

Sintesis Lapisan Tipis PANi/PVA sebagai Bahan Elektrokromik

Synthesis of PANi/PVA Thin Film as Electrochromic Materials

Ria Novita, Nugrahani Primary Putri*

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60321

ABSTRAK

Polianilin (PANi) merupakan bahan polimer konduktif yang banyak diteliti dikarenakan memiliki karakteristik yang unik yaitu, konduktivitas listrik yang baik, sifat optik yang baik dan stabil terhadap lingkungan. PANi dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, salah satunya sebagai bahan elektrokromik. Bahan elektrokromik merupakan bahan yang dapat berubah warna secara reversible jika diberi beda potensial. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis PANi/PVA dengan metode polimerisasi emulsi dan deposisi lapisan tipis dengan metode spin-coating menggunakan substrat Indium tin Oxide (ITO). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik awal lapisan tipis PANi/PVA sebagai bahan elektrokromik meliputi reversibilitas, nilai band gap dan nilai absorbansi pada pemberian potensial yang berbeda. Metode karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah Uji FTIR, Uji Voltametri Siklik, Uji UV-Vis, dan SEM. Dari pengujian FTIR PANi/PVA terlihat bahwa pola serapan khas dari kedua polimer masih muncul yaitu pada puncak 669,32 cm⁻¹, 1114,89 cm⁻¹, 1265,35 cm⁻¹, 1458,23 cm⁻¹, dan 1654,98 cm⁻¹ yang merupakan puncak khas milik polianilin sedangkan pada puncak 1654,98 cm⁻¹, 2929,97 cm⁻¹, dan 3448,84 cm⁻¹ merupakan puncak khas PVA. Dari data Voltametri Siklik lapisan tipis bersifat reversible dan ada puncak oksidasi pada potensial 0,4 V dan 0,74 V, sedangkan puncak reduksi pada potensial 0,45 V dan 0,22 V. Dari data pengujian UV-Vis didapatkan nilai absorbansi PANi/PVA tertinggi adalah 0,80 pada potensial 0,75 V dan memiliki nilai energi band gap sebesar 3,1-4,1 eV. Dari hasil pengujian SEM didapatkan bahwa persebaran PVA sudah cukup merata dan hanya sedikit terlihat retakan.

Kata Kunci: lapisan tipis PANi/PVA, spin coating, elektrokromik

ABSTRACT

Polyaniline (PANi) is a conductive polymer material that has been widely studied because it has unique characteristics namely, good electrical conductivity, and good optical properties and is stable to the environment. PANi can be used in a variety of applications, one of which is as an electrochromic material. Electrochromic material is a material that can change color reversibly if given a potential difference. In this research, PANi/PVA synthesis was carried out by emulsion polymerization method and thin layer deposition via spin-coating method using Indium tin Oxide (ITO) substrate. The purpose of this study was to determine the initial characteristics of PANi/PVA thin films as electrochromic materials including reversibility, band gap values and absorbance values at different potential applications. The characterization methods used in this study were FTIR Test, Cyclic Voltammetry Test, UV-Vis Test, and SEM. From the PANi/PVA FTIR test it is seen that the typical absorption patterns of the two polymers still appear at the peak 669.32 cm⁻¹, 1114.89 cm⁻¹, 1265.35 cm⁻¹, 1458.23 cm⁻¹, and 1654, 98 cm⁻¹ which is the typical peak of PANi while at the peak 1654.98 cm⁻¹, 2929.97 cm⁻¹, and 3448.84 cm⁻¹ is the typical peak of PVA. From the data of cyclic voltammetry the film is reversible and there is an oxidation peak at a potential of 0.4 V and 0.74 V, whereas a reduction peak at a potential of 0.45 V and 0.22 V. From the UV-Vis test data, the highest PANi/PVA absorbance value is 0.80 at a potential of 0.75 V and has a band gap energy value of 3.1-4.1 eV. From the SEM test results found that the spread of PVA is quite evenly distributed and only slightly visible cracks.

Key Words: PANi/PVA thin film, spin coating, electrochromic

PENDAHULUAN

Polianilin merupakan polimer konduktif yang sekarang ini sedang banyak diteliti. Hal ini dikarenakan polianilin memiliki karakteristik yang unik meliputi konduktivitas listrik yang baik, sifat optik yang baik, dan kestabilan tinggi (Detsri et al, 2009). Polianilin (PANi) dapat disintesis melalui polimerisasi secara kimia atau elektrokimia. Konduktivitas PANi dapat dipengaruhi melalui *charge-transfer* doping dan protonasi (Maddu dkk,

2008). PANi dapat diaplikasikan dalam beberapa bidang yaitu untuk lapisan anti korosi, sensor, baterai (Priya, 2012), elektroda superkapasitor (Susmita, 2013), dan bahan elektrokromik (Handojo dkk, 2003) karena polianilin memiliki kontras warna yang tajam (Xiong et al, 2012). Kontras warna inilah yang mempengaruhi absorbansi atau transmitansi pada film polianilin. Selain itu spektrum absorbansi atau transmitansi juga dipengaruhi oleh beda potensial yang diberikan

*Alamat korespondensi:
surel: nugrahaniprimary@unesa.ac.id

pada film. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Handojo (2003) diperoleh nilai absorbansi yang semakin besar dengan beda potensial yang semakin kecil. Bahan elektrokromik harus bersifat reversibel sehingga memiliki kemampuan untuk berganti warna dari transparan ke gelap atau sebaliknya ketika diberi beda potensial. Selain itu bahan elektrokromik harus bersifat konduktif sehingga bisa menghantarkan listrik. PANi merupakan salah satu polimer yang bersifat konduktif dan termasuk dalam semikonduktor. Hal ini terlihat pada penelitian yang telah dilakukan oleh Putri dkk (2014) bahwa PANi yang ditumbuhkan dengan metode *spin coating* memiliki energi gap sebesar 3,2 eV-5,0 eV, dimana angka ini termasuk dalam rentang energi gap dari semikonduktor.

Sifat elektrokromik merupakan sifat bahan yang memperlihatkan perubahan spektrum absorpsi atau transmisi cahaya apabila dikenai beda potensial listrik. Sifat elektrokromik terdapat pada sejumlah oksida logam, antara lain WO_3 , IrO_2 , MoO_3 , dan V_2O_5 . Bahan elektrokromik mempunyai spektrum transmisi yang dapat berubah secara *reversible* apabila diberi potensial listrik. Perubahan potensial ini merubah keadaan tembus cahaya (transparan) menjadi tidak tembus cahaya atau sebaliknya. PANi sebagai bahan elektrokromik memiliki sifat yang baik antara lain kontras warna yang tajam, siklus pemakaian yang awet, namun ada juga beberapa kelemahan dari film polianilin, yaitu sifat mekanik kurang baik (rapuh) (Wang et al, 2011). Melalui kombinasi PANi dengan penambahan PVA diharapkan dapat mengurangi kerapuhan dari PANi.

Pembuatan lapisan tipis PANi menggunakan metode *spin-coating*. Metode ini merupakan metode yang paling sering dipakai untuk pembuatan film tipis karena terdapat parameter yang dapat dikontrol dengan mudah, sederhana, metode yang efisien untuk menghasilkan film tipis pada temperatur ruang (Evecan et al, 2014) dan dapat menghasilkan kualitas lapisan tipis yang baik (Putri dkk, 2014). Tetapi metode ini memerlukan larutan dengan kekentalan tertentu agar lapisan tipis yang dihasilkan dapat terdeposisi secara merata, sehingga polimer yang bersifat sebagai perekat ditambahkan. Untuk mengatasi kelemahan ini maka polianilin harus dikompositkan dengan bahan yang mempunyai sifat mekanik baik dan bersifat sebagai perekat, salah satunya adalah PVA. Penambahan PVA selain bertujuan untuk menambah kekentalan larutan PANi yang terlalu encer. Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Wang et al (2013), substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Indium-tin-Oxide* (ITO) yang termasuk material kaca yang bersifat konduktif dan sangat diperlukan dalam pembuatan bahan elektrokromik, untuk mengetahui perubahan warna akibat perubahan beda potensial pada lapisan tipis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter awal lapisan tipis PANi/PVA apakah sudah cukup efektif jika diaplikasikan sebagai bahan elektrokromik. Untuk mengetahui tingkat absorbansi dari lapisan tipis PANi/PVA maka dilakukan perubahan beda potensial pada lapisan tipis dengan menggunakan teknik Kronoamperometri lalu dilakukan pengujian UV-Vis. Pengamatan morfologi lapisan tipis yang terbentuk dilakukan dengan karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM).

METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Anilin, HCl, Amonium Peroksidisulfat (APS), KCl, Aquades, dan substrat *Indium tin oxide* (ITO). Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, mesin *spin coating*, instrumen uji FTIR, serangkaian alat Kronoamperometri, instrumen uji UV-Vis, dan instrumen uji Voltametri Siklik. Sedangkan peralatan pendukung yang digunakan adalah gelas kimia, gelas ukur, pipet, spatula, dan stopwath.

Pembuatan larutan PANi/PVA mengacu pada penelitian sebelumnya (Wang, 2011) yaitu dengan melarutkan PVA ke dalam 85°C aquades, diaduk dengan stirring magnetic selama 1 jam. Sambil menunggu PVA larut dalam aquades dilakukan pembuatan larutan anilin dengan menambahkan 1 mL anilin dalam 100 mL HCl 1 M dan didiamkan selama 1 jam. Kemudian membuat larutan APS dengan menambahkan APS 5,71 gram dalam 100 mL aquades didiamkan selama 1 jam. Setelah larutan PVA diaduk dengan stirer selama 1 jam dan berwarna putih susu kemudian ditambahkan larutan anilin pada suhu ruang, kemudian meneteskan larutan APS secara perlahan sampai berwarna hijau gelap sambil diaduk dengan stirrer selama 4 jam pada suhu 90°C.

Larutan yang telah terbentuk kemudian diteteskan diatas substrat ITO yang telah dipasang di mesin *spin coater*. Metode deposisi lapisan tipis PANi/PVA menggunakan metode *spin coating* dengan kecepatan putar 1000 rpm selama 10 detik, lalu 2000 rpm selama 80 detik. Kemudian substrat ITO yang telah terlapisi dikeringkan pada suhu 60°C selama 2 jam. Karakterisasi yang dilakukan adalah uji FTIR, Kronoamperometri dan UV-Vis serta Voltametri siklik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan lapisan tipis PANi/PVA dilakukan dengan metode *spin coating*. Metode ini memiliki 4 tahapan, yaitu: penetesan larutan PANi/PVA pada substrat ITO (deposisi), rotasi awal (*spin up*), rotasi konstan (*spin off*), dan penguapan (*evaporation*). Pembuatan lapisan tipis PANi/PVA menggunakan substrat *Indium-tin-oxide* (ITO) dengan kecepatan perputaran 1000 rpm selama 10 detik lalu 2000 rpm selama 80 detik. Selanjutnya dilakukan

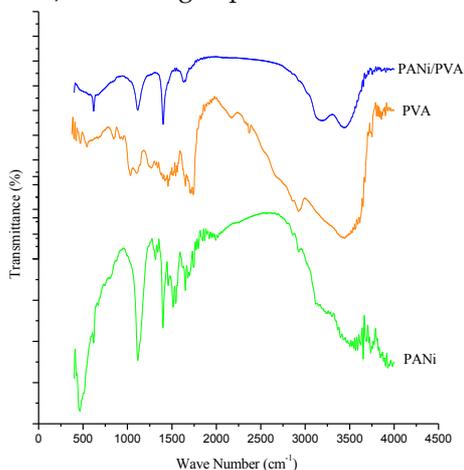
pengeringan dengan furnace dengan suhu 60° selama 2 jam. Hasil evaporasi substrat ITO yang telah terlapsi PANi/PVA dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Hasil spin coating lapisan tipis PANi/PVA diatas ITO

Dari gambar tersebut nampak bahwa hasil dari *spin coating* kurang merata. Hal ini disebabkan karena larutan PANi/PVA yang digunakan kurang kental sehingga mempengaruhi ketebalan dan kerataan dari lapisan tipis. Selain dari faktor kekentalan, pada mesin *spin coater*, vakum pada *sample holder* kurang kuat menahan sampel sehingga deposisi dari larutan kurang sempurna.

ITO yang telah terlapsi kemudian diuji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi PANi/PVA hasil deposisi (**Gambar 2**). Pola serapan yang muncul tersebut kemudian dibandingkan dengan referensi untuk mengetahui kemiripan atau kecocokan antara hasil sintesis dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. **Tabel 1** di bawah ini merupakan pencocokan hasil sintesis PANi, PVA, dan PANi/PVA dengan penelitian sebelumnya.



Gambar 2. Kurva FTIR PANi, PVA dan PANi/PVA

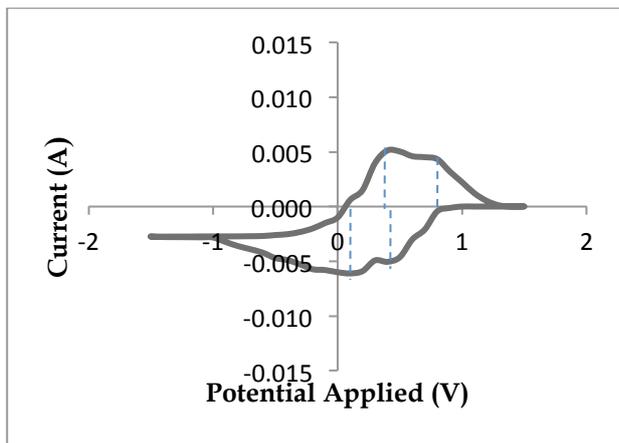
Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa pola serapan yang dihasilkan pada lapisan tipis PANi/PVA secara umum cenderung lebih mirip PANi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PVA tidak merubah struktur matriks PANi, tetapi pada panjang gelombang tertentu pola serapan khas dari PVA tetap muncul. Terlihat bahwa pola serapan khas dari kedua polimer masih muncul yaitu pada puncak 669,32 cm^{-1} , 1114,89 cm^{-1} , 1265,35 cm^{-1} , 1458,23 cm^{-1} , dan 1654,98 cm^{-1} merupakan puncak khas yang mirip dengan

polianilin sedangkan pada puncak 1654,98 cm^{-1} , 2929,97 cm^{-1} , dan 3448,84 cm^{-1} merupakan puncak khas PVA.

Setelah dilakukan pengujian FTIR lalu lapisan tipis PANi/PVA selanjutnya dilakukan uji voltametri siklik untuk mengetahui reversibilitas dari lapisan tipis PANi/PVA. Pengujian voltametri siklik dilakukan pada rentang potensial -1,5 V sampai 1,5 V dengan laju scan atau *scan rate* 0,2 V/s secara bolak balik. Hasil dari pengujian voltametri siklik ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Hasil pencocokan hasil uji FTIR PANi, PVA, dan PANi/PVA dengan referensi

Sampel	Eksperimen (cm^{-1})	Referensi (cm^{-1})	Jenis Ikatan
PANi	800,49 873,78	805	C - H Bending
	1114,89	1131	C - N stretch of benzoid ring
	1315,5	1302	C - N stretch of Q- B - Q
	1400,37	1474	C = C benzoid ring stretch (N - B - N)
	1651,12	1613	C = N stretch of quinoid ring (N=Q=N)
PVA	1458,23 1543,1	1450-1600	Ikatan C-C
	2922,25	2800-3000	Ikatan C-H
	3444,98	3000-3700	Ikatan O-H
PANi/PVA	669,32	805	C - H Bending
	1114,89	1131	C - N stretch of benzoid ring
	1265,35	1302	C - N stretch
	1654,98	1613	Ikatan C-C
	2929,97	2925,25	Ikatan C-H
	3448,84	3356,04	Ikatan O-H



Gambar 3. Hasil pengujian voltametri siklik

Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada pengujian voltametri siklik terjadi proses redoks (oksidasi-reduksi) yang ditunjukkan dengan adanya puncak oksidasi (atas) dan puncak reduksi (bawah). Hal ini menunjukkan adanya transfer elektron pada elektroda ITO-PANi/PVA yang ditandai dengan perubahan puncak pada grafik hasil pengujian voltametri siklik. Pada grafik terlihat lapisan tipis PANi/PVA memiliki 2 puncak oksidasi, masing-masing pada tegangan 0,40 V dan 0,74 V. Selain itu terdapat 2 puncak reduksi masing-masing pada tegangan 0,45 V dan 0,22 V. Puncak reduksi yang diperoleh dari penelitian kali ini sedikit berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan Handojo (2003) dan Siregar (1997). Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terdapat 3 puncak oksidasi dan reduksi pada lapisan tipis PANi murni. Pada penelitian Siregar (1997) dari puncak-puncak redoks dapat diidentifikasi perubahan warnanya yaitu pada puncak oksidasi pada potensial -0,5-0,21 V PANi murni berwarna kuning kehijauan, 0,21-0,5 V berwarna hijau, pada potensial 0,5-0,71 V berwarna hijau gelap, dan pada potensial 0,71-1 V berwarna biru. Sedangkan pada penelitian ini hanya ada 2 puncak oksidasi sehingga hanya terjadi 3 perubahan warna dari hijau transparan, hijau dan hijau gelap dan juga pada tegangan besar lapisan tipis PANi/PVA tidak memiliki nilai arus. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini ada penambahan PVA sebagai perekat yang menyebabkan konduktivitas PANi berkurang. Pada pengujian UV-Vis dilakukan untuk mengetahui perubahan absorbansi atau transmitansi dari lapisan tipis PANi/PVA. Sebelum dilakukan pengujian UV-Vis terlebih dahulu lapisan tipis diberikan beda tegangan dengan menggunakan teknik Kronoamperometri. Pada teknik ini lapisan tipis diberikan beda potensial yaitu dari -0,2 V; 0 V; 0,2 V; 0,6 V dan 0,75 V. Pada

saat pemberian tegangan dilakukan pengamatan terhadap perubahan warna pada lapisan tipis. Adapun hasil dari pengamatan perubahan warna dari masing-masing harga beda potensial ditunjukkan pada Tabel 2.

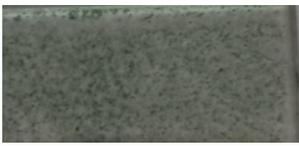
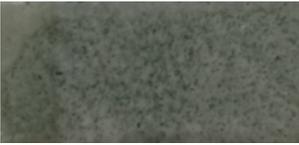
Terlihat bahwa ada perubahan warna dari transparan menjadi lebih gelap. Meskipun perubahan warna tidak signifikan atau ada bagian lapisan yang lebih tipis tidak terlihat perubahan warna. Tetapi pada titik tertentu ada perubahan warna yang sangat jelas seperti pada pemberian potensial 0,75 V, hal ini dikarenakan lapisan tipis yang diuji, ketebalannya kurang merata. Seperti yang dijelaskan pada penelitian sebelumnya (Sherman, 1994) bahwa film yang memiliki ketebalan tepat dan merata akan memperlihatkan perilaku elektrokromik, tetapi jika lapisan ditumbuhkan terlalu tipis atau terlalu tebal maka akan sulit melihat dengan jelas perubahan warnanya.

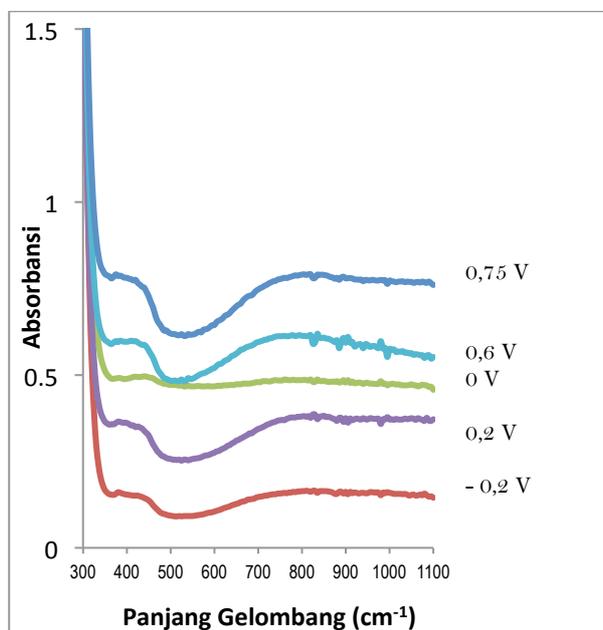
Dari penelitian yang dilakukan Siregar dkk (1997) yaitu polianilin yang disintesis dengan metode galvanostatik, terdapat 3 perubahan warna dari kuning kehijauan, hijau, hijau kebiruan, biru lalu kembali ke hijau kebiruan hingga kuning kehijauan. Sedangkan pada penelitian kali ini hanya ada 2 perubahan warna yaitu hijau transparan hingga hijau gelap lalu kembali ke hijau transparan. Perbedaan hasil tersebut karena perbedaan metode sintesis yang digunakan dan bahan yang digunakan.

Dari segi kemudahan metode *spin coating* lebih sederhana tetapi bahan yang digunakan harus memiliki kekentalan tertentu. Oleh karena itu pada penelitian kali ini ditambahkan PVA yang berfungsi sebagai perekat untuk menambahkan kekentalan larutan PANi. Tetapi dilihat dari segi perubahan warna memang lebih baik menggunakan PANi murni dengan metode sintesis galvanostatik karena perubahan warna lebih terlihat.

Dari gambar pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa warna berubah seiring dengan bertambahnya potensial, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rodrigues dkk (1991) jika PANi diberi perlakuan potensial maka warna akan berubah dari transparan menjadi hijau gelap dari potensial rendah ke potensial yang lebih tinggi. Dari penelitian yang telah dilakukan meskipun perubahan warna tidak terlihat secara signifikan namun didapatkan pola absorbansi yang berbeda pada masing-masing beda potensial, seperti terlihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Pengamatan perubahan warna lapisan tipis PANi/PVA pada potensial berbeda

Beda Potensial (V)	Warna sebelum diberi potensial	Warna setelah diberi potensial
-0,2		
0		
0,2		
0,6		
0,75		

**Gambar 4.** Hasil pengujian UV-Vis pada potensial berbeda

Dari Gambar 4 dapat terlihat bahwa puncak absorbansi tertinggi teramati pada panjang gelombang $\approx 800 \text{ cm}^{-1}$. Nilai absorbansi untuk harga potensial yang berbeda-beda dan diamati pada panjang gelombang yang sama dengan puncak tertinggi yaitu $\approx 800 \text{ cm}^{-1}$ ditunjukkan pada Tabel 3.

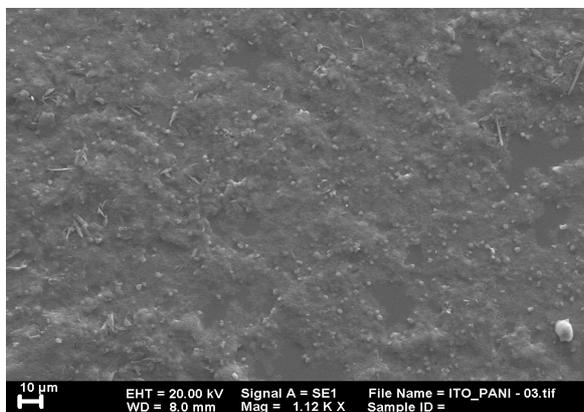
Tabel 3. Nilai absorbansi pada potensial berbeda

Potensial (V)	Absorbansi
-0,2	0,20
0	0,50
0,2	0,40
0,6	0,60
0,75	0,80

Nilai absorbansi yang diperoleh pada penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya (Handojo, 2003). Pada penelitian Handojo diperoleh nilai absorbansi tertinggi pada potensial 0,75 V yaitu 1,99 sedangkan pada penelitian ini diperoleh absorbansi maksimum yaitu 0,80. Salah satu penyebabnya adalah lapisan tipis yang digunakan dalam penelitian ini kurang tebal dan tidak merata sehingga mempengaruhi perubahan warna dari lapisan tipis PANi/PVA. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Handojo yang digunakan untuk lapisan tipis hanya PANi murni sedangkan pada penelitian ini dilakukan penambahan PVA. Hal ini dapat mempengaruhi perubahan warna pada saat pemberian beda potensial karena PVA merupakan isolator dan dapat mengurangi konduktifitas dari

PANi. Pada pemberian potensial 0,2 V nilai absorbansi lebih kecil dibandingkan dengan pemberian potensial 0 V, hal ini dikarenakan tingkat pemerataan dari lapisan tipis kemungkinan mengalami perbedaan. Meskipun begitu perbedaan dari nilai absorbansinya tidak terlampau jauh berbeda.

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui kualitas morfologi dari lapisan tipis PANi/PVA. Larutan PANi/PVA yang telah ditumbuhkan pada substrat ITO dengan metode *spin coating* pada kecepatan perputaran 1000 rpm selama 10 detik lalu 2000 rpm selama 80 detik. Setelah ditumbuhkan pada ITO dan dilakukan pengujian UV Vis, dari pengujian UV Vis diperoleh nilai absorbansi tertinggi yang selanjutnya dilakukan pengujian SEM, hasil pengujian SEM ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Hasil pengujian SEM lapisan PANi/PVA

Pada Gambar 5, terlihat bahwa campuran dari kedua polimer sudah cukup merata. Titik-titik yang berwarna putih diyakini adalah PVA yang sudah merata pada matriks dan tidak ada yang berkumpul pada satu daerah. Hal ini dikarenakan adanya perlakuan suhu pada saat sintesis larutan PANi/PVA. Karena penambahan PVA terlihat pada gambar bahwa tidak terlihat adanya rongga atau retakan, hal ini dikarenakan sifat PVA yang berguna sebagai perekat. Meskipun pada beberapa titik masih ada sedikit rongga, karena kurang meratanya pada saat proses *spin coating*.

SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan penumbuhan lapisan tipis PANi/PVA dengan menggunakan metode *spin coating* pada substrat *Indium tin oxide* (ITO). Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai absorbansi pada beberapa beda potensial. Berdasarkan hasil penelitian dan

pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut. Pada pengujian voltametri siklik terlihat bahwa lapisan tipis PANi/PVA pada rentang potensial -1,5V sampai 1,5 V dan *sweep rate* 0,2 V/s bersifat reversibel. Dan timbul puncak-puncak, hal ini terjadi karena adanya reaksi oksidasi dan reduksi pada lapisan tipis. Pada pengujian UV-Vis Spektroskopi diketahui tingkat absorbansi meningkat seiring dengan bertambahnya potensial. Pada potensial terbesar yaitu 0,75 V memiliki tingkat absorbansi yang terbesar yaitu 0,80 V. Kualitas morfologi dari lapisan tipis diketahui setelah pengujian SEM terlihat bahwa dengan penambahan PVA hanya terlihat sedikit rongga atau retakan karena sifat PVA yang dapat digunakan sebagai perekat.

DAFTAR PUSTAKA

- Detsri E & Dubas ST, 2009. Interfacial Polymerization of Water-Soluble Polyaniline and Its Assembly Using the Layer-By-Layer Technique. *Journal of Metals, Materials, and Minerals*, Vol. 19 No. 1.
- Evecan D, Gurcuoglu O & Zayen EO, 2014. *Electrochromic Device Application of Tungsten Oxide Film with Polymer Electrolytes*. Elsevier
- Handojo L & Simangunsong Y, 2003. *Studi Efek Elektrokromik Pada Film Polianilin*. Makara Teknologi
- Maddu A, Wahyudi ST & Kurniati, M, 2008. Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. *Jurnal Nanosains Nanoteknologi*, Vol. 1 No.2
- Priya L, 2012. *HCl doped PVA/PANI Blends: DC conductivity studies*. CODEN (USA): AASRFC
- Putri, R, 2014. Karakteristik Struktur, Optik, dan Listrik Film Tipis Polianilin (PANi) Doping HCl yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating. 2014. *Unnes Physics Journal*
- Rodrigues MA, 1991. Electrochromic Properties Chemically Prepared Polianiline. *Electrochimica Acta*, Vol. 36(14): 2143-2146
- Sherman, 1994. Electrochemical Synthesis and Electrochromic Properties Polyaniline A Conducting Polymer. *Journal of Chemical Education*.
- Siregar R, 1997. *Elektrokromisitas Bahan Komposit Polianilin-Oksida Tungsten*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi. Bandung
- Susmita R, 2013. Analisis Sifat Listrik Komposit Polianilin (PANi) terhadap Penambahan Bottom Ash Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 2 No. 2
- Wang, 2013. *Preparation of Conductive PANI/PVA Composites via an Emulsion Route*. Hindawi Publishing Corporation
- Wang, 2011. *Properties of PANI-PVA Composite Film*. Advanced Materials Research
- Xiong S, 2012. *Covalent Bonding Polyaniline of Fullerene: Enhanced Electrical, Ionic, Conductivities and Electrochromic Performances*. *Electrochimica Acta* Page 194-200.