

# Elektropolimerisasi *Film* Polianilin dengan Metode Galvanostatik dan Pengukuran Laju Pertumbuhannya

Rakhmat Hidayat Wibawanto\* dan Darminto  
Jurusan Fisika-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 61111

## Intisari

Polianilin (PANi) adalah salah satu bahan polimer konduktif yang bisa disintesis dengan cara reaksi kimia dan elektrokimia. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis PANi secara elektrokimia dengan metode galvanostatik, mengukur laju pertumbuhan *film* dan mengukur konduktivitas listrik PANi. Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon dan tembaga. Larutan yang digunakan adalah anilin-HCl 1,5 M. Variasi arus elektropolimerisasi yang digunakan adalah 1 A, 0,5 A, 0,25 A, 100 mA, 75 mA, 50 mA dan 25 mA. Penelitian menunjukkan bahwa semakin besar arus elektropolimerisasi yang digunakan, maka semakin cepat laju pertumbuhan *film* PANi pada karbon. Pada arus elektropolimerisasi 1 A didapatkan laju pertumbuhan *film* PANi sebesar 0,047 cm/menit. Konduktivitas listrik film PANi yang terbentuk juga semakin besar seiring dengan besarnya arus elektropolimerisasi, kemudian menurun setelah mencapai nilai optimumnya. Pada arus elektropolimerisasi 0,25 A didapatkan nilai konduktivitas listrik sebesar  $(20,83 \pm 3,04)$  S/cm kemudian nilai konduktivitas listrik *film* PANi menurun pada arus elektropolimerisasi 0,5 A dan 1 A. Hasil pengujian spektroskopi FTIR menunjukkan bahwa ikatan-ikatan kimia pada PANi fasa konduktif (garam emeraldin) sudah terbentuk, ditunjukkan dengan munculnya puncak-puncak serapan IR yang sesuai dengan referensi.

KATA KUNCI: PANi, galvanostatik, konduktivitas listrik, laju pertumbuhan.

## I. PENDAHULUAN

Polianilin (PANi) adalah salah satu bahan polimer konduktif yang banyak dikaji pada lebih dari dua dekade terakhir karena sifat fisika dan kimianya yang khas sehingga mempunyai potensi aplikasi yang luas seperti baterai sekunder, sensor, LED, bahan-bahan elektronik dan bidang optoelektronik lainnya [1]. PANi bisa disintesis dengan cara reaksi kimia dan elektrokimia [2] dan sifat konduktivitas listriknya dapat diatur dengan mengontrol parameter sintesis, seperti konsentrasi monomer, konsentrasi doping elektrolit, tegangan listrik, arus listrik, waktu polimerisasi dan temperatur polimerisasi.

Penelitian tentang elektropolimerisasi PANi telah banyak dilakukan dan terbukti mendapatkan film PANi konduktif fase garam emeraldin. Beberapa penelitian terdahulu tersebut, untuk mensintesis PANi secara elektrokimia, rata-rata memerlukan waktu yang relatif lama dan menggunakan elektroda-elektroda yang mahal seperti: platina-kaca konduktif ITO [3], platina-kaca konduktif ITO-kalomel jenuh [4], nikel-karbon [5,6], dan stainless steel-kalomel jenuh [7].

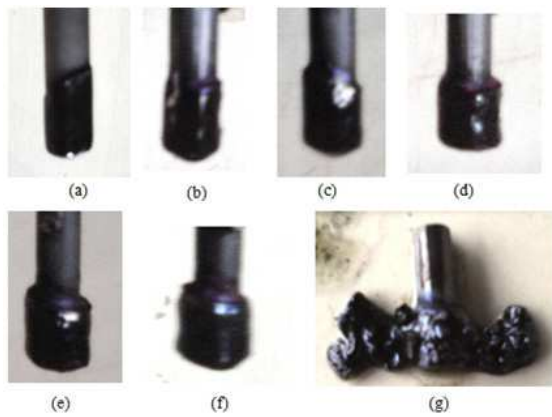
Dalam penelitian ini, PANi disintesis dengan metode galvanostatik, yaitu polimerisasi secara elektrokimia yang bekerja dengan arus tetap. Penelitian ini berusaha membuat *film* PANi dengan cepat, murah dan menghasilkan PANi yang lebih banyak. Elektroda yang digunakan dalam penelitian

ini adalah karbon dan tembaga, karena kedua bahan tersebut lebih murah dan mudah didapatkan. Larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah anilin-HCl 1,5 M. Karakterisasi film PANi meliputi uji spektroskopi FTIR untuk melihat apakah PANi yang terbentuk adalah fase garam emeraldin yang konduktif, pengukuran laju pertumbuhan film PANi pada karbon dengan cara mengukur ketebalan film PANi secara periodik dengan menggunakan jangka sorong, pengukuran konduktivitas listrik PANi dengan metode *four point probe*. Hasil karakterisasi film PANi dapat digunakan untuk menentukan pengaruh arus elektropolimerisasi terhadap laju pertumbuhan film PANi, konduktivitas listrik PANi dan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut tentang berbagai aplikasi PANi di dalam teknologi bahan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah untuk mengelektropolimerisasi *film* PANi dengan metode galvanostatik dibagi menjadi dua langkah utama. Langkah pertama adalah preparasi larutan untuk elektropolimerisasi. HCl pekat diencerkan dengan aquades sampai menjadi HCl encer 1,5 M sebanyak 200 ml. Anilin diencerkan dengan HCl 1,5 M pada suhu rendah ( $-5^{\circ}\text{C}$  sampai  $0^{\circ}\text{C}$ ) sampai didapatkan larutan anilin-HCl 1,5 M. Larutan anilin-HCl 1,5 M sebanyak 20 ml dipakai untuk elektropolimerisasi PANi dengan metode galvanostatik. Langkah kedua adalah elektropolimerisasi PANi dengan metode galvanostatik menggunakan alat potensiostatik-galvanostatik AMEL instrument model 2053.

\*E-MAIL: rakhmat354.hidayat313@gmail.com



Gambar 1: (a-f).Film PANi yang tumbuh dan menempel pada elektroda karbon semakin tebal seiring dengan bertambahnya waktu. (g) film PANi yang pecah karena pertumbuhannya sudah melampaui batas ketebalan maksimum

Arus elektropolimerisasi yang digunakan adalah 25 mA, 50 mA, 75 mA, 100 mA, 0,25 A, 0,5 A, 1 A, didapatkan PANi yang tumbuh dan menempel pada elektroda karbon. Laju pertumbuhan *film* PANi ini akan diamati dengan mengukur ketebalan *film* PANi yang menempel pada elektroda karbon dengan rentang waktu tertentu. Ketebalan *film* PANi diukur satu kali dengan menggunakan jangka sorong dengan kondisi *film* PANi yang masih menempel pada elektroda karbon. PANi yang menempel pada karbon dibiarkan pada suhu ruang sampai mengering. PANi yang menempel pada karbon diambil dan *film* PANi siap dikarakterisasi. *Film* PANi yang sudah kering sebagian diambil dan diuji dengan FTIR untuk mengetahui ikatan apa saja yang telah terbentuk dan untuk memastikan PANi yang terbentuk adalah PANi pada fasa garam emeraldin yang konduktif. *Film* PANi yang sudah dilepaskan dari elektroda karbon dijadikan pelet dengan alat dan cetakan kompaksi menggunakan tekanan 0,5 ton. Pelet PANi diuji konduktivitas listriknya dengan metode *four point probe*.

### III. HASIL DAN DISKUSI

PANi yang disintesis dengan metode galvanostatik dengan menggunakan elektroda karbon-tembaga menghasilkan PANi berupafilm yang tumbuh dan menempel pada karbon. Gambar-gambar hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

*Film* PANi yang tumbuh pada elektroda karbon semakin banyak seiring dengan bertambahnya waktu, hal ini dapat diamati dengan melihat dan mengukur ketebalan *film* PANi pada elektroda karbon dari waktu ke waktu dengan menggunakan jangka sorong. Pengukuran ketebalan dilakukan satu kali dengan menggunakan jangka sorong karena *film* yang terbentuk cukup tebal.

Pengujian FTIR dilakukan di laboratorium instrumentasi jurusan kimia UNESA dengan alat *Spechtrophotometer Infrared M-500*. Spektroskopi FTIR bertujuan untuk melihat apakah *film* PANi yang melekat pada elektroda karbon adalah

TABEL I: Data spektroskopi FTIR Polianilin fase garam emeraldin dibandingkan dengan data referensi

Eksperimen	Referensi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Vibrasi ( $\text{cm}^{-1}$ )
812,5	800,53	C-H bending
1132,2	1122,67	C-H bending
1247,2	1236	C-N stretching
1299,7	1290,49	C-N stretching
1476,6	1473,75	C=C benzoid
1569,6	1560	C=C kuinoid

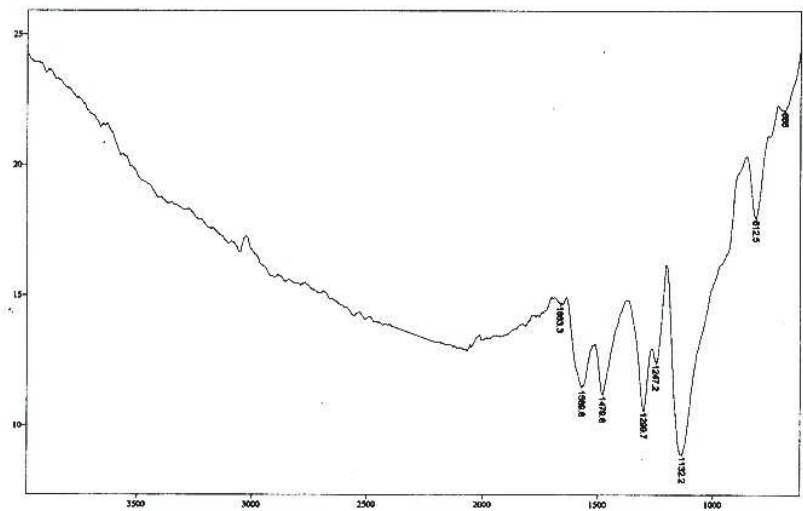
Sumber: Angelopoulos, 1998

benar-benar polianilin. Gambar dan tabel di bawah ini menunjukkan hasil pengukuran spektrum inframerah PANi dalam fase garam emeraldin yang dibandingkan dengan referensi seperti ditunjukkan Gambar 2 [2].

Tabel I menunjukkan data eksperimen dengan data referensi, terlihat bahwa adanya kecocokan antara keduanya. Terdapat vibrasi C-H *bending*, C-N *stretching*, C=C *benzoid* dan C=C *kuinoid* yang merupakan karakter dari PANi konduktif fase garam emeraldin.

Ketebalan PANi diukur dalam tiap rentang waktu tertentu pada arus tertentu untuk mengukur laju pertumbuhan *film*. Hasil pengukuran laju pertumbuhan *film* PANi dengan variasi arus elektropolimerisasi ditunjukkan oleh Tabel II dan Gambar 3.

Ketujuh grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar arus listrik yang digunakan untuk elektropolimerisasi, semakin cepat pula pertumbuhan *film* PANi pada elektroda karbon. Gradien grafik hasil regresi menunjukkan laju pertumbuhan lapisan PANi. Pada arus elektropolimerisasi 1000 mA atau 1 A, laju pertumbuhannya paling cepat, yaitu 0,047 cm/menit. Laju pertumbuhan untuk arus elektropolimerisasi 0,5 A, 0,25 A, 100 mA, 75 mA, 50 mA dan 25 mA berturut-turut adalah 0,035 cm/menit, 0,022 cm/menit, 0,004 cm/menit, 0,003 cm/menit, 0,002 cm/menit, 0,001 cm/menit. Ada batas maksimum pertumbuhan lapisan PANi pada elektroda karbon, yaitu ketika ketebalan lapisan PANi pada elektroda karbon, yaitu ketika ketebalan lapisan PANi akan terlalu tebal, kemudian retak dan pecah. Lapisan *film* PANi tumbuh dan membentuk ikatan permukaan dengan karbon, sehingga pada lapisan yang cukup tipis, PANi akan menempel kuat pada karbon, tetapi jika lapisan terlalu tebal (maksimal 0,35 cm) maka lapisan PANi akan retak dan pecah. *Film* PANi yang masih sangat tipis menempel dengan kuat dan membentuk ikatan permukaan dengan karbon. Kekuatan ikatan permukaan *film* PANi dan karbon ketika masih sangat tipis dapat diamati dengan sulitnya melepaskan *film* PANi tipis dari karbon. Kuatnya ikatan permukaan antara PANi dan karbon yang ditumbuhkan dengan metode galvanostatik maka *film* PANi ini cocok digunakan sebagai pelapis suatu bahan dari serangan korosi. Percobaan melapiskan *film* PANi pada suatu bahan dengan metode galvanostatik pada penelitian ini dilakukan pada karbon, tetapi tidak menutup kemungkinan bahwa pada penelitian selanjutnya, elektropolimerisasi PANi dengan metode galvanostatik ini dapat digunakan untuk melapisi beberapa jenis logam untuk aplikasi industri dan eksperimen. Penelitian terdahulu juga



Gambar 2: Data spektroskopi FTIR Polianilin

TABEL II: Ketebalan film PANi dengan variasi arus elektropolimerisasi pada tiap rentang waktu diukur dengan menggunakan jangka sorong

1A		0,5A		0,25 A		100 mA		75 mA		50 mA		25 mA	
Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)	Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)	Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)	Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)	Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)	Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)	Waktu (menit)	Ketebalan film (cm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,05	1	0,05	1	0,02	15	0,1075	10	0,05	15	0,05	20	0,055
1,5	0,08	2,5	0,1075	2	0,035	30	0,15	20	0,08	30	0,07	40	0,07
2,5	0,13	3,5	0,1275	3	0,075	45	0,2125	30	0,1225	45	0,1	60	0,0825
3,5	0,2	4,5	0,17	4	0,08	60	0,2625	40	0,15	60	0,155	80	0,1075
4,5	0,2375	5,5	0,2	5	0,105	75	0,35	50	0,1875	75	0,1625		
5,5	0,2875	6,5	0,24	6	0,14			60	0,2025	90	0,1875		
6,5	0,3275												
7,5	0,35												

berhasil melapiskan *film* PANi pada stainless steel[7] dan kaca konduktif ITO [3,4].

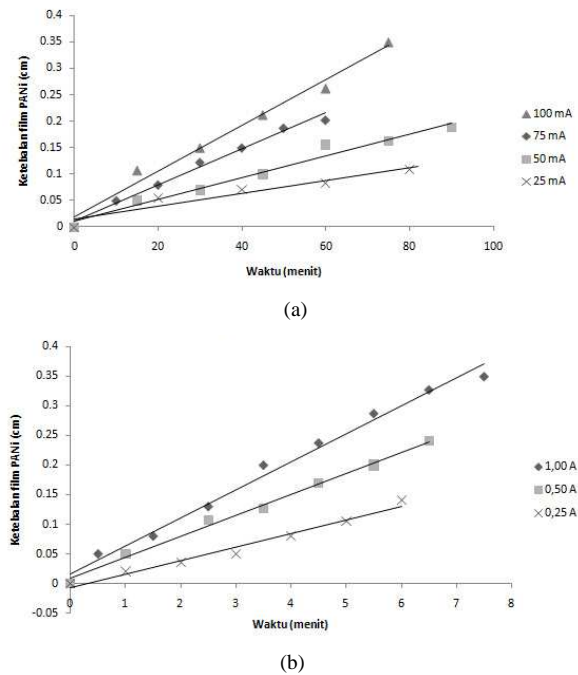
Konduktivitas *film*PANi diukur dengan menggunakan metode four point probe. Pada permukaan pelet PANi diletakkan 4 probe dari kawat tembaga kemudian diukur besar arus listrik yang melalui pelet PANi dan tegangan listriknya, sehingga dihasilkan nilai konduktivitas listrik yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai konduktivitas listrik PANi terbesar didapat dengan mensintesis PANi dengan arus 250 mA atau 0,25 A yaitu dengan nilai  $(20,83 \pm 3,04)$  S/cm. Nilai konduktivitas listrik PANi untuk arus elektropolimerisasi 25 mA, 50 mA, 75 mA dan 100 mA berturut-turut adalah  $(4,66 \pm 0,46)$  S/cm,  $(11,08 \pm 1,06)$  S/cm,  $(16,27 \pm 2,01)$  S/cm dan  $(11,77 \pm 1,69)$  S/cm. Nilai konduktivitas listrik PANi menurun pada arus elektropolimerisasi 0,5 A (500 mA) dan 1 A (1000 mA) yaitu sebesar  $(11,23 \pm 2,21)$  S/cm dan  $(8,08 \pm 1,74)$  S/cm. Dalam penelitian ini didapatkan bahwa nilai konduktivitas PANi meningkat dengan bertambahnya arus elektropolimerisasi sampai mencapai nilai optimumnya pada arus elektropolimerisasi 0,25 A (250 mA),

kemudian setelah itu nilai konduktivitas PANi menurun. Pada arus elektropolimerisasi yang rendah, laju oksidasi anilin berjalan lambat. Hal ini menyebabkan rantai PANi sempat menjalani beberapa kali proses doping sebelum terjadi penambahan panjang rantai. Peningkatan arus elektropolimerisasi akan meningkatkan proses elektropolimerisasi dalam selang waktu yang sama karena laju oksidasi anilin yang bertambah besar. Peningkatan arus elektropolimerisasi juga meningkatkan oksidasi pembentukan cacat (proses doping) dan banyaknya kadar cacat rantai (dopan) sangat menentukan konduktivitas dari *film* polianilin yang dihasilkan. Semakin besar arus elektropolimerisasi yang digunakan, semakin besar pula nilai konduktivitas listrik PANi yang dihasilkan. Penelitian menunjukkan ada penurunan nilai konduktivitas listrik PANi yang disintesis dengan arus elektropolimerisasi 0,5 A dan semakin menurun konduktivitasnya pada arus polimerisasi 1 A. Penurunan nilai konduktivitas ini dapat disebabkan oleh efek termal yang terjadi selama proses elektropolimerisasi, pada saat elektropolimerisasi dengan arus besar (0,5 A dan 1 A) terjadi banyak energi panas yang mengakibatkan kedua elektroda meningkat suhunya, bahkan pada arus 1 A, suhu elektroda

TABEL III: Beberapa penelitian terdahulu tentang elektropolimerisasi PANi dengan metode elektrokimia

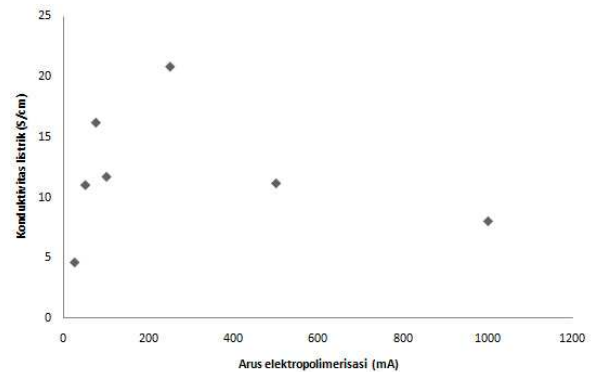
Peneliti	Metode	Arus/Tegangan optimum	Elektroda	Larutan elektrolit	Konduktivitas listrik
Suryaningsih, dkk, 1998	galvanostatik	1,2 mA	Kaca ITO, platina	Anilin-HCl	5 S/cm
Poli, 2007	Potensiostatik	660 mV	Stainless steel, kalomel jenuh	Anilin- $H_2SO_4$	0,2733 S/cm
Kusumawati, dkk, 2008	Galvanostatik	3 mA	Karbon, nikel	Anilin-HCl	25 S/cm
Wibawanto, 2009	Potensiostatik	3,5 V	Karbon, nikel, kalomel jenuh	Anilin-HCl	6,25 S/cm



Gambar 3: (a) dan (b) Ketebalan *film* PANi terhadap waktu elektropolimerisasi, gradien grafik menunjukkan laju pertumbuhan *film* PANi dengan variasi arus elektropolimerisasi

mencapai 100°C yang ditandai dengan menguapnya larutan elektrolit anilin-HCl. Peningkatan suhu dapat menyebabkan degradasi pada sifat polimer, yang berarti juga akan merusak sifat fisis polimer, termasuk konduktivitas listriknya. Alasan kedua penurunan nilai konduktivitas ini adalah semakin besar arus polimerisasi maka semakin banyak dopan yang terbentuk, tetapi ada nilai jenuh untuk kadar dopan pada rantai PANi, jika dopan terus ditambahkan setelah melewati nilai jenuhnya, maka dopan ini justru akan merusak rantai PANi yang pada akhirnya akan menurunkan nilai konduktivitasnya [3]. Beberapa penelitian tentang konduktivitas listrik PANi dengan metode elektrokimia (galvanostatik atau potensiostatik) yang pernah dilakukan mendapatkan nilai sebagaimana ditunjukkan Tabel III.

Beberapa nilai konduktivitas listrik PANi yang didapat dari penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konduktivitas listrik PANi ditentukan oleh parameter sintesisnya seperti: jenis elektroda, arus & tegangan elektropolimerisasi, konsentrasi anilin dan konsentrasi asam kuat.



Gambar 4: Grafik hubungan antara konduktivitas listrik PANi dengan variasi arus elektropolimerisasi

Secara umum, konduktivitas listrik PANi yang disintesis dengan metode elektrokimia lebih besar nilainya daripada PANi yang disintesis dengan metode reaksi kimia. Penelitian sintesis PANi dengan metode reaksi kimia menghasilkan nilai konduktivitas listrik PANi-HCl sebesar 2,636 [8], 2,412 S/cm [9], dan 2,214 S/cm [10] sedangkan untuk PANi- $H_2SO_4$  didapatkan nilai konduktivitas listrik sebesar 1,9221 [11]. Nilai konduktivitas listrik PANi yang disintesis dengan metode reaksi kimia lebih rendah karena PANi yang dihasilkan berupa serbuk. Polimer berbentuk serbuk mempunyai rantai yang pendek, sehingga ketika dikompaksi untuk dijadikan pelet, rantai-rantai pendek ini saling terbelit satu sama lain. Rantai-rantai PANi yang saling terbelit ini mengganggu pergerakan muatan sehingga menurunkan nilai konduktivitas listriknya. PANi yang disintesis dengan metode elektrokimia menghasilkan *film* yang tumbuh secara teratur pada elektroda kerja, sehingga rantai PANi yang terbentuk teratur dan tumbuh berlapis-lapis. Struktur rantai PANi yang tumbuh teratur dan berlapis-lapis ini mempermudah pergerakan muatan sehingga meningkatkan konduktivitas listriknya. Jadi, metode sintesis dengan elektrokimia lebih disarankan untuk mendapatkan PANi dengan konduktivitas listrik yang tinggi. Hal yang perlu diperhatikan dalam pelepasan *film* PANi dari elektroda karbon harus hati-hati supaya tidak merusak struktur PANi yang sudah terbentuk. PANi yang tumbuh pada elektroda karbon semakin lama semakin tebal, kemudian pada ketebalan maksimumnya yaitu sebesar 0,35 cm, *film* PANi terpecah dan terlepas dari elektroda karbon. *film* PANi yang sudah terlepas ini kemudian dikeringkan pada suhu ruang atau dengan oven yang diatur pada suhu 60°C selama 4 jam. *film* PANi yang sudah kering langsung dimasukkan ke cetakan kompaksi kemu-

dian dikompaksi menjadi pelet. Hal yang perlu diperhatikan adalah jangan sampai *film* PANi ini setelah kering kemudian digerus sampai menjadi serbuk, hal ini justru merusak struktur *film* PANi yang sudah rapi terbentuk dan menurunkan konduktivitas listriknya.

#### IV. SIMPULAN

1. Elektropolimerisasi PANi dengan metode galvanostatik telah berhasil menumbuhkan *film* PANi pada elektroda karbon.
2. Uji spektroskopi FTIR menunjukkan terlihat adanya kecocokan antara data eksperimen dengan data referensi.

Terdapat vibrasi C-H bending, C-N stretching, C=C benzenoid dan C=C kuinoid yang merupakan karakter dari PANi konduktif fase garam emeraldin.

3. Laju pertumbuhan PANi bertambah seiring dengan besarnya arus elektropolimerisasi yang digunakan.
4. Nilai konduktivitas PANi meningkat dengan bertambahnya arus elektropolimerisasi sampai mencapai nilai optimumnya pada arus elektropolimerisasi 0,25 A (250 mA) yaitu sebesar  $(20,83 \pm 3,04)$  S/cm, kemudian konduktivitas PANi menurun pada arus elektropolimerisasi 0,5 A dan 1 A.

- 
- [1] Yang, Jiping, dkk., *Applied Polymer Science*, **56**, 831-836(1995).
- [2] Angelopoulos M, Asturias G.E, Erner S. P, Mac Diarmid .G, Ray A & Scheer E.M., *Polyaniline: Solution, films and Oxydation State*, Mol Crystal. Lip crystal, Vol.**160** (1998).
- [3] Suryaningsih, Sri, Harjo, D.H., Demen, T.A., *Analisis Konduktivitas Bahan Polianilin Sebagai Fungsi Konsentrasi Elektrolit*, Laporan Akhir Penelitian, UNPAD, Bandung, 1998.
- [4] Hidayat, Rachmat, *Elektropolimerisasi dan Doping Polianilin Serta Pengkajian Pengaruh Parameter Elektropolimerisasinya*, Laporan Tugas Akhir, ITB, Bandung, 1993.
- [5] Kusumawati, D.H, Setiasih W, Putri N.P., *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol.4 no.1 Januari 2008, (2008)
- [6] Wibawanto, R.H. , *Elektropolimerisasi film Polianilin Dengan Metode Potensiostatik*, Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 2009.
- [7] Poli, Agustinus A., *Pengaruh Konsentrasi Elektrolit Terhadap Karakteristik Polianilin yang Disintesis secara Elektrokimia*, Skripsi, Unair, Surabaya, 2007.
- [8] Irfa, Rochimah A. , *Elektropolimerisasi Polianilin Pengaruh Konversi dan Jenis Asam Dopan Terhadap Konduktivitas Polianilin*, Laporan Tugas Akhir ITS, Surabaya, 1995.
- [9] Pradhana, I Gusti Bagus Astu, *Sintesis Komposit Nano Polianilin-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Karakterisasi Sifat Listrik dan Magnetiknya*, Laporan Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 2009.
- [10] Permana, Andry, *Sintesis Bahan Nanokomposit Polianilin (PANi) - TiO<sub>2</sub> Dan Karakterisasinya Sebagai Pelapisan Tahan Korosi*, Laporan Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 2010.
- [11] Sucahyo, Eko, *Sintesis dan Kajian Pengaruh tingkat Keasaman (pH) dopan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Terhadap konduktivitas Listrik Polianilin*, Laporan Tugas Akhir, ITS, Surabaya, 2001.