanik Hidrogel PEO-PEGDMA

Daya peregangan maksimum (*elongation*), kekuatan tarik (*tensile strength*) dan modulus elastis (*Young's modulus*) merupakan parameter sifat mekanis *film*. Pemanjangan maksimal diukur saat *film* menjelang putus. Kekuatan penarikan diukur sebanding dengan gaya yang diperlukan untuk memutuskan *film*. Modulus elastis merupakan perbandingan nilai antara kekuatan tarik dan daya peregangan maksimum. Kuat tarik (*tensile strength*) dan peregangan maksimum (elongasi), dilakukan untuk mengetahui kelenturan dan mudah atau tidaknya mengalami robek saat diaplikasikan menjadi hidrogel pembalut luka. Hasil analisis kuat tarik dan elongasi terhadap penambahan konsentrasi getah pisang disajikan dalam Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Grafik Analisis Tensile Strength Hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang

Dari Gambar 3.4 dapat diketahui bahwa Semakin banyak penambahan getah pisang maka semakin menurun nilai kuat tarik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan penambahan getah pisang ke dalam hidrogel menyebabkan interaksi antar PEO-PEGDMA 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 getah pisang mempengaruhi sifat mekanis suatu film hidrogel. Menurut Svensson et al., 2011, standar mekanik kulit untuk tendon memiliki nilai kuat tarik antara 5-15 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan untuk tumit memiliki nilai kuat mekanik 0,3-25 N/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil analisa diatas maka hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang yang dihasilkan dapat memenuhi standar kuat mekanik sebagai material pembalut luka karena hidrogel yang dihasilkan memiliki nilai kuat mekanik tertinggi dengan konsentrasi penambahan getah pisang 3% yang berada pada range sebagai kulit tendon maupun tumit yaitu 6,30 N/mm<sup>2</sup>.



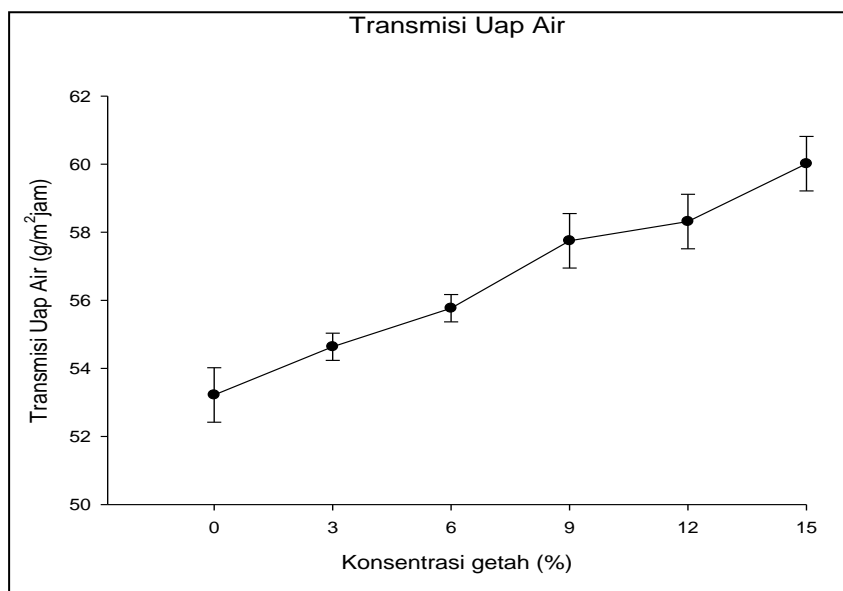
Gambar 3.5 Grafik Analisis % Elongasi Hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang

Hasil analisis % elongasi hidrogel pada Gambar 3.5 menunjukkan semakin banyak penambahan getah pisang nilai % elongasi hidrogel semakin meningkat. Hal ini karena molekul pemlastis getah pisang mempunyai gaya interaksi yang cukup kuat dengan PEO-PEGDMA sehingga terdifusi ke dalam rantai

polimer. Molekul pemlastis akan berada diantara rantai polimer PEO-PEGDMA kemudian mempengaruhi mobilitas rantai yang dapat meningkatkan plastisasi sampai batas kompatibilitas rantai.

### 3.5. Pengaruh Konsentrasi Getah Pisang terhadap Laju Kecepatan Transmisi Uap Air Hidrogel PEO-PEGDMA

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.



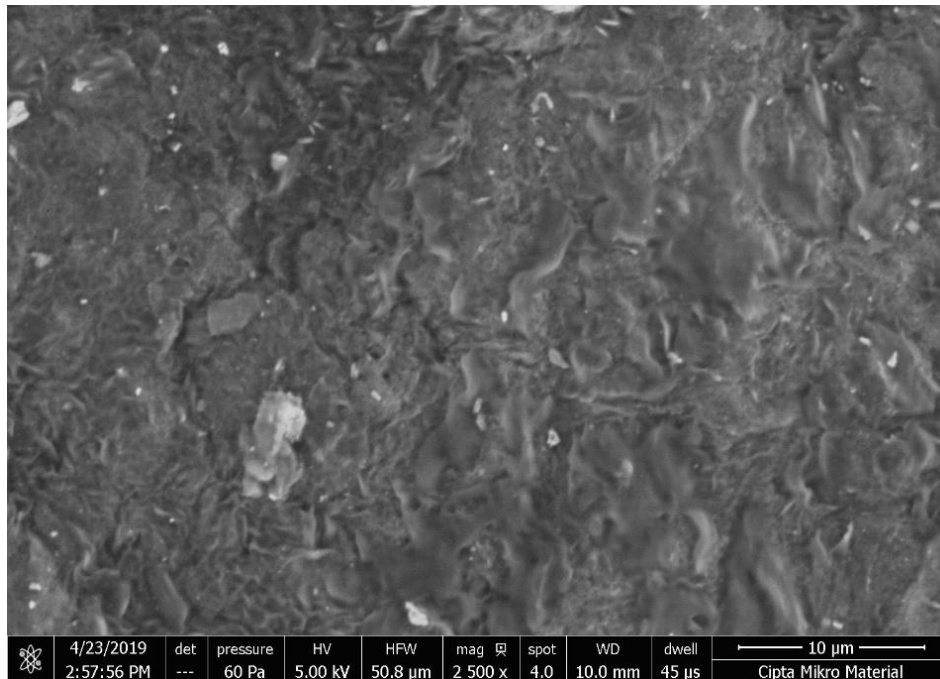
Gambar 3.6 Grafik Analisis Transmisi Uap Air Hidrogel PEO PEGDMA-Getah Pisang

Hasil yang diperoleh dari Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa nilai kecepatan transmisi uap air meningkat dengan penambahan getah pisang. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya konsentrasi getah pisang, *crosslinking* yang dihasilkan banyak sehingga menyebabkan jaringan yang terbentuk semakin lebar sehingga dapat mempercepat laju transmisi uap air yang dihasilkan. Menurut Lou (2008), kehilangan uap air untuk kulit normal adalah 700-1200 g/m<sup>2</sup> per hari, sedangkan untuk kulit terluka berkisar dari 800-1300 g/m<sup>2</sup> hari. Tidak ada nilai laju transmisi uap air yang ideal untuk penutup luka, semuanya disesuaikan dengan fungsi dan tujuan penggunaan penutup luka tersebut.

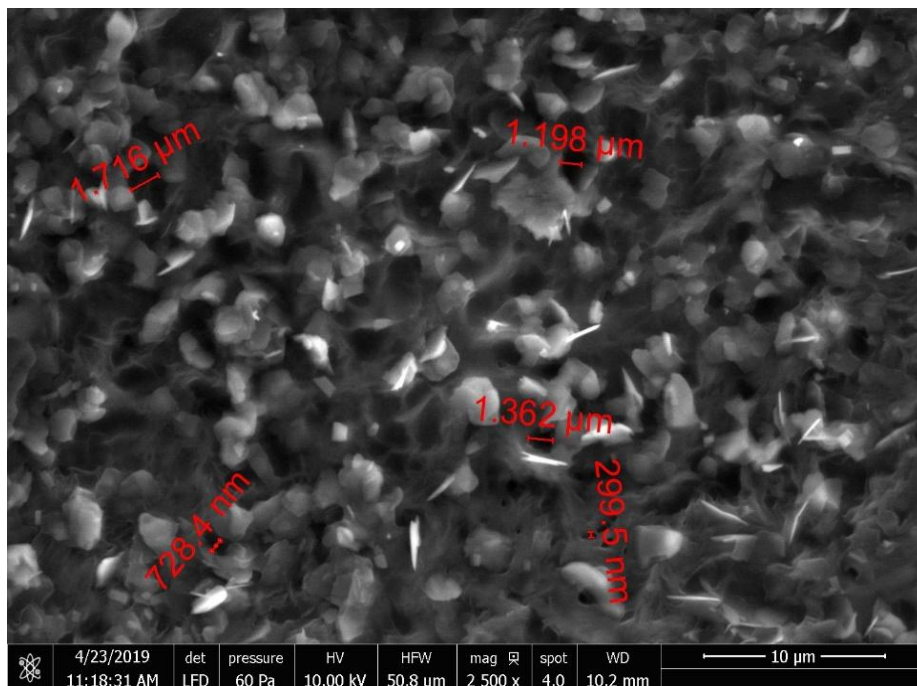
Direkomendasikan 2000-2500 g/m<sup>2</sup> hari kehilangan air per hari dari kulit yang terluka, karena hal ini akan memberikan kelembaban yang cukup tanpa menimbulkan risiko dehidrasi pada luka. Nilai dari laju transmisi uap air tidak boleh begitu tinggi karena akan menyebabkan kondisi kering di daerah luka. Di sisi lain, jika nilai laju transmisi uap air sangat rendah maka akan membuat akumulasi eksudat yang dapat menyebabkan perlambatan proses penyembuhan dan membuka risiko pertumbuhan bakteri [13].

### 3.6. Analisis Morfologi Hidrogel PEO-PEGDMA & Getah Pisang

Analisis morfologi permukaan dengan SEM memberikan gambaran mengenai permukaan hidrogel. Kemampuan suatu hidrogel dalam menyerap air terkait dengan adanya ruang berpori pada hidrogel (Risbud, M. V., *et al*, 2000). Secara umum selain terdapat dipermukaan gel, ruang berpori juga terdapat dalam badan polimer jaringan (Omidian, H., *et al*, 2005).



Gambar 3.7 (a) Morfologi Hidrogel PEO-PEGDMA



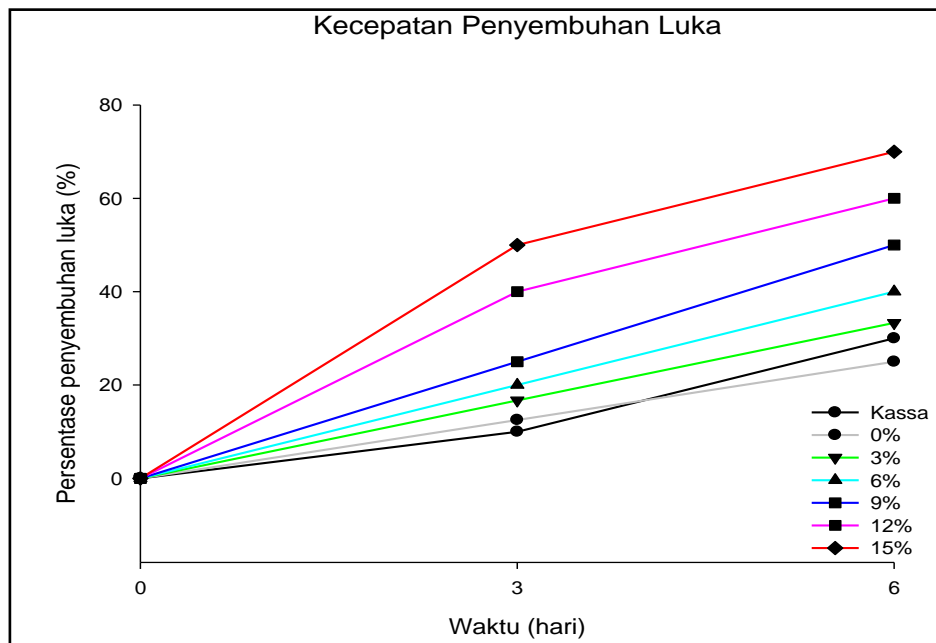
Gambar 3.7 (b) Morfologi Hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang

Gambar 3.7 (a) dan (b) menunjukkan mikrograf hidrogel film PEO-PEGDMA dan hidrogel PEO-PEGDMA-Getah Pisang pada perbesaran 2500x. Adanya penambahan getah pisang ternyata dapat mempengaruhi morfologi pori yang dihasilkan. Permukaan hidrogel PEO-PEGDMA yang dihasilkan terlihat halus dan homogen tetapi ukuran diameter pori yang dihasilkan tidak bisa terukur sedangkan hidrogel film PEO-PEGDMA-Getah Pisang terlihat permukaan kasar dan menunjukkan ukuran pori dengan ukuran diameter 728,4 nm hingga 1,716  $\mu\text{m}$ .

Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan getah pisang jumlah pori yang dihasilkan terlihat semakin banyak. Hal ini juga sejalan dengan rasio *swelling* yang dihasilkan. Dimana jumlah pori-pori yang lebih banyak dan struktur yang lebih homogen menyebabkan nilai penyerapan air yang lebih tinggi [14].

Kapasitas absorpsi hidrogel dapat dinaikkan dengan memperbesar luas kontak baik melalui permukaan bergelombang maupun jumlah dan ukuran pori. Hal ini dapat dilakukan baik secara perlakuan fisik maupun kimia. [15]

### 3.7. Analisis Akselerasi Penyembuhan Luka melalui Uji Invivo



Gambar 3.8 Grafik Persentase Penyembuhan Luka Sayat

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase kecepatan penyembuhan luka yang dihasilkan semakin meningkat dengan adanya pemberian hidrogel PEO-PEGDMA-Gel Pisang. Hidrogel PEO-PEGDMA-Gel Pisang memberikan hasil yang lebih baik dalam mengembalikan keutuhan kulit akibat luka sayatan dibandingkan dengan kontrol negative (kassa) yang tidak diberi apa-apa. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang terkandung dalam getah pisang dapat mempercepat proses penyembuhan luka. Persentase penyembuhan luka paling optimal terjadi pada konsentrasi PEO-PEGDMA-Gel Pisang 15%.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan getah pisang menyebabkan peningkatan fraksi gel, rasio *swelling* dan transmisi uap air sedangkan untuk kuat tarik hidrogel turun dengan adanya penambahan getah pisang dan sebaliknya persen elongasi hidrogel naik dengan adanya penambahan getah pisang. Hasil pengamatan struktur kimia hidrogel menggunakan FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi C=C aromatik yang merupakan gugus senyawa flavonoid dan gugus amida C-N yang merupakan gugus senyawa alkaloid dari kandungan getah pisang, sedangkan pengamatan morfologi permukaan hidrogel menggunakan SEM menunjukkan bahwa hidrogel PEO-PEGDMA-Gel Pisang memiliki permukaan kasar dan menunjukkan adanya banyak pori-pori.
2. Hidrogel film PEO-PEGDMA dengan adanya penambahan getah pisang terbukti mampu meningkatkan akselerasi kecepatan penyembuhan luka sayat dengan persentase penyembuhan luka paling optimal terjadi pada konsentrasi PEO-PEGDMA-Gel Pisang 15%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Erizal, 2006. *Imobilisasi Antibiotik pada Matriks Hidrogel Poli(vinil) Alkohol dengan Metode Induksi Iradiasi*. Prosiding Simposium Nasional Polimer VI. 111-115.
- [2] Swasono, R.T., Erizal, Dan Hendriyanto, 2007. *Pengaruh Iradiasi Gamma dan Konsentrasi Polivinilpirrolidon pada Pembuatan Hidrogel serta Kemampuan Imobilisasi dan Pelepasan Kembali Propranolol HCL*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. VIII, 1, 1-16.

- [3] Erizal, 2006. Imobilisasi Eugenol pada Matriks TMPT dengan Induksi Radiasi. *Jurnal Materi Indonesia*. 124-128
- [4] Erizal, Hasan, R., Silvia, S., dan Rahayu, C., 1997. *Pengekangan Obat dalam Matriks Hidrogel PVA-ko-NIPAAm Hasil Radiasi*. Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi. 121-128
- [5] Kaetsu, I. 1979. *Immobilization of Enzymes by Radiation*, *Radiat. Phys. Chem.*, 14, 595-602.
- [6] Kumakura, M., and Kaetsu, I., 1984. *Behaviour of Enzymes Activity in Immobilized Proteases*, *Int. J. Biochem*, 16 (11), 1159-1161
- [7] Darwin, D. 2013. *Pengembangan Bahan Biomaterial untuk Pemakaian di Bidang Kesehatan dengan Teknik Radiasi Pengion*. Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN. Hal: 251-275.
- [8] Abdelrahman, T & H. Newton. 2011. *Wound Dressing: Principles and Practice. Surgery*. 29: 491-495.
- [9] Rajendran, S. & S. C. Anand. 2002. *Development in Medical Textile*. The Textile Institute. Manchester.
- [10] Yoshii, F. et al..1999. *Electron Beam Crosslinked PEO and PEO/PVA Hydrogels for Wound Dressing. Radiation Physics and Chemistry*. 55: 133-138.
- [11] A Ibnu Atoillah. 2007. *Studi Kasus Lama Waktu Koagulasi. Golongan Darah "B"* <http://karyailmiah.um.ac.ad/index.php/biologi/article/view/934>.
- [12] Haryanto & Nunuk A. N..2015. *Polietilena Oksida – Polietilena Glikol Dimetakrilat Hidrogel Film untuk Aplikasi Pembuatan Pembalut Luka*. LPPM Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- [13] Gupta, B. *Textile-based smart wound dressings*. *Indian Journal of Fibre &Textile Research*. 2010. 35: 175-6
- [14] Abidin, A. Z. Et al., 2012. *Hidrogel Mikrokomposit Berbasis Polivinil Alkohol/ Bentonit*. LIPI.
- [15] Erizal, 2009. *Sintesis Hidrogel Polietilen Oksida Berikatan Silang dan Imobilisasi Antibiotik dengan Cara Induksi Radiasi Gamma untuk Aplikasi Pembalut Luka*. PAIR,BATAN.