

## PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN MEMBRAN NANOKOMPOSIT POLI(AKRILAMIDA-*ko*-ETILMETAKRILAT) DAN POTENSINYA SEBAGAI SENSOR KIMIA

(PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLY(ACRYLAMIDE-*co*-ETHYLMETHACRYLATE) NANOCOMPOSITE MEMBRANE AND ITS POTENTIAL AS CHEMICAL SENSOR)

NIK NUR AIN NIK RAMLI<sup>1</sup>, SHARINA ABU HANIFAH<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, MALAYSIA

<sup>2</sup>Pusat Penyelidikan Polimer, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, MALAYSIA

\*Pengarang utama: sharina@ukm.edu.my

### ABSTRAK

Kajian ini dijalankan bertujuan untuk membandingkan sifat fizikal poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat) P(AAm-*ko*-EMA) dengan poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat) diperkuat wayar nano perak (AgNW). Kajian ini juga bertujuan untuk menilai sifat elektrokimia membran dengan pelbagai komposisi wayar nano perak. Kopolimer akrilamida (AAm) dan etilmetakrilat (EMA) disintesis menggunakan kaedah fotopolimeran. Sintesis membran P(AAm-*ko*-EMA) dilakukan selama 10 minit menggunakan cahaya ultralembayung (UV) dan dengan kehadiran gas nitrogen. Bahan pemula iaitu 2,2-dimetoksi-2-fenilasetofenon (DMPP) digunakan. Membran yang terhasil dianalisis menggunakan analisis penyerapan air, Spektroskopi Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR), Mikroskop Imbasan Elektron Pancaran Medan (FESEM) dan analisis elektrokimia menggunakan voltametri berkitar (CV). Hasil analisis mendapati peratus penyerapan air bagi membran PAAm lebih tinggi berbanding P(AAm-*ko*-EMA). Analisis spectrum FTIR dapat mengesan serapan dengan nombor gelombang 3192 cm<sup>-1</sup> membuktikan kehadiran N-H dan kewujudan kumpulan C=O pada 1650 cm<sup>-1</sup>. Kehadiran kumpulan berfungsi C-O juga berjaya dikesan pada nombor gelombang 1124 cm<sup>-1</sup>. Analisis FESEM pula mendapati P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat wayar nano perak lebih kasar dan kurang berongga berbanding dengan P(AAm-*ko*-EMA). Berdasarkan analisis elektrokimia menggunakan CV, puncak pengoksidaan P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat 0.06% wayar nano perak yang disalut pada elektrod bercetak skrin (SPE) adalah lebih tinggi iaitu 132.91 µA berbanding P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat 0.02% wayar nano perak dan P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat 0.04% wayar nano perak iaitu masing-masing 1.27 µA dan 2.73 µA.

**Kata kunci:** akrilamida (AAm), membran, wayar nano perak, sensor kimia

### ABSTRACT

The aim of this study was to compare the physical properties of poly(acrylamide-*co*-ethylmethacrylate) with silver nanowires-reinforced poly(acrylamide-*co*-ethylmethacrylate). This study also aims at investigating the electrochemical properties of the membrane with various composition of silver nanowires. Copolymer of acrylamide (AAm) and ethyl methacrylate (EMA) was synthesized by using photopolymerization. P(AAm-*co*-EMA) membrane was synthesized for 10 minutes using ultraviolet (UV) under nitrogen gas. The photoinitiator used was 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone (DMPP). The produced membrane was analyzed using swelling test, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) and electrochemical analysis using cyclic voltammetry (CV). The water absorption percentage of PAAm was higher than P(AAm-*co*-EMA). Analysis of FTIR spectrum detected the presence of N-H group at wave number of 3192 cm<sup>-1</sup> and the presence of C=O was detected at 1650 cm<sup>-1</sup>. The presence of C-O group was also detected at wave number 1124 cm<sup>-1</sup>. FESEM micrograph showed silver nanowires-reinforced P(AAm-*co*-EMA) membrane was rough and less pores compared to poly(AAm-*co*-EMA) membrane. Based on the electrochemical analysis using CV, the oxidation peak produced by screen printed electrode (SPE) coated with 0.06% silver nanowire-reinforced P(AAm-*co*-EMA) was higher ie 132.91 µA as compared with 0.02% silver nanowire-reinforced P(AAm-*co*-EMA) and 0.04% silver nanowires-reinforced P(AAm-*co*-EMA) namely 1.27 µA and 2.73 µA, respectively

**Keywords:** acrylamide (AAm), membrane, silver nanowire, chemical sensor.

### PENGENALAN

Nanoteknologi merupakan salah satu cabang sains yang menumpukan kepada jirim-jirim yang bersaiz di antara 1 hingga 100 nanometer (1 nm = 10<sup>-9</sup> meter). Beberapa tahun kebelakangan ini, bidang ini telah berkembang dengan mantap dari segi sains dan teknologi. Bahan seperti logam yang bersaiz nano mempunyai sifat-sifat yang sangat berbeza dengan logam yang berada dalam bentuk pukal. Sebagai contoh, perak dalam bentuk pukal bersifat tidak toksik manakala perak yang bersaiz nano mampu menjadi pembunuh kepada virus. Sifat seperti kekonduksian elektrik, warna, kekuatan dan berat berubah apabila berada pada skala nano. Bahan pada skala nano juga mempunyai nisbah luas permukaan terhadap isipadu yang besar berbanding dengan bahan berbentuk pukal. Fenomena ini telah mewujudkan rangkaian produk komersil yang sangat luas termasuklah logam, seramik, polimer, kosmetik, pelindung matahari, alat elektronik dan juga cat [1].

Akrilamida (AAm) merupakan sebatian kimia yang larut dalam air, etanol, eter dan kloroform dengan formula kimianya C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO. Jisim molekul AAm 71.08 g/mol manakala takat lebur AAm adalah 84.5 °C. AAm terdiri daripada kumpulan berfungsi amida dan kumpulan berfungsi karbonil [2]. Kopolimer akrilamida adalah polimer larut air yang tidak larut dalam pelarut organik. Kopolimer akrilamida mempunyai kelebihan dalam pelikatan, penggumpalan, pelekatan dan penurunan rintangan [3]. Salah satu bidang utama aplikasi poliakrilamida adalah dalam proses pemisahan pepejal-cecair. Poliakrilamida dengan berat molekul yang tinggi digunakan dalam industri pemprosesan mineral. Selain itu, poliakrilamida juga digunakan dalam aplikasi seperti penyesuaian tanah dan kawalan hakisan, pengurangan seretan, pemprosesan gula dan sebagai bahan tambahan dalam kosmetik [4].

Etilmetakrilat (EMA) merupakan sebatian organik dengan formula kimia C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>. Monomer EMA merupakan cecair tidak berwarna dengan jisim molekul 100.121 g/mol dan berketumpatan 940 kg/m<sup>3</sup>. Takat didih EMA ialah 101 °C manakala takat lebur adalah -48 °C. Suhu peralihan kaca (T<sub>g</sub>) bagi poli(etilmetakrilat) adalah 66 °C. Monomer metakrilat terdiri daripada kumpulan alkil, kumpulan ester akrilat dan kumpulan berfungsi karbonil bertindak balas dengan pelbagai jenis monomer dan molekul berfungsi menjadikan rantai polimer fleksibel [5]. Pengubahsuaian yang melibatkan penambahan resin poli(etilmetakrilat) ke dalam sesuatu bahan boleh meningkatkan sifat mekanik bahan tersebut.

Wayar nano perak (AgNW) merupakan logam yang mempunyai kekonduksian elektrik, sifat terma dan sifat optik yang baik. Wayar nano perak mempunyai kekonduksian elektrik yang tinggi iaitu 6.3 x 10<sup>7</sup> S/m berbanding logam lain seperti kuprum dengan nilai kekonduksian elektrik iaitu ~6.0 x 10<sup>7</sup> S/m dan aluminium dengan nilai kekonduksian elektrik iaitu ~3.5 x 10<sup>7</sup> S/m. Wayar nano perak juga mempunyai kekonduksian terma yang tinggi iaitu 429 W/(m.K). Kebiasaannya wayar nano perak mempunyai diameter yang nipis iaitu kurang daripada 100 nm. Sifat penelusan (*percolation*) yang tinggi walaupun mempunyai nilai peratusan wayar nano perak rendah.

Dalam kajian ini, tindak balas antara kedua-dua monomer akrilamida (AAm) dan etilmetakrilat (EMA) membentuk P(AAm-*ko*-EMA) menggunakan kaedah fotopolimeran. Bahan fotopemula yang digunakan dalam kajian ini adalah 2,2-dimetoksi-2-fenilasetofenon (DMPP). Kopolimer yang terhasil dicampurkan dengan bahan konduktif iaitu wayar nano perak dengan komposisi yang berbeza iaitu 0.02 %, 0.04 % dan 0.06 % [6]. Kajian ini dilakukan untuk membandingkan sifat fizikal poli(akrilamida-*ko*-

etilmetakrilat) dengan poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat) diperkuat wayar nano perak dan untuk menilai sifat elektrokimia berdasarkan komposisi wayar nano perak.

## BAHAN DAN KAEDAH

### Bahan kimia dan peralatan

Bahan kimia yang digunakan dalam kajian ini adalah akrilamida (AAM), etilmetakrilat (EMA), 2,2-dimetoksi-2-fenilasetofenon (DMPP) dan wayar nano perak (AgNW). Membran PEMA, PAAM, P(AAm-*ko*-EMA) dan P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat wayar nano perak dengan komposisi yang berbeza dihasilkan menggunakan unit UV, model 196-5251. Sampel membran dicirikan menggunakan analisis Spektroskopi Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR), model Perkin Elmer Spectrum BX. Morfologi membran dianalisis menggunakan Mikroskopi Imbasan Elektron Jenis Pancaran Medan (FESEM), model SUPRA 55VP. Analisis elektrokimia dijalankan melalui kaedah voltametri berkisar menggunakan Potensiostat Elektrod Bercetak Skrin, model Autolab PGSTAT 12.

### Penyediaan membran PAAM, P(AAm-*ko*-EMA) dan P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat AgNW

Membran PAAM dengan komposisi 100% AAM, membran PEMA dengan komposisi 100% EMA dan membran P(AAm-*ko*-EMA) dengan nisbah berat AAM:EMA iaitu 9:1 dihasilkan melalui proses fotopolimeran. Bahan pemula foto dalam kajian ini iaitu DMPP digunakan sebanyak 1.6% wt%. P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat AgNW dengan komposisi AgNW iaitu 0.02 %, 0.04 % dan 0.06 % juga dihasilkan melalui proses fotopolimeran. Dalam kajian ini, 50  $\mu$ L larutan dititiskan ke atas penutup plastik bersaiz kecil dan dimasukkan ke dalam unit UV selama 10 minit di bawah aliran gas nitrogen. Membran yang terhasil kemudian dianalisis.

### Ujian penyerapan air

PAAM dan poli(AAm-*ko*-EMA) yang dihasilkan, masing-masing direndam ke dalam 5 mL air suling pada suhu bilik (25°C). Setelah 2 minit rendaman, membran tersebut dikeluarkan dari air suling dan kelembapan pada membran dihilangkan menggunakan tisu. Berat membran sebelum rendaman dan selepas rendaman ditimbang dan direkodkan. Eksperimen dilakukan sebanyak tiga kali dan purata peratus pembengkakan ( $n=3$ ) direkodkan.

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

Peratus penyerapan air dikira menggunakan persamaan di atas, di mana  $W_f$  adalah berat filem pada keadaan penyerapan keseimbangan dan  $W_i$  adalah berat filem kering [7].

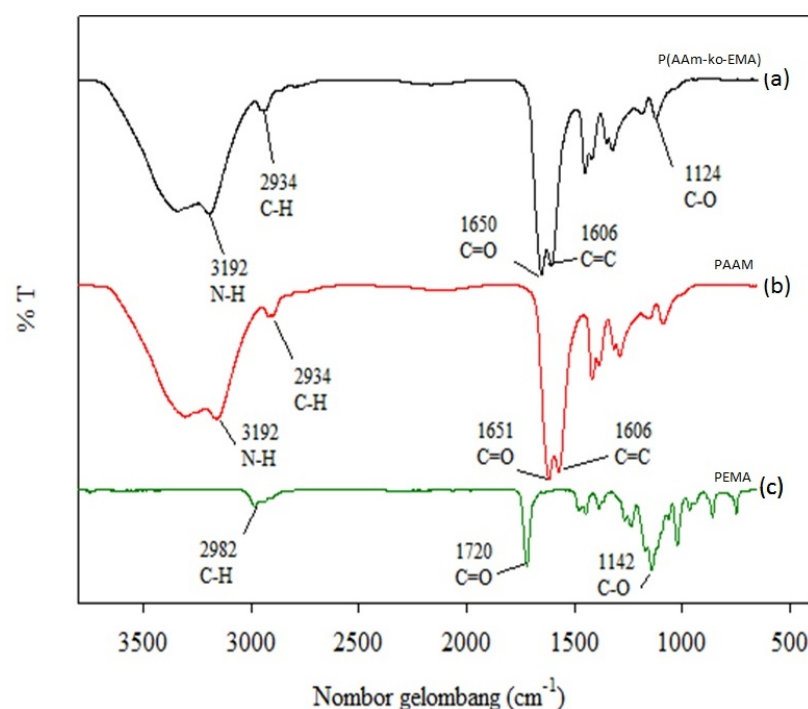
### Penyediaan untuk analisis elektrokimia

Kalium ferosianat ( $K_4Fe(CN)_6$ ) dengan kepekatan 1 M disediakan sebagai larutan stok. Sebanyak 5 mL penimbal fosfat dengan kepekatan 0.1 M pada pH 7 dihasilkan. Kedua-dua larutan tersebut dibiarkan selama 2 minit untuk mendapatkan larutan yang homogen. Poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat) diperkuat wayar nano perak pada elektrod skrin bercetak (SPE) digunakan sebagai elektrod kerja, elektrod Ag/AgCl sebagai elektrod rujukan dan elektrod platinum digunakan sebagai elektrod pelengkap. Sebelum digunakan, ketiga-tiga elektrod dibersihkan menggunakan air suling untuk menyingkirkan sebarang bendasing. Seterusnya, elektrod tersebut disusun membentuk segi tiga dan analisis elektrokimia akan dijalankan. [8]. Elektrolit yang telah digunakan dalam kajian ini adalah penimbal fosfat manakala analit yang digunakan adalah kalium ferosianat ( $K_4Fe(CN)_6$ ) dengan kepekatan 500 mM. Kadar imbasan yang digunakan adalah 0.05 Vs<sup>-1</sup>.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### Analisis Spektroskopi Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR)

Analisis spektroskopi FTIR dijalankan bagi mengenalpasti kumpulan berfungsi yang hadir dalam poli(etilmetakrilat), poliakrilamida dan poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat). Sebelum ketiga-tiga polimer ini dianalisis melalui pencirian FTIR, polimer tersebut disintesis menggunakan kaedah fotopolimeran. Spektrum FTIR bagi polimer tersebut ditunjukkan dalam Rajah 1.



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

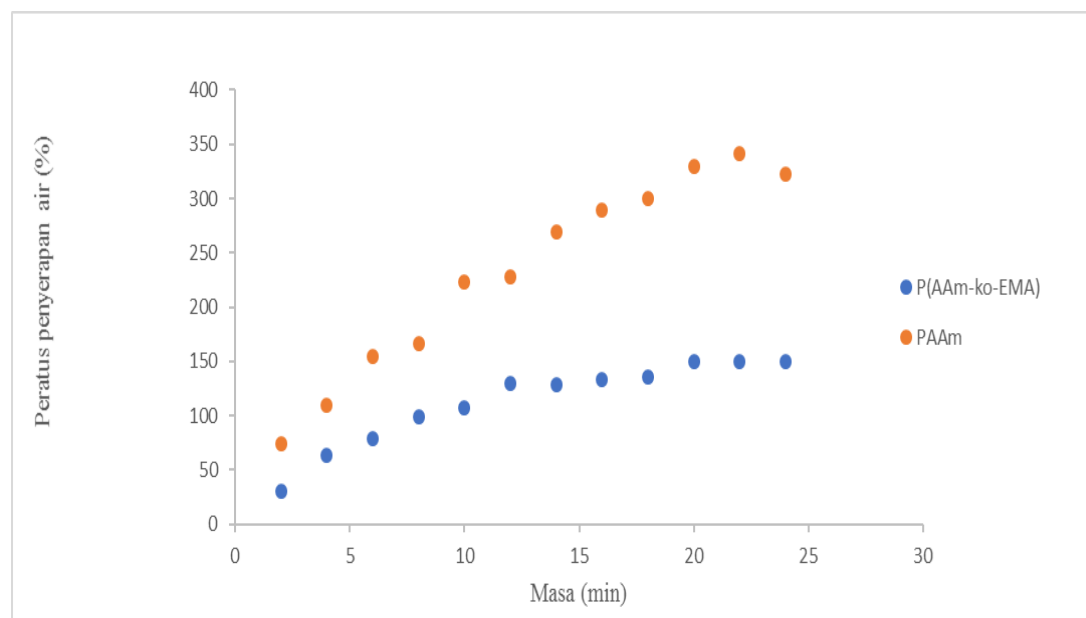
Rajah 1 (b) menunjukkan spektrum inframerah bagi poli(akrilamida) yang terhasil. Berdasarkan spektrum di atas, kumpulan karbonil (C=O) dan amina (N-H) masing-masing berjaya dikesan pada nombor gelombang 1651 cm<sup>-1</sup> dan 3192 cm<sup>-1</sup>. Kumpulan N-H yang dikesan merupakan punca kepada sifat kehidrofilikan poliakrilamida. Walau bagaimanapun, kumpulan C=C masih lagi wujud iaitu pada nombor gelombang 1606 cm<sup>-1</sup>. Hal ini mungkin disebabkan oleh proses pemolimeran rawak semasa proses fotopolimeran dilakukan [9].

Rajah 1 (c) pula menunjukkan spektrum inframerah bagi poli(etilmetakrilat). Berdasarkan spektrum tersebut, puncak serapan dikenalpasti pada nombor gelombang 1720 cm<sup>-1</sup> dan 1142 cm<sup>-1</sup>. Masing-masing merupakan puncak bagi kumpulan berfungsi C=O dan C-O. Kumpulan berfungsi C-H juga dikenalpasti pada nombor gelombang 2982 cm<sup>-1</sup>. Manakala Rajah 1 (a)

pula merupakan spektrum inframerah bagi kopolimer poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat). Puncak pada nombor gelombang  $3192\text{ cm}^{-1}$  membuktikan kehadiran N-H yang terhasil daripada kehadiran monomer akrilamida dan kewujudan kumpulan C=O pada nombor gelombang  $1650\text{ cm}^{-1}$ . Kehadiran kumpulan berfungsi C-O juga berjaya dikesan pada nombor gelombang  $1124\text{ cm}^{-1}$ . Kumpulan berfungsi ini hadir disebabkan oleh kehadiran etilmetakrilat di dalam kopolimer tersebut. Kumpulan berfungsi C=C juga dikesan pada kopolimer tersebut pada nombor gelombang  $1606\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan bahawa kopolimer tersebut mengalami proses pempolimeran rawak semasa proses fotopempolimeran dijalankan. Hal ini menunjukkan bahawa monomer akrilamida dan etil metakrilat berjaya disintesis menggunakan proses fotopempolimeran walaupun dengan nisbah berat monomer etilmetakrilat yang sangat kecil iaitu 9:1. Hasil analisis mendapati bahawa hanya PEMA bertindak balas dengan lengkap. Manakala bagi PAAm dan P(AAm-*ko*-PEMA) masing-masing tidak bertindak balas dengan lengkap kerana analisis mendapati bahawa masih terdapat kumpulan C=C yang wujud pada nombor gelombang  $1606\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini mungkin disebabkan oleh proses pempolimeran rawak semasa proses fotopempolimeran dilakukan.

### Ujian serapan air

Rajah 2 menunjukkan graf peratus penyerapan air bagi membran poliakrilamida dan poli(akrilamida-*ko*-etilmetakrilat) melawan masa pada suhu yang ditetapkan iaitu suhu bilik. Dalam kajian ini, membran PAAm dan P(AAm-*ko*-EMA) disintesis menggunakan kaedah fotopempolimeran. PAAm disintesis menggunakan 100% AAm manakala P(AAm-*ko*-EMA) disintesis menggunakan nisbah berat AAm terhadap EMA iaitu nisbah 9:1. Kedua-dua membran ini direndam ke dalam air suling dengan isipadu 5 mL. Berat membran sebelum rendaman dan selepas rendaman direkodkan.



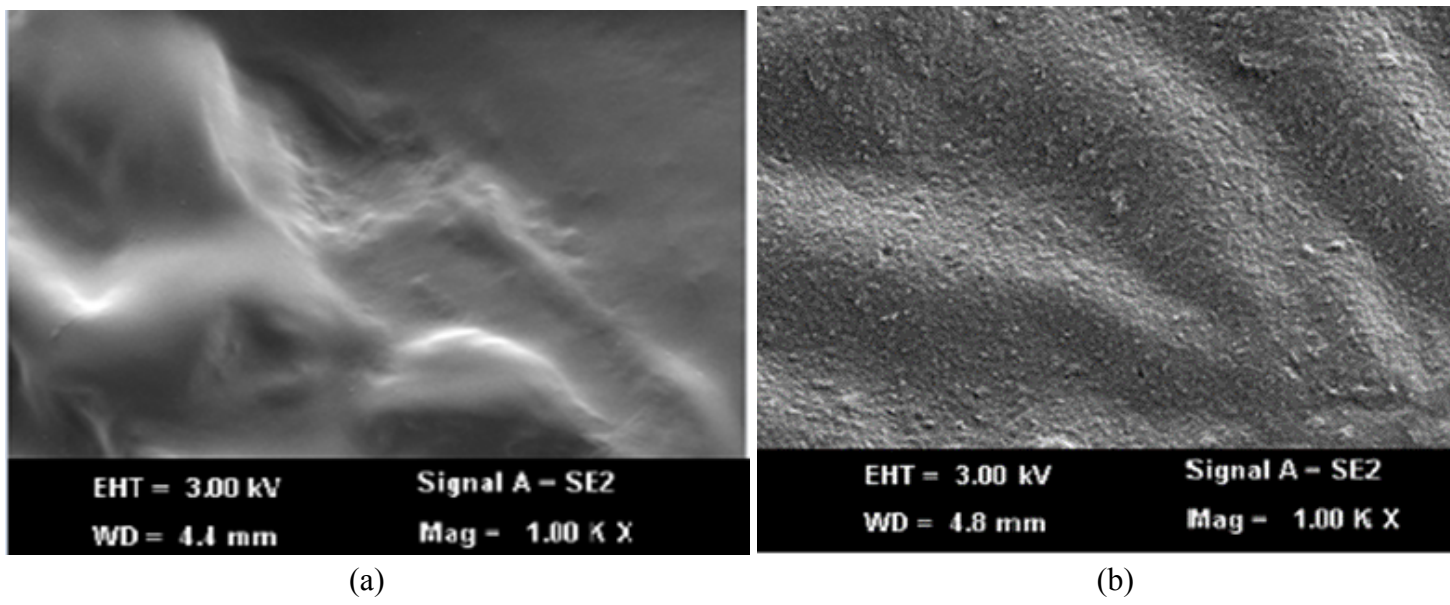
Rajah 2 Profil penyerapan air bagi PAAm dan P(AAm-*ko*-EMA)

Hasil kajian mendapati bahawa peratus penyerapan air bagi membran PAAm lebih tinggi berbanding dengan peratus penyerapan air bagi membran P(AAm-*ko*-EMA). Hal ini disebabkan oleh kehadiran EMA dalam membran P(AAm-*ko*-EMA). EMA bersifat hidrofobik iaitu tidak suka air disebabkan oleh kehadiran kumpulan berfungsi ester. Manakala AAm bersifat hidrofilik iaitu suka air disebabkan oleh kehadiran kumpulan berfungsi amina. Walaupun dengan menggunakan nisbah EMA terhadap AAm yang sedikit iaitu 1:9, membran tersebut mampu mengubah peratusan pembengkakan air suling. Kajian melaporkan bahawa proses pempolimeran yang berlaku dengan kehadiran PEMA mampu mengurangkan kadar penyerapan air [10]. Hasil kajian juga mendapati bahawa, masa yang diambil untuk membran P(AAm-*ko*-EMA) mencapai keseimbangan adalah 20 minit. Jika dibandingkan dengan membran PAAm, pada masa ke 22 minit mencapai tahap maksimum penyerapan dan kemudian melarut di dalam air. Oleh itu dapat disimpulkan bahawa membran P(AAm-*ko*-EMA) yang disintesis menggunakan proses fotopempolimeran berjaya dihasilkan.

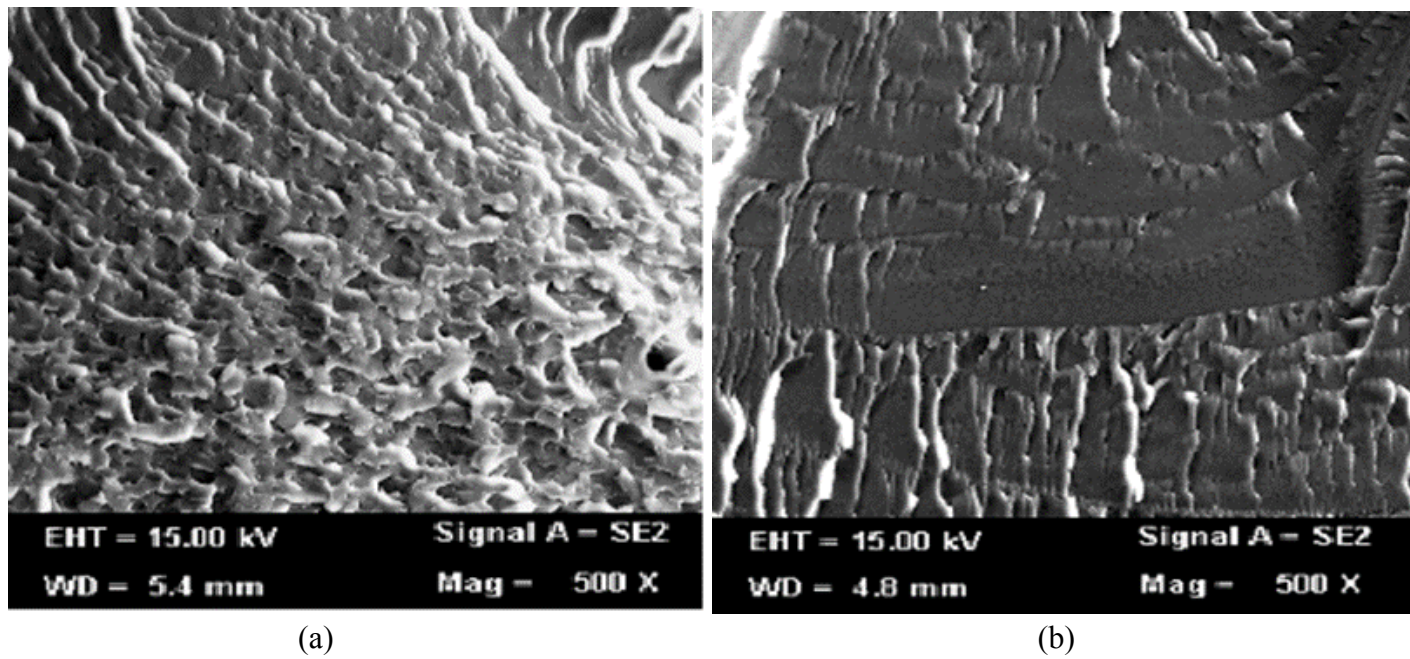
### Analisis Mikroskopi Imbasan Elektron Jenis Pancaran Medan (FESEM)

Rajah 3 menunjukkan mikrograf bagi membran P(AAm-*ko*-EMA) dengan nisbah berat AAm terhadap EMA iaitu 9:1 dan mikrograf bagi membran P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat wayar nano perak dengan jumlah wayar nano perak sebanyak 0.06 %. Analisis dilakukan pada 1000 kali pembesaran. Berdasarkan rajah tersebut, permukaan membran P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat wayar nano perak lebih kasar berbanding P(AAm-*ko*-EMA) tanpa wayar nano perak. Hal ini disebabkan oleh penambahan wayar nano perak ke dalam membran kopolimer [11]. Kajiannya melaporkan bahawa kehadiran wayar nano perak mengubah morfologi permukaan disebabkan oleh kehadiran bahan tak organik di dalam matriks bahan organik. Melalui pemerhatian pada mikrograf juga, membran P(AAm-*ko*-EMA) dilihat sekata. Perkara ini mungkin disebabkan oleh proses percampuran yang homogen berlaku di antara monomer akrilamida dan monomer etil metakrilat semasa proses fotopempolimeran dilakukan.

Rajah 4 pula menunjukkan mikrograf keratan rentas bagi membran P(AAm-*ko*-EMA) dan membran P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat wayar nano perak. Kedua-dua membran ini dipecahkan menggunakan cecair nitrogen untuk mendapatkan hasil keratan rentas. Keratan rentas P(AAm-*ko*-EMA) mempunyai banyak rongga-rongga berbanding dengan P(AAm-*ko*-EMA) diperkuat wayar nano perak. Hal ini disebabkan oleh kehadiran wayar nano perak ini mengubah keratan rentas membran tersebut dengan mengisi rongga pada P(AAm-*ko*-EMA). Panjang wayar nano perak adalah kira-kira 5-15  $\mu\text{m}$  dengan diameter sekitar 60 nm. Dijangka rongga-rongga yang terhasil ialah sekitar 0.5 – 1.5  $\mu\text{m}$ . Oleh itu, wayar nano perak mampu mengisi rongga-rongga bagi P(AAm-*ko*-EMA) yang bersaiz pukal dengan sepadan. Ikatan yang kuat antara matriks polimer dan wayar nano perak menyekat pembentukan rongga-rongga [12].

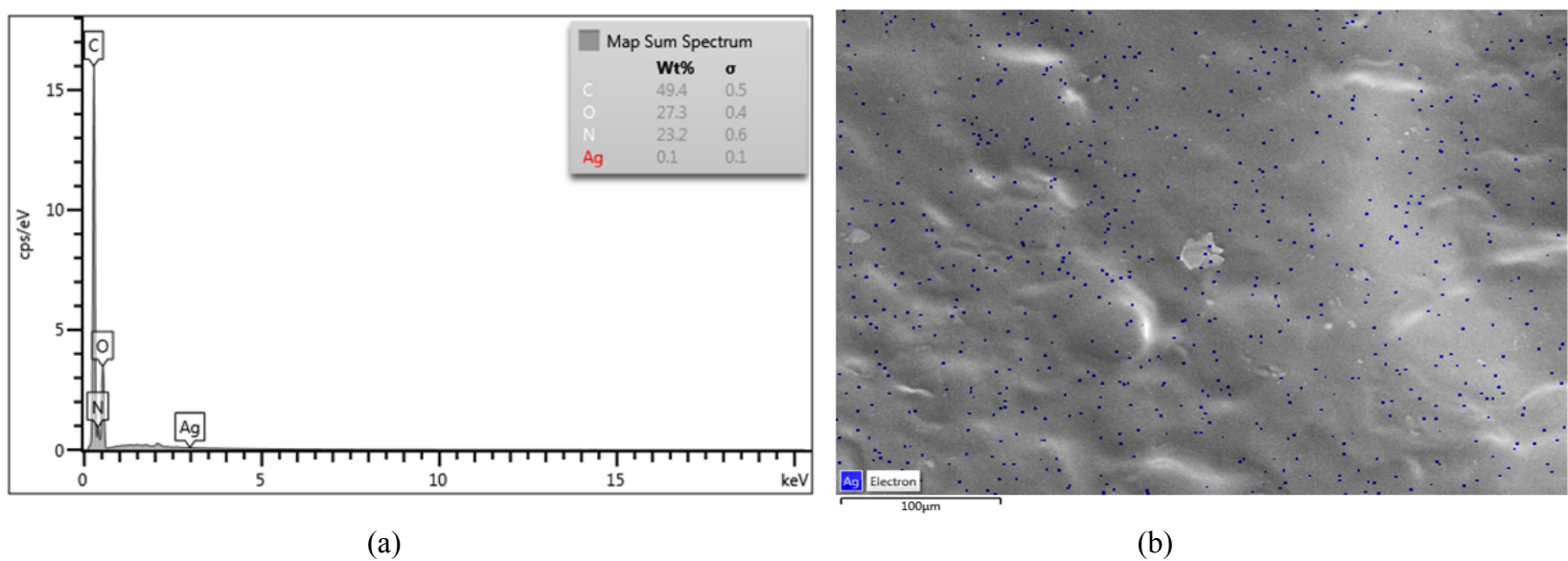


**Rajah 3** Mikrograf permukaan pada pembesaran 1000 × (a) P(AAm-ko-EMA) (b) P(AAm-ko-EMA) diperkuat AgNW



**Rajah 4** Mikrograf keratan rentas pada skala pembesaran 500 × (a) P(AAm-ko-EMA) (b) P(AAm-ko-EMA) diperkuat AgNW

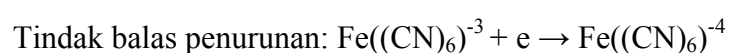
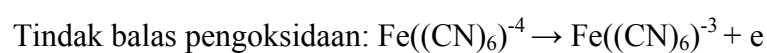
Spektrum EDX bagi P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.06 % wayar nano perak pada Rajah 5(a) dilakukan bagi mengenalpasti peratus wayar nano perak yang hadir dalam P(AAm-ko-EMA). Hasil mendapati bahawa penambahan wayar nano perak sebanyak 0.06 % ke dalam kopolimer P(AAm-ko-EMA) adalah sama dengan nilai yang diberikan oleh spektrum EDX. Rajah 5(b) menunjukkan taburan bagi wayar nano perak di dalam kopolimer P(AAm-ko-EMA). Melalui pemerhatian, wayar nano perak mempunyai taburan yang sekata dalam kopolimer tersebut. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa pencampuran kopolimer dan wayar nano perak sangat baik dan menghasilkan matriks yang homogen. Kesimpulannya, gabungan polimer dan bahan konduktif berjaya dihasilkan menggunakan proses fotopolimeran.

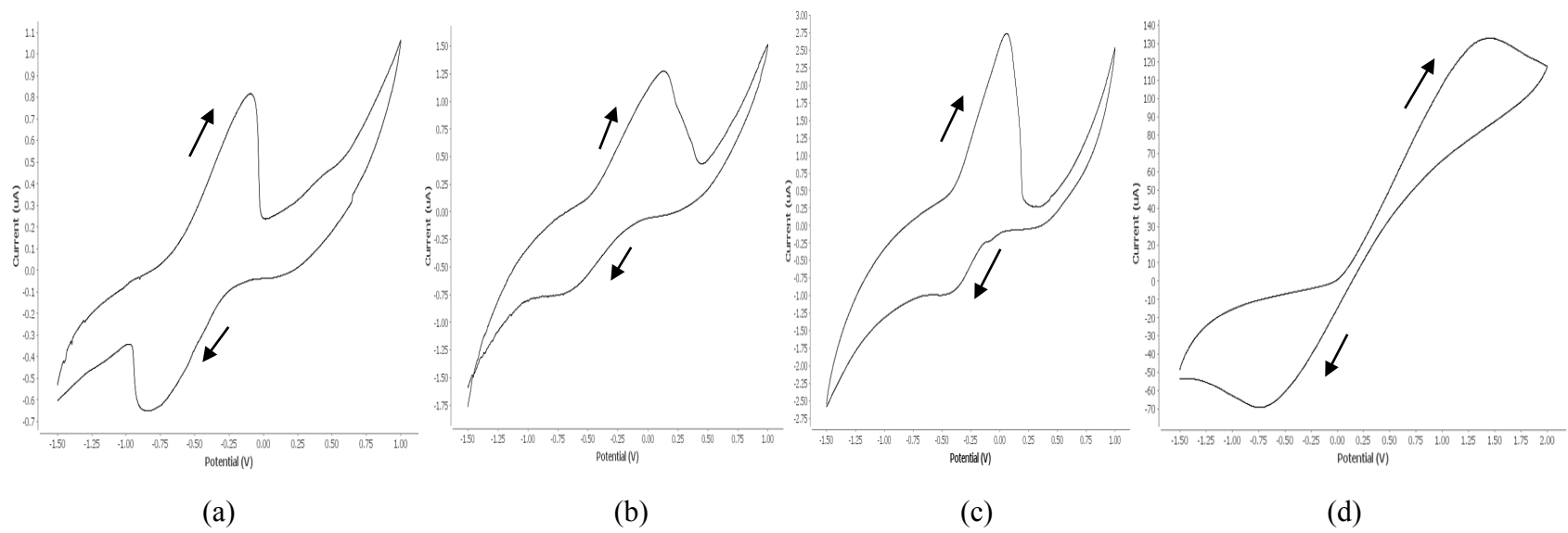


**Rajah 5** (a)Spektrum EDX bagi P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.06 % AgNW (b) Taburan bagi AgNW di dalam P(AAm-ko-EMA)

**Analisis elektrokimia**

Voltammogram yang terhasil dianalisis untuk mengetahui maklumat asas mengenai tindak balas redoks iaitu tindak balas pengoksidaan dan tindakbalas penurunan. Tindak balas pengoksidaan berlaku pada proses anodik manakala tindak balas penurunan berlaku pada proses katodik. Persamaan untuk kedua-dua tindak balas adalah seperti di bawah:





**Rajah 6** Voltammogram bagi (a) larutan bebas, P(AAm-ko-EMA) diperkuat AgNW (b) 0.02 % (c) 0.04 % (d) 0.06 %. Kepekatan  $K_4Fe(CN)_6$  ialah 500 mM dalam pH 7

**Jadual 1** Data elektrokimia yang diperolehi daripada voltammogram bagi larutan bebas dan juga P(AAm-ko-EMA) dengan komposisi AgNW yang berbeza.

Sampel	$E_{pa}$ (V)	$E_{pc}$ (V)	$I_{pa}$ ( $\mu A$ )	$I_{pc}$ ( $\mu A$ )
Larutan bebas	-0.09	-0.87	0.82	-0.65
P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.02 % AgNW	0.13	-0.72	1.27	-0.75
P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.04 % AgNW	0.06	-0.46	2.73	-0.98
P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.06 % AgNW	1.45	-0.75	132.91	-69.11

Analisis elektrokimia mendapati bahawa apabila peratusan wayar nano perak ditambah, puncak pengoksidaan teranjak sedikit ke kanan iaitu pada keupayaan elektrod yang lebih besar (Rajah 6). Analisis juga mendapati P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.06 % wayar nano perak menghasilkan puncak pengoksidaan dan penurunan yang lebih tinggi iaitu 132.91  $\mu A$  dan -69.11  $\mu A$  berbanding dengan P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.02% wayar nano dan P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.04% wayar nano perak. Satu kajian lain melaporkan bahawa dengan kehadiran monolapisan tetradekanetioliol ( $C_{14}SH$ ) dipegunkan ke atas elektrod emas telah mengubah nilai keupayaan elektrod. Nilai keupayaan elektrod bagi puncak pengoksidaan dikenalpasti berubah dari 0.18 V kepada 0.25 V manakala nilai keupayaan elektrod bagi puncak penurunan teranjak dari 0.12 V kepada 0.05 V [13]. Kesimpulannya semakin bertambah komposisi wayar nano perak, semakin tinggi puncak pengoksidaan dan puncak penurunan yang kelihatan. Kehadiran puncak pengoksidaan dan penurunan ini menunjukkan berlakunya pengaliran arus yang pada elektrod. Wayar nano perak mempunyai luas permukaan yang tinggi membolehkan pemindahan elektron berlaku dengan pantas untuk spesies redoks serta mempunyai keupayaan untuk menggalakkan proses permukaan pemangkin menghasilkan ketumpatan arus yang lebih besar berbanding dengan bahan pukal [14].

### KESIMPULAN

Hasil kajian mendapati bahawa membran P(AAm-ko-EMA) berjaya dihasilkan menggunakan nisbah AAm kepada EMA sebanyak 9:1. Hasil daripada analisis Spektroskopi Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR) mendapati bahawa AAm dan EMA berjaya dikopolimerkan disebabkan oleh kehadiran kumpulan berfungsi C-O dan N-H pada nombor gelombang 1124  $cm^{-1}$  dan 3192  $cm^{-1}$ . Analisis ujian penyerapan air mendapati bahawa kadar peratusan penyerapan air bagi membran PAAm lebih tinggi berbanding membran P(AAm-ko-EMA). Hal ini disebabkan oleh kehadiran EMA yang bersifat hidrofobik iaitu tidak suka air di dalam membran kopolimer. Analisis Mikroskopi Imbasan Elektron Jenis Pancaran Medan (FESEM) dilakukan terhadap permukaan dan keratan rentas bagi P(AAm-ko-EMA) dan P(AAm-ko-EMA) diperkuat wayar nano perak. Hasil mendapati permukaan dan juga keratan rentas bagi P(AAm-ko-EMA) diperkuat wayar nano perak lebih kasar dan kurang berongga berbanding P(AAm-ko-EMA) tanpa wayar nano perak. Hal ini dapat disimpulkan bahawa kopolimer yang dihasilkan mempunyai keserasian yang tinggi terhadap wayar nano perak. Hasil analisis elektrokimia daripada voltametri berkisar mendapati bahawa P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.06% wayar nano perak menghasilkan puncak pengoksidaan dan penurunan yang lebih tinggi iaitu 132.91  $\mu A$  dan -69.11  $\mu A$  berbanding dengan P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.02% wayar nano dan P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.04% wayar nano perak. Masing-masing mempunyai nilai puncak pengoksidaan yang berbeza iaitu 1.27  $\mu A$  dan 2.73  $\mu A$  manakala nilai puncak penurunan adalah -0.75  $\mu A$  dan -0.98  $\mu A$ . Sebagai kesimpulannya, P(AAm-ko-EMA) diperkuat 0.06% wayar nano perak adalah lebih berpotensi untuk digunakan sebagai membran dalam sensor kimia kerana mempunyai kebolehan mengalirkan arus yang lebih tinggi seterusnya boleh menghasilkan sensor kimia yang peka.

### PENGHARGAAN

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

### RUJUKAN

1. Logothetidis, S. 2012. Nanostructured Materials and Their Applications, NanoScience and Technology. Berlin. Springer.
2. Nesrinne, S., Djamel, A. 2013. Synthesis, characterization and rheological behavior of pH sensitive poly (acrylamide-co-acrylic acid) hydrogels. *Arabian Journal of Chemistry*, 1878-5352.
3. Pei, Y., Zhao, L., Du, G., Li, N., Xu, K. & Yang, H. 2016. Investigation of the degradation and stability of acrylamide-based polymers in acid solution: Functional monomer modified polyacrylamide. *Petroleum*, 4-12
4. Huang, S.-Y., Lipp, D. W. and Farinato, R. S. 2001. Acrylamide Polymers. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. 1.
5. Perez, J. P. H., Lopez-Cabarcos, E. & Lopez-Ruiz, B. 2006. The application of methacrylate-based polymers to enzyme biosensors. *Biomolecular Engineering*, 23(5):233-245.
6. Ni, K., Chen, L., Lu, G. 2008. Synthesis of silver nanowires with different aspect ratios as alcohol-tolerant catalysts for oxygen electroreduction. *Electrochemistry Communications*, 10:1027-1030.
7. Rahman, N.A, Hanifah, S.A, Zaini, A.M.N, & Ahmad, A. 2015. Modification of Chitosan for Preparation of Poly (N-isopropylacrylamide / O-nitrochitosan) Interpenetrating Polymer Network. *Sains Malaysiana*, 44(7):995-1001.

8. Kurowska, E., Brzozka, A., Jarosz, M., Sulka, G. D. & Jaskuła, M. 2013. Silver nanowire array sensor for sensitive and rapid detection of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Electrochimica Acta*, 104: 439–447.
9. Rozi, N., Hanifah, S. A., Heng, L. Y., Shyuan, L. K. 2016. Characterization of Ultraviolet-Photocured Acrylamide Based Polymer. *American Institute of Physics*, 1-5.
10. Hutcheon, G.A., Messiou, C., Wyre, R.M., Davies, M.C., Downes, S. 2001. Water absorption and surface properties of novel poly(ethylmethacrylate) polymer systems for use in bone and cartilage repair. *Biomaterials*, 22:667-676
11. Duraisamy, N., Hong, S., Choi, K. 2013. Deposition and characterization of silver nanowires embedded PEDOT: PSS thin films via electrohydrodynamic atomization. *Chemical Engineering Journal*, 225:887-894.
12. Hu, W., Niu, X., Li, L., Yun, S., Yu, Z., Pei, Q. 2012. Intrinsically stretchable transparent electrodes based on silver-nanowire-crosslinked-polyacrylate composites. *Nanotechnology*, 23:1-9
13. Cannes, C., Kanoufi, F., Bard, A.J. 2003. Cyclic voltammetry and scanning electrochemical microscopy of ferrocenemethanol at monolayer and bilayer-modified gold electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 547:83-91.
14. Choi, S., Kim, S., Jang, J., Lee, J. & Kim, I. 2016. Silver Nanowire Embedded Colorless Polyimide Heater for Wearable Chemical Sensors: Improved Reversible Reaction Kinetics of Optically Reduced Graphene Oxide. *Small* :1–10