

KESAN AGEN TAUT SILANG KE ATAS SIFAT FIZIKAL DAN TERMA KOPOLIMER AKRILAMIDA
(EFFECT OF CROSSLINKER ON PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF ACRYLAMIDE COPOLYMER)

KHOO LI HONG¹, SHARINA ABU HANIFAH^{1,2*}

¹Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia
43600, UKM Bangi, Selangor, MALAYSIA

²Polymer Research Center, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor,
MALAYSIA

*Corresponding author: sharina@ukm.edu.my

ABSTRAK

Membran poli(akrilamida-ko-etilmetakrilat) (P(AAm-ko-EMA)) tertaut silang dengan agen taut silang, *N,N*-metilenabisakrilamida (MBA) telah berjaya disintesis. Kajian ini dilakukan untuk menilai dan membandingkan sifat fizikal dan terma kopolimer berasaskan akrilamida (AAM) tertaut silang dengan kopolimer tanpa taut silang. Kaedah yang digunakan adalah fotopempolimeran. Spektrum dari analisis Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) menunjukkan kewujudan kumpulan $-CH_3$ dan C-O yang dikesan pada nombor gelombang 1351 cm^{-1} dan 1122 cm^{-1} dan ini membuktikan monomer AAM dan EMA telah berjaya dikopolimerkan. P(AAm-ko-EMA) tertaut silang pula menunjukkan puncak yang serupa dengan kopolimer kerana agen taut silang, MBA mempunyai kumpulan berfungsi yang sama dengan PAAM. Selain itu, peratus penyerapan air bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang adalah terendah disebabkan oleh ruang isipadu membran yang lebih kecil dan kurang molekul air boleh masuk ke dalam struktur rangkaian membran. Mikrograf Mikroskop Imbasan Elektron (SEM) bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang menunjukkan permukaan membran adalah lebih sekata dan mempunyai bilangan liang yang paling kurang dan bersaiz kecil. Nilai modulus Young yang tertinggi, iaitu 8671 Pa didapati daripada ujian regangan disebabkan oleh penambahan MBA dan menghasilkan membran bersifat kaku. Termogram termogravimetri (TGA) pula menunjukkan corak penguraian satu peringkat dan penurunan berat yang paling sikit, iaitu 52% untuk P(AAm-ko-EMA) tertaut silang. Membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang yang stabil menunjukkan peratus kehilangan berat yang terendah. Suhu degradasi maximum bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang adalah 390 °C. Kesimpulannya, kopolimer tertaut silang yang terhasil mempunyai sifat fizikal dan terma yang lebih baik serta berpotensi diaplikasi sebagai biosensor.

Kata kunci: kopolimer; taut silang; akrilamida; sifat fizikal; sifat terma

ABSTRACT

Cross-linked poly(acrylamide-co-ethylmethacrylate) (P(AAm-co-EMA)) membrane with crosslinker, N,N-methylenebisacrylamide (MBA) was successfully synthesized. This study was conducted to evaluate and compare the physical and thermal properties of copolymer based on acrylamide (AAM) with and without crosslinker. The method used was photopolymerization. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) spectrum shows the presence of $-CH_3$ and C-O functional groups at 1351 cm^{-1} and 1122 cm^{-1} . It has proved that AAM and EMA monomers were successfully copolymerized. The cross-linked P(AAm-co-EMA) showed identical peaks with copolymer due to similar functional groups in cross link agent, MBA and PAAM. In addition, analysis from water absorption showed the lowest percentage of water absorption obtained from cross-linked P(AAm-co-EMA) membrane because of the small space volume of membrane and less water molecules can enter the network structure of membrane. Scanning Electron Microscope (SEM) micrograph showed the surface of the membrane was more uniform and has less small pores for cross-linked P(AAm-co-EMA). The highest value of Young's modulus for cross-linked P(AAm-co-EMA) was obtained from tensile test at 8671 Pa. It is caused by the addition of MBA and proved that the membrane is stiff. Thermogravimetric analysis (TGA) thermogram showed single stage decomposition and the weight loss was 52% for cross-linked P(AAm-co-EMA) membrane. Stable cross-linked P(AAm-co-EMA) membrane showed the lowest percentage of weight loss. Maximum temperature of thermal degradation for cross-linked P(AAm-co-EMA) was 390 °C. Overall, cross-linked copolymer has good physical and thermal properties and has potential to be applied as biosensor.

Keywords: copolymer; cross-link; acrylamide; physical property; thermal property

PENGENALAN

Taut silang adalah ikatan kovalen yang menghubungkan rantaian satu polimer kepada yang lain [1]. Biasanya penggunaan taut silang adalah untuk memberikan perbezaan dalam sifat fizikal polimer dan memperkuat polimer. Agen taut silang memberi banyak kesan terhadap sifat fizikal dan terma polimer. Contohnya, apabila agen taut silang seperti sulfur ditambah kepada molekul getah yang panjang, fleksibiliti berkurangan, kekerasan ditingkatkan dan titik peleburan juga meningkat. Apabila tegasan dikenakan kepada getah tertaut silang, getah itu akan berbalik semula kepada bentuk asal dengan sendiri selepas dibebaskan daripada tegasan.

Kebanyakan kajian telah dijalankan ke atas monomer akrilik kerana monomer akrilik membentuk monomer yang paling versatil untuk membentuk polimer akrilat berdasarkan struktur asid akrilik, yang terdiri daripada kumpulan vinil dan asid karboksilik hujung [2]. Monomer akrilik juga boleh digunakan untuk menyediakan polimer dengan tegar, fleksibel, ionik, bukan ionik, hidrofobik atau sifat-sifat hidrofilik. Terdapat beberapa jenis monomer akrilik seperti akrilat, metakrilat, akrilamida dan akrilonitril. Kebanyakan penyelidik menggunakan monomer metakrilat untuk menghasilkan kopolimer disebabkan oleh ikatan ganda dua yang sangat reaktif dalam kumpulan vinil.

Akrilamida (AAM) merupakan pepejal berhablur berwarna putih yang tidak berbau. Monomer AAM mempunyai formula molekul C_3H_5NO dan suhu peleburan pada 84.5 °C [3]. Pada suhu bilik, AAM bersifat boleh larut dalam air. Suhu peralihan kaca (T_g) bagi poliakrilamida (PAAM) adalah 165 °C [4]. PAAM mengalami penguraian pada suhu 175-300 °C. Kumpulan berfungsi terdapat pada struktur akrilamida adalah amina dan kumpulan berfungsi karbonil (C=O) [5]. Sesetengah AAM juga digunakan dalam pembuatan pewarna dan pembuatan monomer lain [6].

Ko-pempolimeran adalah penghasilan polimer yang mengandungi dua atau lebih jenis monomer. Dalam kajian ini, membran kopolimer yang terdiri daripada monomer akrilamida (AAM) dan etil metakrilat (EMA) dihasilkan dengan agen taut silang, *N,N*-metilenabisakrilamida (MBA). Membran PAAM, P(AAm-ko-EMA) dan PAAM tertaut silang juga dihasilkan. Kajian ini adalah dilakukan untuk menilai dan membandingkan sifat fizikal dan terma kopolimer tertaut silang dengan kopolimer tanpa taut silang. Komposisi MBA yang digunakan dalam kajian ini adalah dari 0.1 wt% hingga 0.25 wt% seperti pernah dilaporkan oleh Jamaludin et al. [7]. Membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang dihasilkan melalui tindak balas fotopempolimeran. Kaedah ini dipilih dalam kajian ini kerana tidak melibatkan sebarang pelarut serta merupakan proses penukaran monomer cecair kepada membran pepejal kopolimer yang cepat di samping mempunyai sifat kimia dan mekanikal yang baik [8]. Monomer-monomer yang terlibat dalam pempolimeran membentuk kopolimer P(AAm-ko-EMA) tertaut silang adalah monomer AAM yang bersifat hidrofilik serta monomer EMA yang mempunyai sifat hidrofobik. AAM bersifat hidrofilik yang berpunca dari kumpulan berfungsi amida manakala sifat hidrofobik etil metakrilat adalah berpunca dari kumpulan berfungsi ester.

BAHAN DAN KAEDAH

Bahan kimia dan peralatan

Bahan kimia yang digunakan dalam kajian ini adalah akrilamida (AAm), etil metakrilat (EMA), *N,N*-metilenabisakrilamida (MBA) dan 2,2-dimetoksi-2-fenilasetofenon (DMPP). Membran PAAm, P(AAm-*ko*-EMA), PAAm tertaut silang dan P(AAm-*ko*-EMA) tertaut silang dihasilkan dengan unit UV, model 196-5251. Membran sampel dicirikan dengan analisis Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR), model Perkin Elmer Spectrum 400. Permukaan membran dianalisis dengan Leo 1450 VP Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM). Tegasan dan terikan membran sampel diujikan dengan menggunakan Instron/ 5566 Mesin Ujian Universal (UTM) dan sifat terma pula dicirikan dengan Analisis Termogravimetri (TGA), model Mettler Toledo (TGA/SDTA 851e).

Penyediaan membran PAAm, P(AAm-*ko*-EMA), PAAm tertaut silang dan P(AAm-*ko*-EMA) tertaut silang

Membran PAAm dengan nisbah 100 % AAm dan P(AAm-*ko*-EMA) dengan nisbah berat AAm:EMA 9:1 telah dihasilkan dengan kaedah fotopempolimeran. PAAm tertaut silang dan P(AAm-*ko*-EMA) tertaut silang juga dihasilkan dengan 0.1 wt% hingga 0.25 wt% agen taut silang, MBA. Sebanyak 1.6 wt % DMPP digunakan sebagai pemula foto dalam fotopempolimeran. Dalam kajian ini, 50 µL larutan dititiskan ke atas penutup plastik bersaiz kecil dan diletakkan di atas piring petri kaca dan dimasukkan ke dalam unit UV. Larutan di atas penutup terdedah kepada sumber cahaya UV selama 10 minit dan dialirkan dengan nitrogen. Membran sampel telah dihasilkan.

Ujian penyerapan air

Sampel polimer yang terhasil dari proses fotopempolimeran terlebih dahulu ditimbang dan kemudian direndam di dalam 5 mL air suling pada suhu bilik. Setelah lima minit rendaman, sampel tersebut dikeluarkan dari air suling dan kelembapan pada sampel dihilangkan menggunakan tisu. Berat sampel selepas rendaman kemudiannya ditimbang dan direkodkan. Eksperimen dilakukan sebanyak tiga kali dan purata peratus penyerapan air ditentukan.

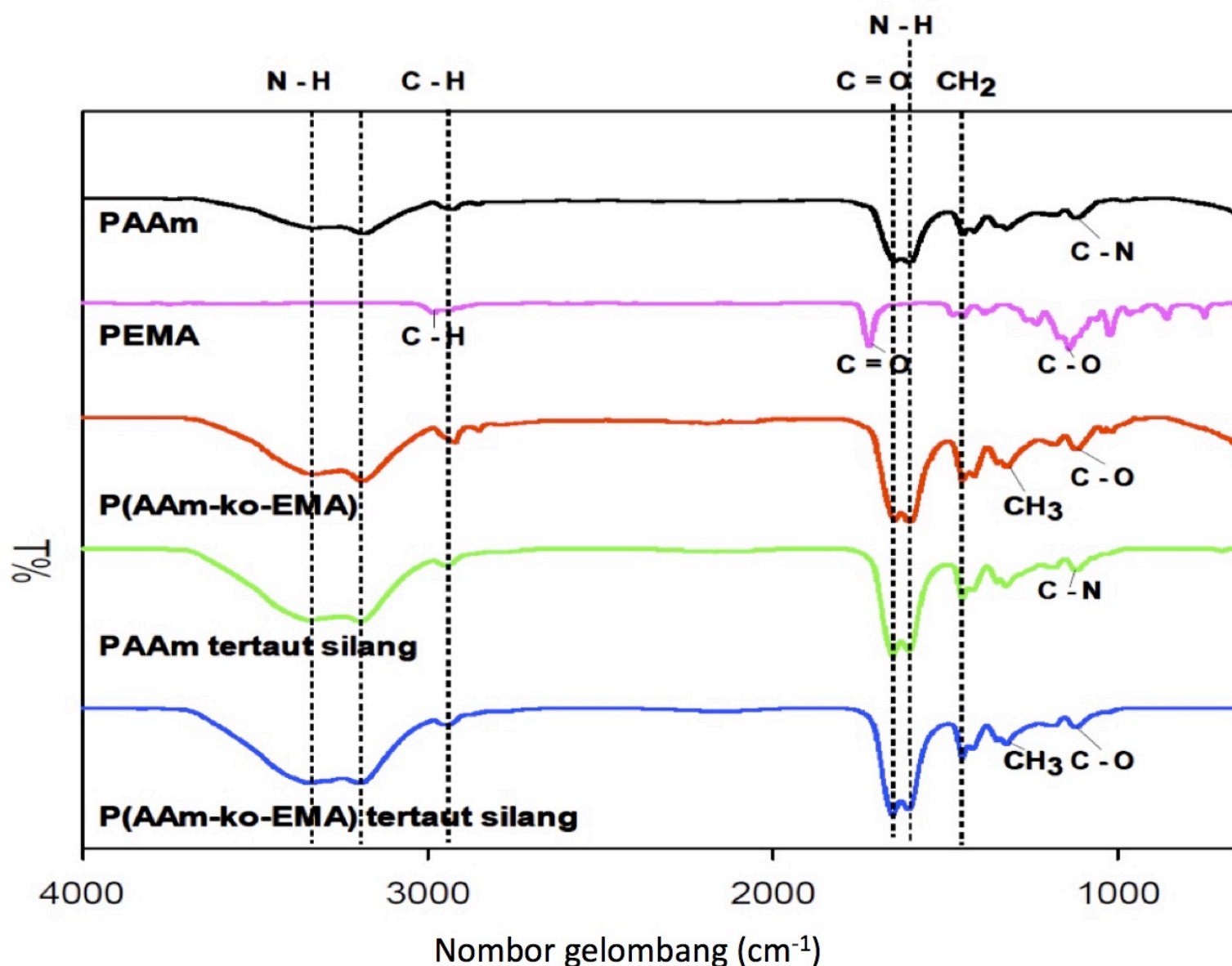
$$\text{Peratusan penyerapan air (\%)} = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100\% \quad (1)$$

Persamaan di atas digunakan untuk mengira peratus penyerapan air. Di mana W_f adalah berat sampel basah dan W_i adalah berat sampel kering [9].

HASIL DAN PERBINCANGAN

Analisis Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR)

Lima jenis sampel telah dianalisis menggunakan analisis FTIR. Sampel tersebut adalah PAAm, PEMA, PAAm tertaut silang, P(AAm-*ko*-EMA) dan P(AAm-*ko*-EMA) tertaut silang. Analisis ini dijalankan untuk mengenal pasti kumpulan berfungsi terdapat pada struktur membran. Berdasarkan spektrum yang diperolehi dalam Rajah 1 didapati terdapat perbezaan kumpulan berfungsi pada PAAm, PEMA dan P(AAm-*ko*-EMA). PAAm tertaut silang dan P(AAm-*ko*-EMA) tertaut silang didapati tiada perbezaan kumpulan berfungsi bagi perbandingan dengan PAAm dan P(AAm-*ko*-EMA).



Rajah 1 Spektrum FTIR bagi PAAm, PEMA, P(AAm-*ko*-EMA), PAAm tertaut silang dan P(AAm-*ko*-EMA) tertaut silang

Berdasarkan perbandingan spektrum PAAm, PEMA dan P(AAm-*ko*-EMA), terdapat perbezaan dari segi pertambahan kumpulan berfungsi dalam membran poli(AAm-*ko*-EMA). Kewujudan kumpulan -CH₃ yang dikesan pada nombor gelombang 1351 cm⁻¹ namun

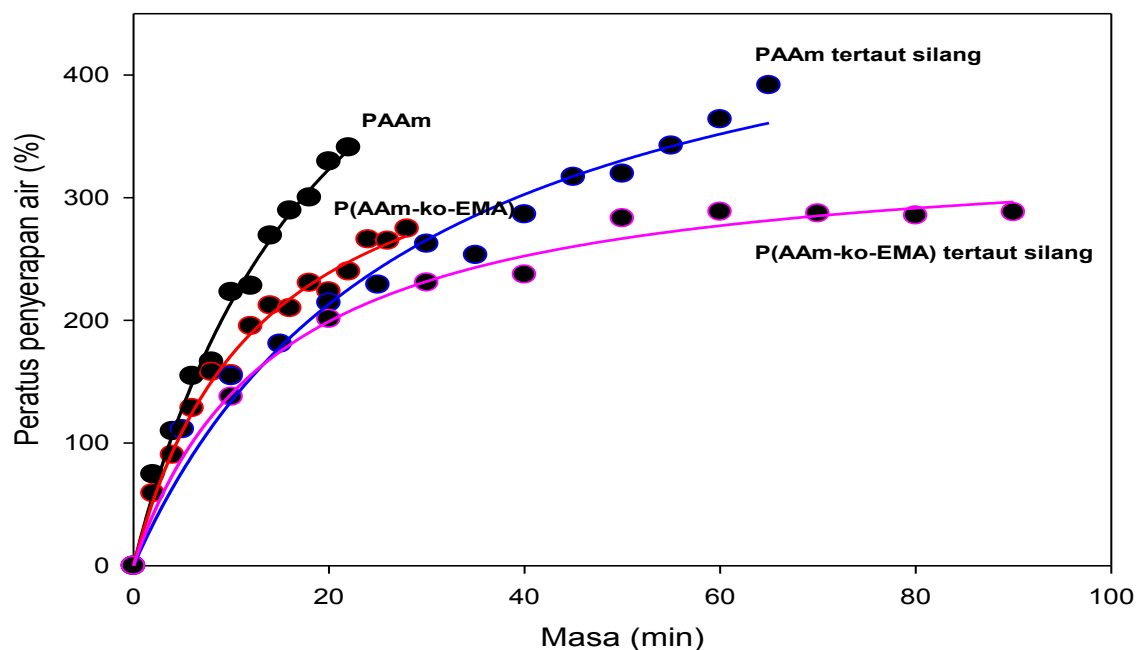
tidak terdapat pada spektrum bagi poli(AAm). Kumpulan ini wujud pada sebatian etilmetakrilat dan penambahan monomer EMA pada monomer AAm juga menyebabkan kehadiran kumpulan berfungsi lain iaitu C-O yang dapat dikesan pada puncak serapan 1122 cm^{-1} . Hal ini membuktikan monomer AAm dan EMA telah berjaya dikopolimerkan dalam tindak balas pempolimeran walaupun penambahan monomer etilmetakrilat adalah pada nisbah yang kecil.

Selain itu, didapati tiada perbezaan kumpulan berfungsi pada PAAm dan PAAm tertaut silang tetapi terdapat sedikit perbezaan pada nombor gelombang di mana sebenarnya nombor gelombang ini telah teranjak selepas ditaut silang. Penjelasan ini juga boleh digunakan dalam perbandingan dua spektrum merah dan biru bagi P(AAm-ko-EMA) dan P(AAm-ko-EMA) tertaut silang. Hal ini menunjukkan kumpulan agen taut silang yang digunakan, iaitu *N,N*-metilenabisakrilamida (MBA) mempunyai kumpulan berfungsi yang sama dengan PAAm. Hal ini juga boleh menjelaskan proses taut silang pada PAAm tertaut silang telah berlaku secara fizikal.

Spektrum kelima-lima jenis polimer kelihatan sama kecuali PEMA, ini adalah kerana peratus monomer AAm yang digunakan dalam kajian adalah tinggi iaitu melebihi 50%. Begam et al. telah melaporkan pembentukan homopolimer lebih banyak berbanding rantaian kopolimer apabila amaun peratus monomer yang digunakan melebihi 50% [9]. Jumlah ko-monomer yang bersesuaian adalah perlu untuk menghasilkan rantaian kopolimer yang lebih banyak dan peratus taut silang secara fizikal yang mencukupi.

Kajian penyerapan air

Empat polimer disintesis iaitu PAAm, P(AAm-ko-EMA), PAAm tertaut silang dan P(AAm-ko-EMA) tertaut silang. Kajian ini dilakukan untuk mengetahui peratus serapan air bagi empat jenis polimer tersebut (Rajah 2).



Rajah 2 Penyerapan air bagi PAAm, P(AAm-ko-EMA), PAAm tertaut silang dan P(AAm-ko-EMA) tertaut silang dalam air suling

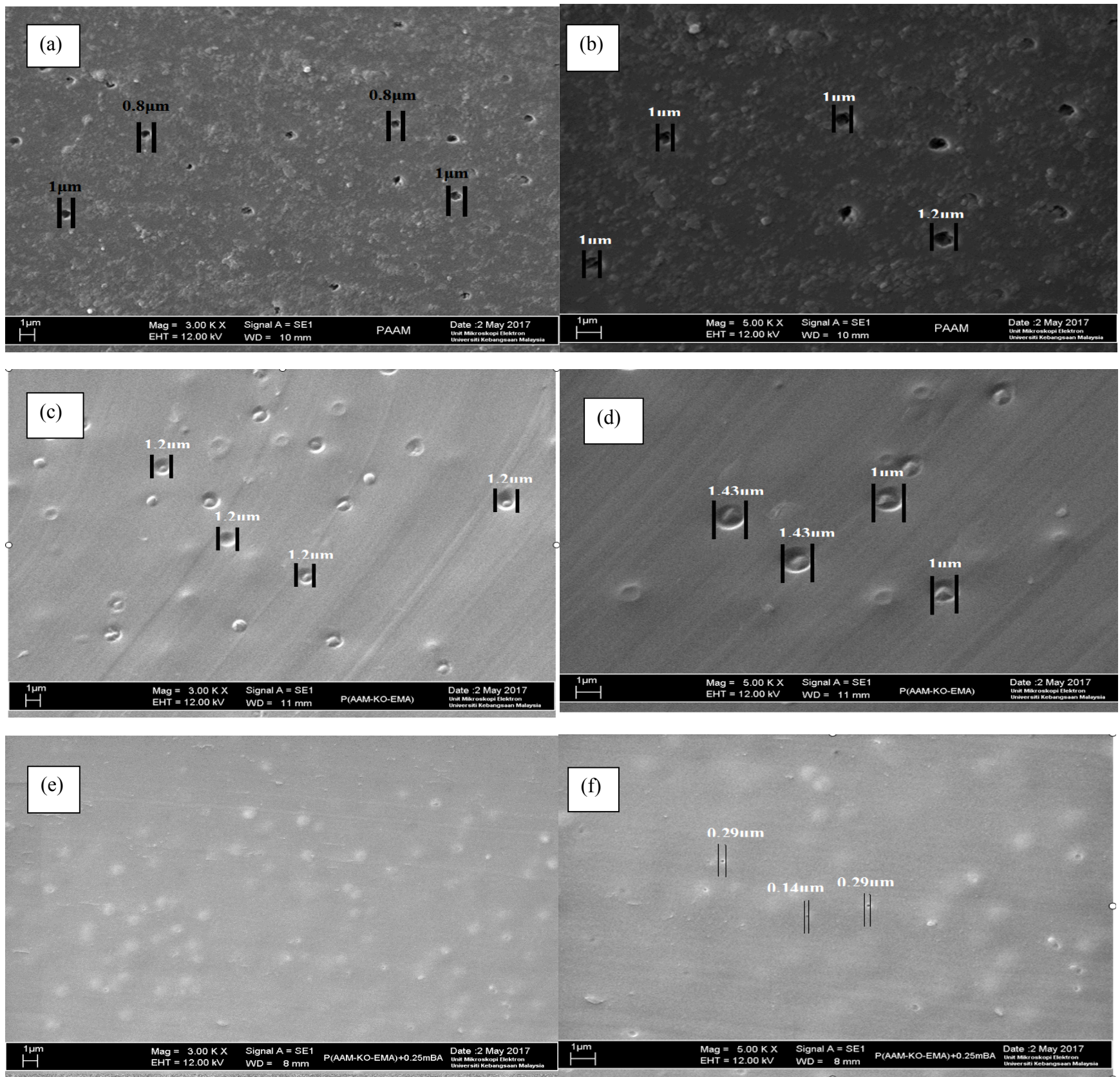
Polimer yang mencapai keseimbangan dalam jangka masa yang pendek adalah membran PAAm. Hal ini menunjukkan membran PAAm mempunyai sifat kehidrofilikan yang tinggi dan mudah melarut dalam air suling. Membran P(AAm-ko-EMA) pula mencapai keseimbangan dalam jangka masa yang lebih panjang berbanding dengan membran PAAm disebabkan oleh penambahan monomer yang bersifat hidrofobik dapat mengawal sifat penyerapan air bagi kopolimer. Selain itu, membran PAAm tertaut silang dan P(AAm-ko-EMA) tertaut silang mengambil masa yang lebih panjang untuk mencapai keseimbangan. Ini adalah kerana penambahan agen taut silang, MBA telah memberi perubahan besar kepada sifat fizikal dan sifat penyerapan air. Taut silang menyebabkan rantaian dan struktur polimer menjadi lebih kukuh dan kuat.

Peratus penyerapan air bagi membran PAAm adalah lebih tinggi kerana AAm bersifat hidrofilik iaitu sifat sukakan air berpunca dari kumpulan berfungsi amina manakala peratus penyerapan air bagi membran P(AAm-ko-EMA) pula rendah kerana kehadiran EMA dalam membran yang bersifat hidrofobik iaitu sifat tidak sukakan air berpunca dari kumpulan berfungsi ester. Malah, membran yang menggunakan 100 % akrilamida mempunyai peratusan penyerapan air yang lebih tinggi kerana kehadiran kumpulan berfungsi amina iaitu N-H dalam rantai molekul. Hal ini meningkatkan bilangan ion H^+ dalam membran dan membantu meningkatkan kadar penyerapan. Dalam kajian Nesrinne et al. di mana kajian penyerapan air dijalankan ke atas poli(akrilamida) dan poli(akrilamida-ko-akrilik asid) mendapati peratus penyerapan air tertinggi adalah ke atas poli(AAm-ko-AAc) dalam nisbah akrilamida:asid akrilik ialah 40:60 [5]. Hal ini kerana kehadiran monomer ionik iaitu asid akrilik meningkatkan kadar penyerapan air ke dalam matrik polimer.

Peratus penyerapan air bagi membran PAAm tertaut silang adalah rendah tetapi bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang adalah terendah. Rantaian polimer tertaut silang yang stabil menyebabkan ruang isipadu membran menjadi lebih kecil dan kurang molekul air boleh memasuki struktur rangkaian membran semasa penyerapan air [7]. Berdasarkan kajian [10], kepekatan agen taut silang yang tinggi akan membentuk bilangan rantaian polimer yang besar dengan banyak titik taut silang untuk pembentukan rangkaian tambahan. Begam et al. juga melaporkan bahawa apabila kepekatan agen taut silang, MBA meningkat, ketumpatan taut silang akan meningkat [11]. Hal ini menyebabkan jarak antara titik taut silang menjadi pendek dan daya rintangan rengangan rantai akan meningkat. Oleh itu, kepekatan taut silang yang tinggi memberikan sifat penyerapan air yang rendah.

Analisis mikroskop pengimbas elektron (SEM)

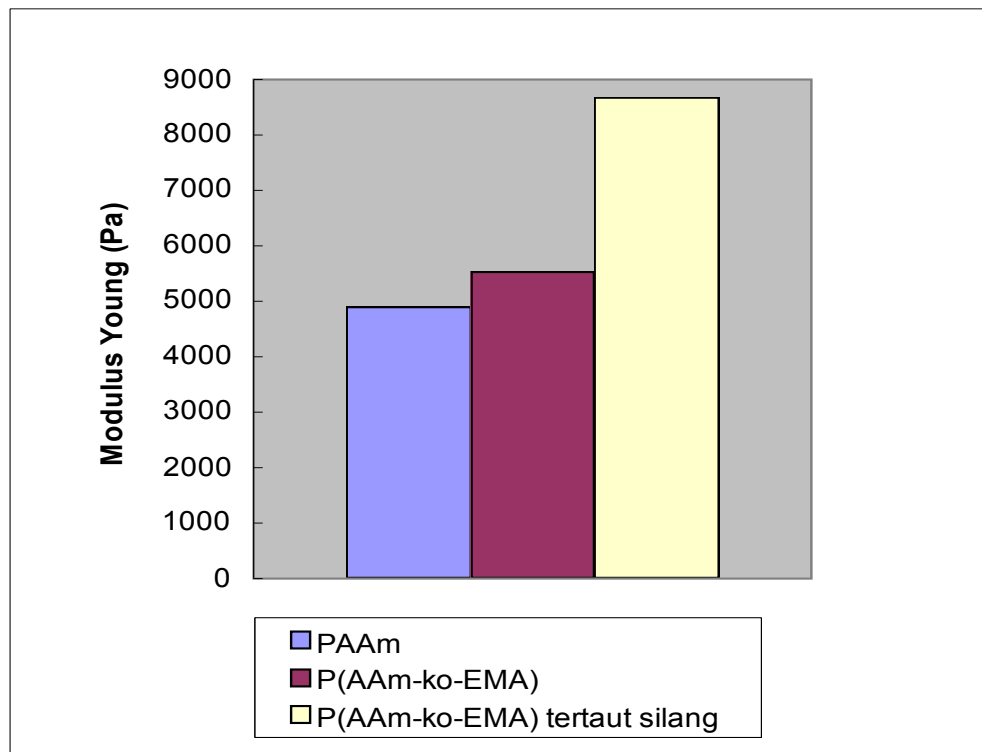
Tiga polimer dianalisis dengan menggunakan analisis SEM, iaitu membran PAAm, P(AAm-ko-EMA) dan P(AAm-ko-EMA) tertaut silang. Kajian ini dijalankan untuk menganalisis sifat morfologi permukaan sampel membran, keporosan sampel membran dan saiz keporosannya. Pembentukan liang dihasilkan oleh PAAm yang bersifat hidrofilik. Berdasarkan Rajah 3, permukaan membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang dalam mikrograf adalah lebih licin dan sekata berbanding dengan membran PAAm dan P(AAm-ko-EMA). Saiz purata liang bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang dalam Rajah 3(f) adalah paling kecil berbanding dengan membran PAAm dan P(AAm-ko-EMA) iaitu $0.24\ \mu\text{m}$. Lim et al. melaporkan bahawa darjah taut-silang yang tinggi dan rangkaian membran yang tumpat akan mempunyai saiz poros yang kecil dan menghadkan ruang di dalam jaringan membran [12]. Membran PAAm mempunyai bilangan liang yang paling banyak berbanding membran P(AAm-ko-EMA) dan membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang. Pemerhatian serupa juga telah dibuat oleh penyelidik lain iaitu PAAm mempunyai rangkaian struktur berliang [13]. Rangkaian struktur berliang akan membenarkan bahan larut meresap melalui struktur polimer. Membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang pula mempunyai bilangan liang yang paling kurang berbanding dengan membran PAAm dan membran P(AAm-ko-EMA). Penambahan EMA dan agen taut silang mengisi ruang antara rangkaian dan memadatkan lagi rangkaian struktur polimer.



Rajah 3. Mikrograf membran (a) PAAM, (b) P(AAm-ko-EMA) dan (c) P(AAm-ko-EMA) tertaut silang pada pembesaran $3000 \times$, mikrograf membran (d) PAAM, (e) P(AAm-ko-EMA) dan (f) P(AAm-ko-EMA) tertaut silang pada pembesaran $5000 \times$

Ujian regangan

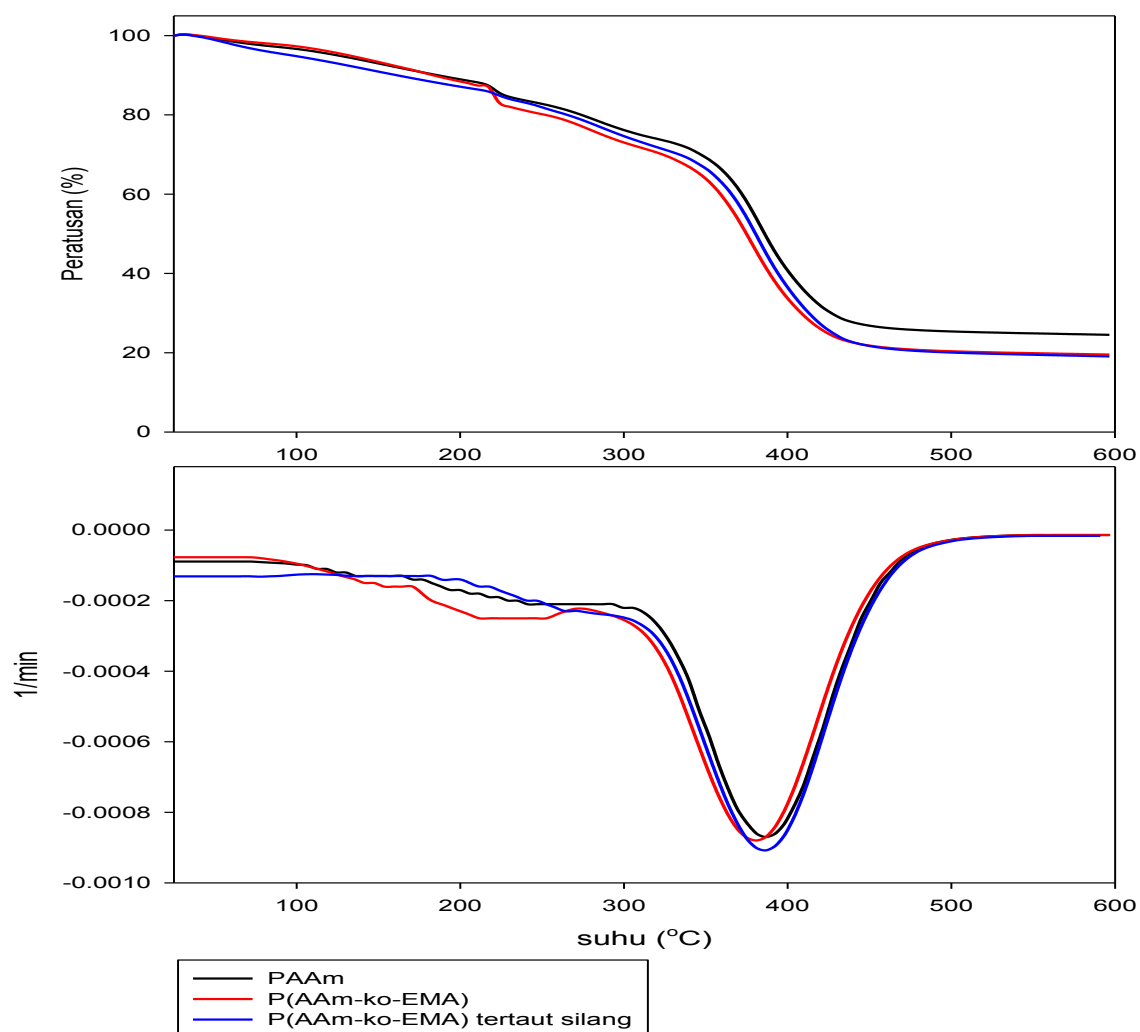
Ujian regangan telah dijalankan untuk mengukur kekuatan regangan, mampatan dan kekuatan ricih membran polimer yang dihasilkan. Modulus Young merupakan ukuran untuk kekakuan bagi bahan kenyal. Berdasarkan Rajah 4, membran PAAM mempunyai nilai modulus Young yang terendah iaitu 4900 Pa disebabkan oleh sifat elastiknya. Wang et al. [14] melaporkan bahawa hidrogel PAAM patah apabila ujian regangan dijalankan walaupun PAAM mempunyai nilai terikan yang tinggi. Membran P(AAm-ko-EMA) pula mempunyai nilai modulus Young yang sederhana, iaitu 5544 Pa. Hal ini disebabkan oleh penambahan EMA memberi struktur yang lebih tegar dan struktur P(AAm-ko-EMA) menjadi lebih kuat. Selain itu, membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang mempunyai nilai modulus Young yang tertinggi, iaitu 8671 Pa. Agen taut silang, MBA memberi struktur yang lebih kuat dan tegar kepada P(AAm-ko-EMA). Oleh itu, P(AAm-ko-EMA) tertaut silang mempunyai ketahanan yang baik dan merupakan membran yang bersifat tidak elastik disebabkan oleh penambahan MBA. Modulus Young meningkat sehingga maksimum apabila agen taut silang meningkat [15]. Apabila sedikit agen taut silang, MBA telah ditambahkan, nilai modulus Young bagi gel meningkat walaupun nilai tegasan dan terikan menurun [16].



Rajah 4 Graf bar bagi nilai modulus Young ketiga-tiga kopolimer yang terhasil

Analisis termogravimetri (TGA)

Kajian ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan tiga jenis sampel polimer terhadap suhu. Termogram membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang dalam Rajah 5 menunjukkan corak penguraian satu peringkat. Membran PAAm dan P(AAm-ko-EMA) pula menunjukkan corak penguraian dua peringkat. Ini menunjukkan membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang mempunyai kestabilan terma yang lebih baik. Penurunan berat membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang paling sedikit berbanding dengan PAAm dan P(AAm-ko-EMA) iaitu 52%. Hal ini kerana membran yang stabil menunjukkan peratus kehilangan berat yang rendah. Maksimum suhu degradasi terma bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang pada 390°C didapati pada puncak endotermik. Hal ini disebabkan oleh penguraian terma atau pemecahan ikatan hidrogen antara molekul bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang [17]. Maksimum suhu degradasi terma bagi membran tersebut adalah tertinggi berbanding dengan PAAm dan P(AAm-ko-EMA) kerana suhu degradasi yang tinggi diperlukan untuk memutuskan rantaian membran.



Rajah 5. Termogram TGA dan DTG bagi membran PAAm, P(AAm-ko-EMA) dan (PAAm-ko-EMA) tertaut silang

KESIMPULAN

P(AAm-ko-EMA) dan P(AAm-ko-EMA) tertaut silang dengan agen taut silang, MBA berjaya dihasilkan. Analisis FTIR menunjukkan kewujudan kumpulan $-CH_3$ dan $C-O$ yang dikesan pada nombor gelombang 1351 cm^{-1} dan 1122 cm^{-1} dan hal ini membuktikan monomer AAm dan EMA telah berjaya dikopolimerkan. Hasil P(AAm-ko-EMA) tertaut silang pula menunjukkan penyerapan getaran yang berlaku pada kumpulan berfungsi adalah sama dengan kopolimer kerana proses menaut silang berlaku secara fizikal. Selain itu, hasil kajian penyerapan air mendapati peratus penyerapan air bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang adalah lebih rendah apabila berbanding dengan membran PAAm dan P(AAm-ko-EMA). Mikrograf SEM bagi membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang menunjukkan permukaan membran adalah lebih sekata dan mempunyai bilangan liang yang paling sedikit dan bersaiz kecil. Membran P(AAm-ko-EMA) tertaut silang turut mempunyai nilai modulus Young yang tertinggi iaitu 8671

Pa daripada ujian regangan. Termogram TGA menunjukkan penguraian satu peringkat dengan suhu penguraian paling tinggi direkodkan pada 390 °C.

PENGHARGAAN

Ribuan terima kasih diucapkan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) kerana menyediakan ruang dan instrumen untuk menjalankan kajian ini. Penghargaan juga diberikan kepada Kementerian Pengajian Tinggi melalui geran FRGS/1/2016/TK07/UKM/02/2 dan UKM melalui geran GUP-2016-061.

RUJUKAN

1. Ahluwalia, V.K. & Mishra, A. 2008. *Polymer Science: A Textbook*. Baco Raton: Ane Book India.
2. Dzulkurnain, N.A., Hanifah, S.A., Ahmad, A. & Mohamed, N.S. 2015. Characterization of random methacrylate copolymers synthesized using free-radical bulk polymerization method. *International Journal Electrochemistry Science* 10: 84-92.
3. Alger, M. 1997. *Polymer Science Dictionary*. Edisi ke-2. London: Chapman & Hall.
4. Ibeh, C.C. 2014. *Thermoplastic Materials: Properties, Manufacturing Methods and Applications*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC.
5. Nesrinne, S. & Djamel, A. 2013. Synthesis, characterization and rheological behavior of pH sensitive poly(acrylamide-co-acrylic acid) hydrogels. *Arabian Journal of Chemistry*.
6. Guilhermea, M.R., Reisa, A.V., Takahashia S.L., Rubiraa, A.F., Feitosab, J.P., & Muniz, E.C. 2005. Synthesis of a novel superabsorbent hydrogel by copolymerization of acrylamide and cashew gum with a glycidyl methacrylate. *Carbohydrate Polymer* 61: 464-471.
7. Jamaludin, S. & Hashim, S. 2011. Swelling behaviours and characterization of oil palm empty fruit bunch- graft-poly(acrylamide) superabsorbent polymer composites. *Sains Malaysiana* 40(7): 781-787.
8. Graziola, F., Girardi, F., Bauer, M., Maggio, R.D., Rovezzi, M., Bertagnolli, H., Sada, C., Rosetto, G. & Silvia, G. 2008. UV-photopolymerisation of poly(methyl-methacrylate) based inorganic-organic hybrid coatings and bulk samples reinforced with methacrylate-modified zirconium oxocluster. *Polymer* 49: 4332-4343.
9. Begam, T., Nagpal, A.K. & Singhal, R. 2004. A study on copolymeric hydrogels based on acrylamide-methacrylate and its modified vinyl-amine- containing derivative. *Designed Monomers and Polymers* 7(4): 311-330.
10. Wu, J., Wei, Y., Lin, J. & Lin, S. 2003. Study on starch-graft-acrylamide / mineral powder superabsorbent composite. *Polymer* 44: 6513-6520.
11. Begam, T., Nagpal, A.K. & Singhal, R. 2006. Synthesis of poly(acrylamide-co-methyl methacrylate) chemically cross-linked hydrogels and their application in controlled release of model drugs. *Designed Monomers and Polymers* 9(5): 477-490.
12. Lim, W.P., Ashri, A., Bakar, M.A., Wan Ahmad, W.Y. & Mat Lazim, M.A.S. 2016. Penyediaan dan pencirian hidrogel berasaskan kanji/akrilamida daripada Ubi. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 20(1): 157-170.
13. Li, S.F. & Li, X.L. 2008. Synthesis, characterization and evaluation of semi-IPN hydrogels consisted of poly(methacrylic acid) and guar gum for colon-specific drug delivery. *Polymers Advanced Technologies* 19(5): 371-376.
14. Wang, H.L., Feng, H.H., Zheng, T.T. & Wang, X.Z. 2016. Poly(acrylamide)-MWNTs Hybrid Hydrogel with Extremely High Mechanical Strength. *De Gruyter Open* 14: 150-157.
15. Evingür, G.A. and Pekcan, Ö. 2015. Elastic study of PAAm-κC composite prepared in various κC content and measured at several temperature. *Acta Physica Polonica A* 128(3): 331-335.
16. He, C.C., Zheng, Z.W., Zhao, D., Liu, J.Q., Ouyang, J. & Wang, H.L. 2013. Tough and super-resilient hydrogels synthesized by using peroxidized polymer chains as polyfunctional initiating and cross-linking center. *The Royal Society of Chemistry*.
17. Mahendra, K.T., Shrikant, P., Rakesh, K.M. & Snehasis, J. 2015. Characterization of thermal and physical properties of biofield treated acrylamide and 2-chloroacetamide. *Organic Chemistry Current Research* 4(3).