

PEMBUATAN ELEKTRODA TIPE KAWAT TERLAPIS POLIPIROL-LISIN DAN STUDI PENGGUNAANNYA SEBAGAI SENSOR POTENSIOMETRIK LISIN

Widya Ernayati K., Buchari*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
widya_ernayati@yahoo.com

*Departemen Kimia, Institut Teknologi Bandung.

* buchari@chem.itb.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pembuatan elektroda termodifikasi film polipirol-lisin dan penerapannya untuk sensor potensiometrik lisin. Polipirol-lisin dilapiskan pada permukaan elektroda Pt dengan metode elektropolimerisasi dalam larutan air yang mengandung L-lisin HCl dan ion ClO_4^- pada pemindaian potensial 0 – 1.100 mV terhadap elektroda Ag/AgCl sebanyak 50 siklus. Kondisi optimum elektroda tipe kawat terlapis polipirol-lisin diperoleh pada komposisi pirol/lisin/ ClO_4^- : 0,05/0,05/0,1 M. Spektrum FTIR telah direkam dan menunjukkan lisin terimobilisasi dalam film polipirol. Elektroda yang dibuat menunjukkan perilaku Nernstian dengan kemiringan $56,91 \pm 1,75$ mV per dekade (per 10 mV) pada daerah linier 10^{-3} – 10^{-1} M, batas deteksi 10^{-4} M lisin, waktu respon pada konsentrasi daerah linier dari 120 - 60 detik. Pemakaian selama 20 hari menunjukkan respon yang relatif konstan. Kedapatulangan elektroda cukup bagus ditunjukkan dengan koefisien variansi (%KV) sebesar 3,06.

Kata kunci: lisin, polipirol, elektropolimerisasi, sensor potensiometrik

ABSTRACT

Films of polypyrrole/L-Lysine have been deposited on platinum electrodes by electrochemical oxidation of pyrrole in water solution containing L-Lysine HCl and ClO_4^- . Deposition of the film was carried out 50 cycles by potential scan between 0 -1,100 mV vs. Ag/AgCl. Optimum composition for electropolymerization of coated wire electrode based on polypyrrole/L-lysine was pyrrole/lysine/ ClO_4^- : 0.05/0.05/0.1 M. The film polypyrrole/L-lysine was analyzed by FTIR. The spectrum indicated that L-Lysine was trapped and immobilized on polypyrrole. The electrode exhibiting Nernstian behavior with slope 56.91 ± 1.75 mV per decade for 5 electrodes at 10^{-1} – 10^{-3} M, a linear response to lysine concentration spanning four orders of magnitude (10^{-1} – 10^{-4} M), and a detection limit of 10^{-4} . After 20 days, the response unchanged. The electrode proposed has a good reproducibility with % CV = 3.06 %..

Keywords: lysine, polypyrrole, electropolymerization, potentiometric sensor

1. PENDAHULUAN

Polipirol merupakan senyawa kimia yang tersusun atas sejumlah cincin pirol yang saling terikat. Polipirol (ppy) dikategorikan sebagai polimer konduktif karena memiliki sifat konduktivitas yang cukup tinggi. Polimer konduktif seperti polipirol dapat didepositkan pada permukaan elektroda secara oksidasi elektrokimia. Elektroda tipe kawat terlapis polipirol telah diaplikasikan sebagai sensor potensiometrik yang mungkin untuk berbagai ion dan molekul¹. Asam amino lisin dan alanin dapat dimuatkan dan dilepaskan pada polipirol. Transfer asam amino dalam membran polipirol ke dalam larutan asam amino yang sesuai dengan berbagai konsentrasi memberikan respon voltametrik yang memenuhi persamaan Nernst. Dengan demikian membran polipirol dapat digunakan sebagai sensor asam amino tertentu². Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan elektroda tipe kawat terlapis polipirol dengan meng-*imobilisasi* asam amino lisin dalam polimer secara oksidasi

elektrokimia yaitu voltametri siklik. Selanjutnya elektroda di atas dikaji karakteristik dan kemungkinan penggunaannya sebagai sensor potensiometrik (ESI) untuk asam amino lisin.

2. STUDI PUSTAKA

Elektroda berlapis polipirol merupakan elektroda termodifikasi kimia dengan mendepositkan polipirol secara oksidasi elektrokimia pada substrat seperti platina, emas, karbon gelas, besi, baja, aluminium, kuningan, baja lunak, dan seng³. Untuk meningkatkan selektifitas dan sensitivitas polipirol maka perlu dibuat komposisinya. Pembuatan komposit polipirol dilakukan dengan cara mengikat gugus-gugus fungsional sebelum polimerisasi⁴. Monomer pirol dapat dioksidasi dalam media air yang mengandung biomolekul seperti enzim, antibodi, oligonukleotida, dan fragmen protein. Dengan menggunakan teknik ini, berbagai molekul dapat dilibatkan dalam pertumbuhan polimer untuk memberikan aktivitas biologi pada matriks yang dihasilkan. Elektroda berlapis komposit polipirol banyak diaplikasikan sebagai sensor kimia potensiometrik untuk penentuan berbagai ion-ion dan molekul dalam bidang lingkungan dan biokimia. Berbagai jenis sensor kimia dan biosensor berbasis komposit polipirol yang telah dikembangkan secara ringkas disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Sensor kimia berbasis komposit polipirol^{5,6,7,8,9,10}

Jenis komposit	Jenis modifikasi elektroda	Jenis sensor	Aplikasi
Ppy-glukosa oksidase ⁵	Platina/karbon gelas berlapis	amperometrik	Sensor glukosa
Ppy-komplek poliiion-urease ⁶	Platina berlapis	potensiometrik	Sensor urea
PVC-ppy-DBS ⁷	Platina berlapis	potensiometrik	Sensor linier alkilbensulfonat
PVC-ppy-DBS ⁸	Tipe tabung	potensiometrik	Sensor linier alkilbenzenasulfonat
Ppy-nitrat ⁹	Serat karbon berlapis	potensiometrik	Mikrosensor nitrat
Ppy-ρ(HEMA)-kolesterol oksidase ¹⁰	Platina berlapis	amperometrik	Sensor kolesterol

Potensial elektroda polipirol (ppy) dalam kasus suatu kesetimbangan termodinamika dan pertukaran ion dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[PPy^+]}{[PPy]} + \Delta\Phi D \quad (1)$$

Dalam hal ini,

E° : potensial standar sistem redoks ppy⁺/ppy

[ppy⁺] dan [ppy] : konsentrasi kesetimbangan bentuk teroksidasi dan tereduksi ppy

$\Delta\Phi D = \pm \frac{RT}{F} \ln \frac{x}{a}$: potensial Donnan pada antar muka polimer|larutan

Perbandingan [ppy⁺]/[ppy] menyatakan bahwa keadaan oksidasi polimer ditentukan dengan proses redoks spontan antara polimer dengan komponen redoks aktif larutan. $\Delta\Phi D$ dapat bernilai positif (penukar anion, ppy didoping dengan anion anorganik kecil) atau negatif (penukar kation, ppy didoping dengan anion organik besar). Jika tingkat doping polimer konstan ([ppy⁺]/[ppy] = konstan) respon potensial Donnan dari elektroda polipirol terhadap ion-ion dalam larutan uji dapat diperoleh¹¹. RT/nF dikenal dengan faktor Nernst yang pada 25°C bernilai 59,16/n mV per dekade (per 10 mV). Faktor Nernst merupakan salah satu parameter umum elektroda yang ditunjukkan dengan kemiringan yang dihasilkan dari kalibrasi respon potensial elektroda terhadap aktivitas ion

primer, biasanya pada kisaran $10^{-7} - 10^{-1}$ mol/L. Semakin dekat nilai kemiringan dengan faktor Nernst, makin ideal perilaku elektroda. Elektroda tipe kawat Pt terlapis berbasis polipirol dengan dopan anion dodesil benzen sulfonat (DBS⁻) dalam matriks PVC telah ditunjukkan sebagai sensor ion DBS⁻ dengan faktor Nernst 58 mV/dekade pada kisaran konsentrasi DBS⁻ $3,0 \times 10^{-6}$ hingga $1,1 \times 10^{-3}$ M⁷. Elektroda serat karbon terlapis polipirol nitrat telah dikembangkan sebagai mikrosensor nitrat. Elektroda tersebut menunjukkan perilaku Nernst dengan kemiringan 54 ± 1 mV/dekade pada kisaran konsentrasi nitrat $10^{-4} - 10^{-1}$ m dengan batas deteksi 3×10^{-5} M⁹.

Penurunan persamaan 1 untuk sistem polipirol dengan ionofor lisin adalah sebagai berikut :

$$E = E^o + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[PPy^+]}{[PPy]} \pm \frac{RT}{nF} \ln \frac{[lis]_{mem}}{[lis]_{lar}}$$

$$E = E^o + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[PPy^+]}{[PPy]} \pm \frac{RT}{nF} (\ln[lis]_{mem} - \ln[lis]_{lar})$$

$$E = E^o + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[PPy^+]}{[PPy]} \pm \frac{RT}{nF} \ln[lis]_{mem} \pm \frac{RT}{nF} \ln[lis]_{lar}$$

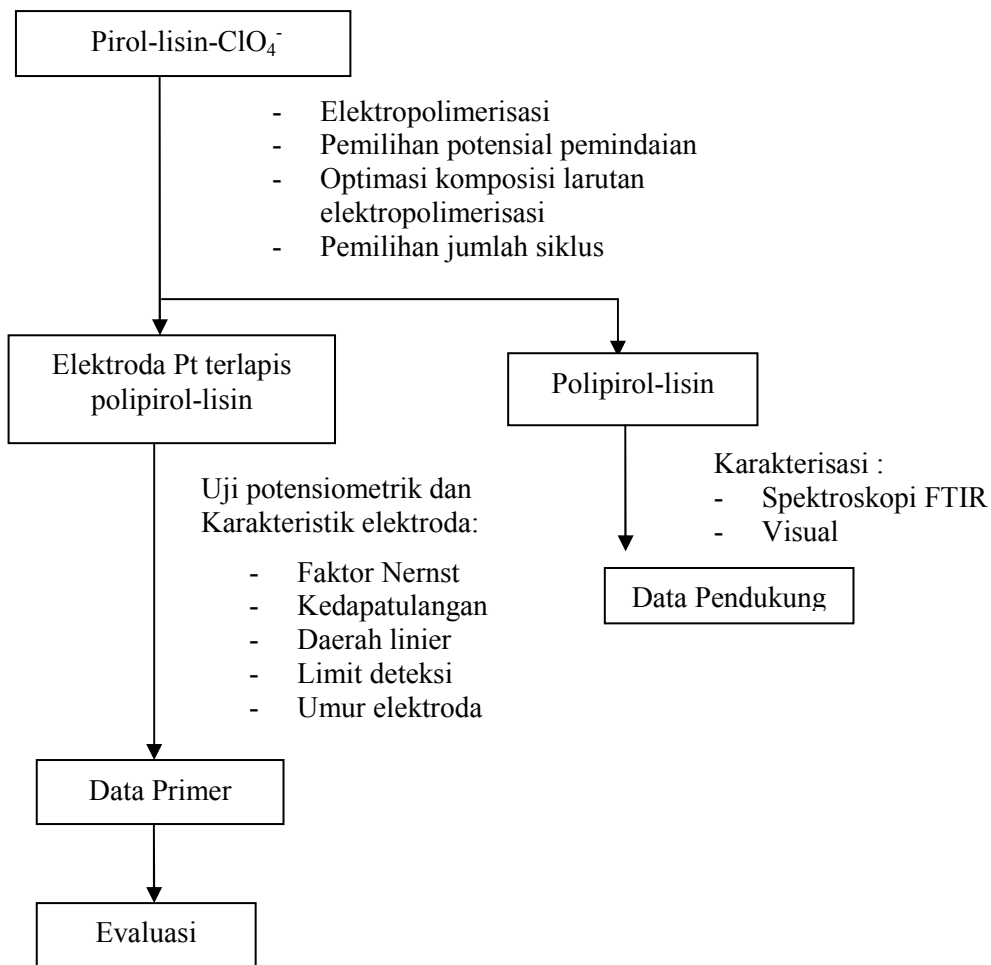
$$E = K \pm \frac{RT}{nF} \ln[lis]_{lar} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan di atas maka potensial elektroda sebanding dengan konsentrasi lisin dalam larutan. Mekanisme sensitifitas potensiometrik dari potensial yang dihasilkan polimer konduktif antara lain sebagai berikut¹¹

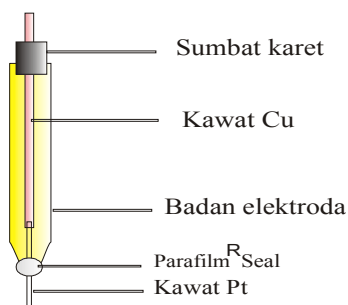
- Respon potensial sebagai perubahan potensial yang jatuh pada antar muka polimer konduktif/larutan ditentukan dengan transfer elektron dan ion-ion tanpa perubahan keadaan redoks dan polimer
- Respon potensial sebagai hasil proses redoks yang mengarah pada kesetimbangan redoks baru antara polimer dan larutan

3. METODOLOGI PENELITIAN

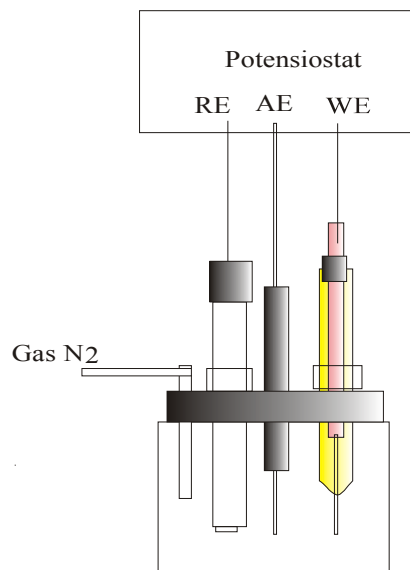
Elektroda dibuat dari kawat platina (Pt) ukuran panjang 2,5 cm dan diameter 0,5 mm dipatri dengan kawat tembaga 7 cm. Elektroda dimasukkan ke dalam badan elektroda berupa tabung polietilen hingga hanya kawat platina yang keluar dari badan elektroda sepanjang 0,5 cm. Pirol dielektropolimerisasi pada permukaan kawat platina secara voltametri siklik dengan potensial pindai dari 0 – 1100 mV dan laju selusur 100 mV/s sebanyak 50 siklus. Elektropolimerisasi dilakukan pada potensial 0-1100 mV dengan komposisi pirol/lisin/ ClO_4^- : 0,01 M/0,01 M/0,1 M; 0,05 M/0,05 M/0,1 M; dan 0,1 M/0,1 M/0,1 M. Elektroda terlapis komposit polipirol digunakan sebagai elektroda kerja dalam alat potensiometer untuk mengukur potensial elektroda dalam larutan lisin dengan konsentrasi $10^{-6} - 10^{-1}$ M. Penentuan faktor Nernst dilakukan dengan menguji elektroda pada pengukuran lisin dalam larutan dengan berbagai konsentrasi pada daerah linier. Dari kurva potensial terhadap p[isin] dapat diperoleh nilai kemiringan yang merupakan faktor Nernst. Karakterisasi lain yang meliputi limit deteksi, waktu respon, dan usia pemakaian juga dilakukan secara potensiometrik (pengukuran potensial) menggunakan alat potensiometer.



Gambar 1 Diagram alir penelitian



Gambar 2 Konstruksi elektroda



RE : elektroda pembanding
 AE : elektroda pembantu
 WE: elektroda kerja

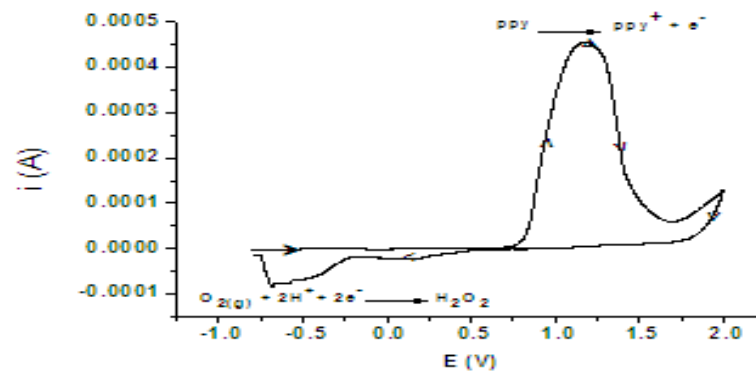
Gambar 3 Skema alat elektropolimerisasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

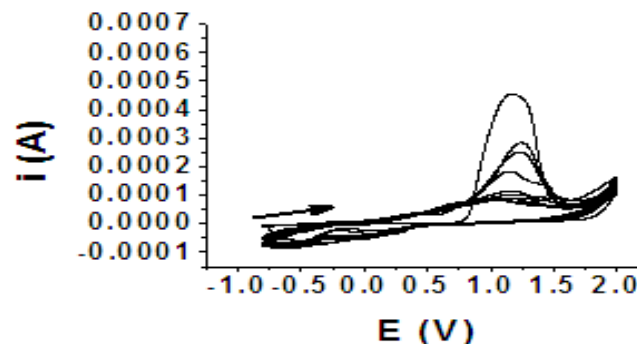
4.1 Pemilihan potensial kerja pada elektropolimerisasi pirol

Elektroda kerja tipe kawat terlapis polipirol-lisin dibuat dengan menggunakan teknik elektropolimerisasi yaitu melapiskan polipirol pada permukaan elektroda platina pada potensial terkontrol (potensiostatik).

Untuk menentukan daerah potensial kerja pertama kali dilakukan pemindaian pada daerah potensial -800 hingga 2000 mV. Voltamogram siklik yang khas untuk siklus pertama ditunjukkan dalam Gambar 4. Arah pemindaian berasal dari potensial negatif menuju pada potensial yang lebih positif. Pada daerah di atas +500 mV arus mulai naik dan mencapai puncak pada daerah +1300 mV. Puncak ini disebut sebagai puncak arus anodik yang mengindikasikan terjadinya oksidasi pirol pada permukaan elektroda. Pada potensial lebih dari +1300 mV arus mulai menurun perlahan, kemudian pada potensial +2000 mV arah pemindaian dibalik menuju arah sebaliknya. Dari voltamogram tampak tidak muncul puncak sampai potensial sekitar +600 mV. Pada potensial -640 mV menunjukkan puncak dari reduksi oksigen pada permukaan elektroda. Perbandingan arus puncak anodik dan katodik, $I_{pa}/I_{pc} > 1$ menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi pada permukaan elektroda terjadi secara irreversibel.



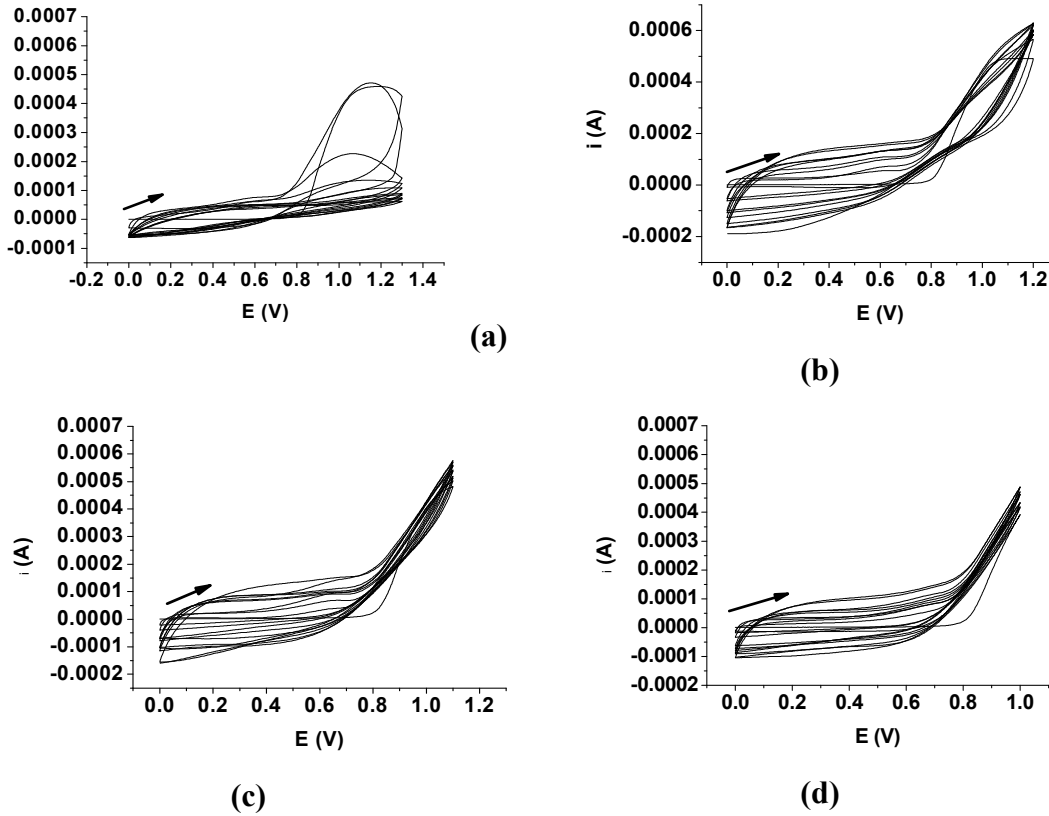
Gambar 4 Voltamogram siklik siklus pertama pemindaian pada potensial -800 hingga 2000 Mv



Gambar 5 Voltamogram siklik pada potensial -800 hingga 2000 Mv 10 siklus

Elektropolimerisasi pada potensial ini dilakukan sebanyak 10 siklus dan voltamogram sikliknya ditunjukkan dalam Gambar 5. Dari voltamogram tampak pada siklus kedua dan seterusnya terjadi penurunan arus yang ditunjukkan dengan penurunan puncak anodik.

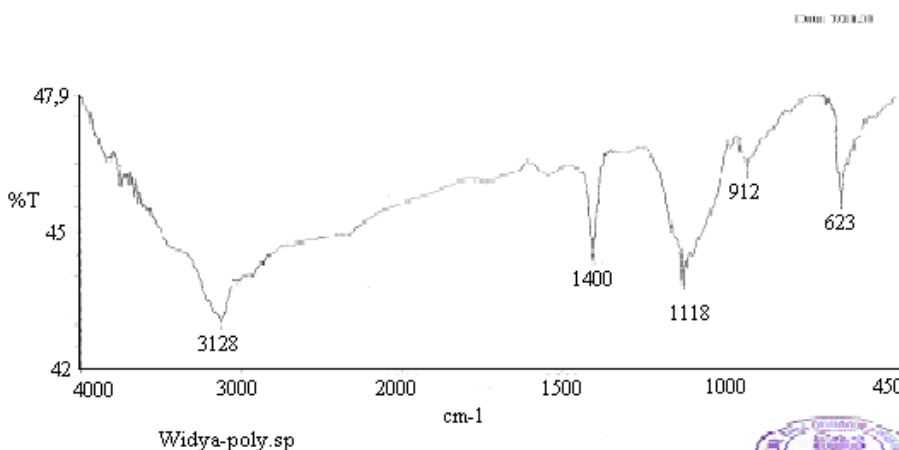
Untuk mengefektifkan daerah potensial kerja berdasarkan voltamogram pada Gambar 5, kemudian dilakukan pemindaian pada daerah potensial kerja antara 0 hingga 1300 mV, 0 hingga 1200 mV, 0 hingga 1100 mV dan 0 hingga 1000 mV ketika puncak arus oksidasi anodik mulai muncul. Perbandingan keempat voltamogram disajikan dalam Gambar 6. Voltamogram 6c dan voltamogram 6d memberikan informasi bahwa pembentukan lapisan film polipirol pada elektroda platina relatif homogen dan konsentrasi polipirol relatif besar. Namun, pada voltamogram 6c menunjukkan arus puncak anodik yang lebih besar sehingga daerah potensial kerja optimum dipilih pada pemindaian 0 hingga 1100 mV.



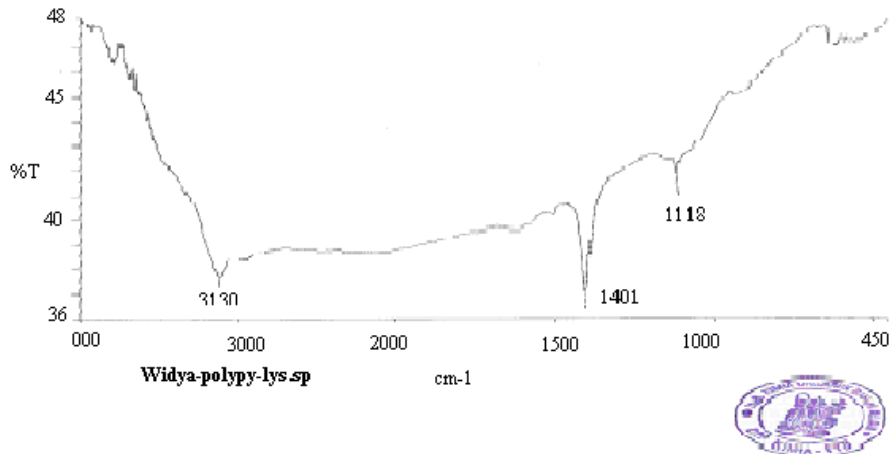
Gambar 6 Perbandingan voltamogram siklik pada pemindaian potensial dari (a) 0 hingga 1300 mV, (b) 0 hingga 1200 mV, (c) 0 hingga 1100 mV dan (d) 0 hingga 1000 mV

4.2 Analisis Spektroskopi Inframerah

Polipirol dipilih sebagai materi pendukung untuk mengamobilkan lisin sebagai ionofor yang dapat mengeskan ion lisin dalam larutan uji. Spektrum FTIR polipirol dan polipirol-lisin disajikan dalam Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Spektrum FTIR polipirol

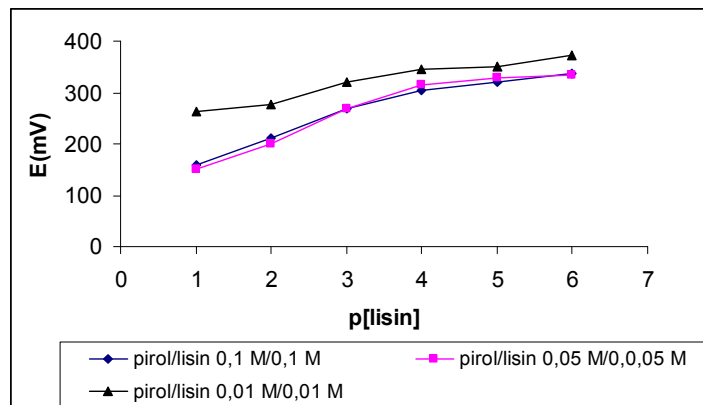


Gambar 8 Spektrum FTIR polipirol-*lisin*

Dalam Spektrum FTIR polipirol pada Gambar 7 terdapat beberapa puncak yang menunjukkan karakteristik senyawa pirol. Puncak tajam pada bilangan gelombang 3128 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan gugus N-H khas dari senyawa heteroaromatik pirol, pada 1400 cm^{-1} terdapat puncak tajam yang menunjukkan adanya gugus -C-N pada cincin heteroaromatik dari pirol, pada bilangan gelombang 1118 cm^{-1} adanya gugus -C-H pada cincin pirol, pada 912 cm^{-1} menunjukkan -C-H di luar bidang dan pada 623 cm^{-1} menunjukkan H-C=C-H. Spektrum FTIR polipirol-*lisin* ditunjukkan pada Gambar 8. Dari spektrum tersebut tampak adanya pelebaran puncak serapan pada daerah regangan gugus N-H dan terjadi penurunan intensitas serapan yang signifikan pada daerah di bawah 1400 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa *lisin* teramobilkan dalam polipirol.

4.3 Pengaruh komposisi polimer konduktif

Hasil pengukuran potensiometri elektroda berlapis polipirol-*lisin* untuk mempelajari pengaruh konsentrasi pirol dalam membran polipirol ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9 Pengaruh konsentrasi pirol dalam komposisi elektroda

Berdasarkan Gambar 9 tampak bahwa daerah linier atau trayek pengukuran pada kisaran 10^{-1} – 10^{-4} M dan pada kisaran 10^{-1} – 10^{-3} M diperoleh nilai faktor Nernst yang lebih baik. Pada konsentrasi lebih kecil dari 10^{-4} M potensial cenderung konstan dan kemiringan jauh menyimpang dari faktor Nernst, hal ini menunjukkan bahwa elektroda yang dibentuk tidak mampu lagi membedakan konsentrasi *lisin* dengan pasti pada konsentrasi lebih kecil 10^{-4} M.

Hasil Pengamatan memperlihatkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi *lisin* pada larutan uji, harga potensial elektroda semakin turun. Fakta ini mengindikasikan bahwa elektroda polipirol memiliki karakter elektroda selektif anion. Pengaruh komposisi polimer terhadap kemiringan pada daerah linier ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Pengaruh komposisi polimer konduktif terhadap faktor Nernst

Elektroda	Komposisi elektroda Pirol/lisin/ClO ₄ ⁻	Faktor Nernst (mV/dekade)		R	
		Daerah linier		Daerah linier	
		10 ⁻¹ – 10 ⁻⁴ M	10 ⁻¹ – 10 ⁻³ M	10 ⁻¹ – 10 ⁻⁴ M	10 ⁻¹ – 10 ⁻³ M
A	0,1/0,1/0,1	51.5	55.3	0.9923	0.9990
B	0,05/0,05/0,1	56.5	58.8	0.9962	0.9931
C	0,01/0,01/0,1	28.7	28.7	0.9621	0.9104

Berdasarkan tabel di atas tampak kemiringan maksimum sebesar 58,83 mV/ dekade yaitu diperoleh pada komposisi elektroda: pirol/lisin/ClO₄⁻ = 0,05 M/0,05 M/ClO₄ 0,1 M. Harga kemiringan sebesar itu menunjukkan bahwa lisin yang terukur adalah bermuatan satu, sedangkan profil antara konsentrasi larutan uji lisin tampak berbanding terbalik dengan potensial elektroda, ini juga menunjukkan bahwa lisin yang direspon tersebut adalah bermuatan negatif. Jadi dengan demikian, lisin yang direspon dalam hal ini adalah lisin bermuatan negatif satu. Hal ini sesuai dengan persamaan Nernst untuk suatu anion yaitu:

$$E = K - \frac{S}{n} \log[li\ sin] \quad (3)$$

atau

$$E = K + \frac{S}{n} p\ li\ sin \quad (4)$$

Dengan S/n bernilai 59,16 mV per dekade untuk ion bermuatan satu, pada 25° C.

4.4 Pengaruh Konsentrasi Lisin

Pengaruh konsentrasi lisin di dalam membran polipirol terhadap kemiringan ditunjukkan dalam Tabel 3. Berdasarkan data pada tabel di atas tampak bahwa ketiga elektroda menunjukkan kinerja yang Nernstian. Kemiringan yang paling mendekati persamaan Nernst diperoleh pada elektroda dengan konsentrasi lisin 0,05 M. Sehingga dapat disimpulkan bahwa elektroda yang memiliki kinerja paling bagus adalah elektroda dengan komposisi pirol/lisin/ClO₄⁻ = 0,05 M/0,05 M/0,1 M. Untuk memastikan bahwa pada komposisi di atas merupakan komposisi optimum yang mencapai sifat Nernstian maka dipelajari dari sifat Nernstian terhadap logaritma perbandingan konsentrasi dari fasa membran dan fasa larutan yaitu melalui persamaan Nernst 2. Secara teori faktor Nernst dari persamaan Nernst 1 dan 2 akan sama¹¹. Perubahan yang terjadi yaitu adanya penambahan nilai K. Hal ini juga dapat sesuai dengan persamaan 8.

Tabel 3 Pengaruh lisin dalam membran polipirol

Konsentrasi lisin dalam membran polipirol (M)	Persamaan Nernst 1 E=f(-log[L2])			Persamaan Nernst 2 E=f(log[L1]/[L2])		
	Kemiringan	K	R	Kemiringan	K	R
0,01	57,5	97,9	0,9909	57,9	218,6	0,9741
0,05	58,8	88,0	0,9931	58,8	164,0	0,9919
0,1	55,7	109, 9	0,9847	55,7	165,2	0,9830

4.5 Karakteristik Kinerja Elektroda Terlapis Polipirol-Lisin

4.5.1 Faktor Nernst

Optimasi pembuatan elektroda terlapis polipirol-lisin diperoleh elektroda dengan kinerja optimum dengan komposisi elektroda pirol/lisin/ $\text{ClO}_4^- = 0,05/0,05/0,1$ M. Faktor Nernst dari elektroda terlapis polipirol-lisin hasil percobaan ditunjukkan dalam dan Tabel 4.

Tabel 4 Faktor Nernst elektroda terlapis polipirol-lisin

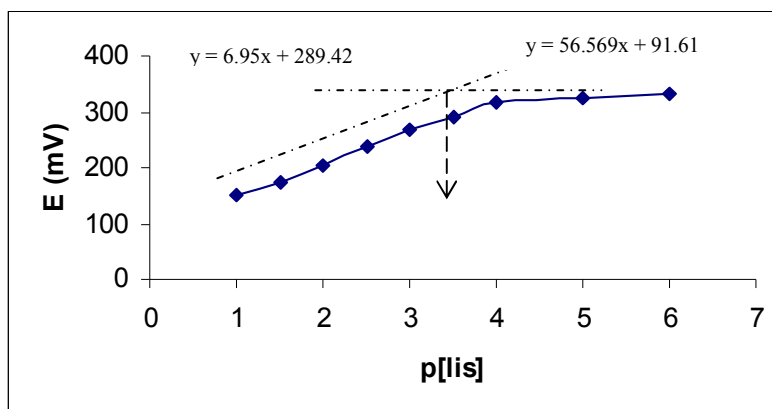
p[lisin]	Potensial elektroda (mV)				
	E1	E2	E3	E4	
1	188,4	183,6	214,3	205,4	151,4
1,5	214,9	207,9	238,3	233,6	173,2
2	243,3	237,5	269,4	264,6	201,1
2,5	276,8	267,2	300,6	292,5	235,0
3	297,8	290,2	328,9	317,9	267,6
4	339,3	322,8	367,3	355,5	315,0
5	347,8	344,5	385,3	380,0	328,7
6	354,8	355,3	390,1	387,8	334,2
Kemiringan	56,2	54,5	58,3	56,8	58,8
K	131,9	128,3	153,7	149,2	88,0
R	0,9964	0,9980	0,9981	0,9989	0,9931
	Kemiringan rata-rata		56,9		
	Trayek pengukuran		$10^{-1} - 10^{-3}$ M		
	Daerah linier		$10^{-1} - 10^{-4}$ M		
	Simpangan baku		1,75		
	Koefisien Variansi (%KV)		3,06 %		

Berdasarkan Tabel 4 tampak bahwa faktor Nernst rata-rata pada daerah $10^{-1} - 10^{-3}$ M dari kelima elektroda sebesar 56,91 mV/dekade sehingga dapat dikatakan bahwa elektroda terlapis polipirol-lisin bersifat Nernstian. Range daerah linier diperoleh pada trayek $10^{-1} - 10^{-4}$ M namun, pada daerah ini faktor Nernst menurun. Dengan demikian maka trayek pengukuran elektroda terlapis polipirol-lisin ditetapkan pada rentang konsentrasi $10^{-1} - 10^{-3}$ M.

Untuk menguji keberulangan dibuat 5 buah elektroda pada komposisi yang sama. Selanjutnya, keberulangan dilihat dari simpangan baku dan persen koefisien variansi dari kelima elektroda yang diperoleh masing-masing adalah 1,75 dan 3,05 %. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa elektroda terlapis polipirol-lisin mempunyai kedadapatulangan yang cukup baik.

4.5.2 Batas Deteksi

Pada konsentrasi pirol optimum dapat ditentukan batas deteksinya yaitu dengan membuat garis singgung pada fungsi linier yang Nerntisian dan non Nerntisian.



Gambar 10 Penentuan batas deteksi dari elektroda

Titik potong kedua garis diekstrapolasikan ke sumbu x sehingga dapat diperoleh konsentrasi batas deteksi. Hasil penentuan batas deteksi ditunjukkan dalam Gambar 10. Batas deteksi sebesar 10^{-4} M yang sebanding dengan $18,25 \text{ mg L}^{-1}$ lisin.

4.5.3 Waktu Respon

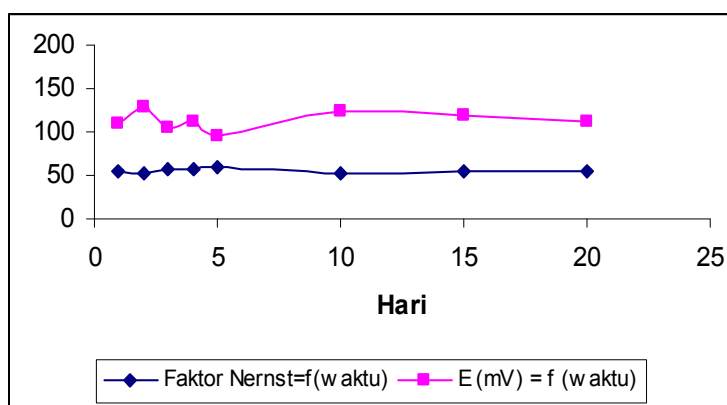
Waktu yang dibutuhkan oleh suatu elektroda terlapisi polipirol-lisin sampai diperoleh potensial yang relatif konstan ditunjukkan dalam Tabel 5. Semakin besar konsentrasi lisin dalam larutan waktu respon semakin cepat. Hal ini disebabkan proses kesetimbangan termodinamik antara fasa membran (fasa organik) dan fasa air (larutan uji) pada antarmuka akan lebih cepat tercapai.

Tabel 5. Waktu respon elektroda

Konsentrasi lisin (M)	Waktu respon rata-rata elektroda (detik)		
	Elektroda A	Elektroda B	Elektroda C
10^{-1}	30	60	60
10^{-2}	60	90	90
10^{-3}	90	120	120
10^{-4}	120	150	150
10^{-5}	210	180	210
10^{-6}	240	210	240

4.5.4 Umur Pemakaian Elektroda

Umur pemakaian elektroda kawat terlapisi polipirol-lisin dapat dilihat dari besarnya penyimpangan faktor Nernst dan pergeseran potensial (*Potential drift*). Harga faktor Nernst dan *potential drift* (k) pada selang waktu 1 hingga 20 hari tampak seperti pada Gambar 11. Selama 20 hari elektroda menunjukkan nilai kemiringan yang Nernstian dan relatif konstan yaitu sekitar $55,6 \text{ mV per dekade}$. Sedangkan pergeseran potensial yang berfluktuasi antara $94,4$ hingga $123,9 \text{ mV}$. Jadi pemakaian elektroda selama 20 hari kinerja elektroda yang dikembangkan masih layak digunakan.



Gambar 11 Umur pemakaian elektroda yang dilihat dari Penyimpangan Faktor Nerst dan Potential drift

5. SIMPULAN DAN SARAN

Elektroda tipe kawat terlapisi film polipirol-lisin dikembangkan optimum pada komposisi pirol/lisin/ $\text{ClO}_4^- = 0,05/0,05/0,1 \text{ M}$. Karakterisasi potensiometrik elektroda menunjukkan perilaku Nernstian dengan kemiringan $56,9 \pm 1,8 \text{ mV per dekade}$ dan mampu mengukur lisin dengan batas deteksi 10^{-4} M dengan trayek pengukuran 10^{-1} - 10^{-4} M . Dengan demikian elektroda yang dikembangkan berpotensi untuk digunakan sebagai sensor potensiometrik asam amino lisin. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai berbagai kinerja elektroda untuk mendukung penggunaannya sebagai suatu sensor kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tamm, J., A. Alumaa, A. Hallik, V. Sammelseg, 1996. Nature of Ion Sensitivity of Polypyrrole Electrodes, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 414,149-158.
- [2] Suratman, A., 2003. Pengaruh Asam Amino pada Proses Elektropolimerisasi Pirel, Tesis, Departemen Kimia, ITB, Bandung.
- [3] Akundy, S.G., R. Rajagopalan, J. O. Iroh, 2002. *Journal Applied Polymer Science*, Vol. 83,1970-1977.
- [4] Wang, J., 2000, *Analytical Electrochemistry*, 2nd Edition, Wiley-VCH, New York, page 171, page 124-127.
- [5] Sadik A.O., S.Brenda, P.Joasil, J.Lord, 1999. *Journal.Chemed,Chem.Wisc.Edu.*, Vol. 76, , 967-970.
- [6] Osaka, T., S. Komaba, Y. Fujino, T. Matsuda, I. Satoh, 1999. *J. Electrochemical Society*, Vol. 146, 615-619.
- [7] Dastjerdi, L.S., N. Alizadeh, 2004. *Analytical Chimica Acta*, Vol. 505,195-200.
- [8] Alizadeh, N., H.K. Tazekendi, 2001. *Sensor and Actuator B Chemical*, Vol. 75, page 5-10.
- [9] Bendikov. M. A., J.Kim, T.C.Harmon, 2005. *Sensor and Actuators*, Vol. 106, page 512-517.
- [10] Mehrvar, M., M. Abdi, *J. Analytical Science*, Vol. 20, 2004, page 1113-1126.
- [11] Alumaa, A., A.Hallik, U. Mäeorg, V. Sammelseg, J.Tamm, 1998. *Potentiometric Properties of Polypyrrole Bilayers*, *Electrochimica Acta*, Diamond, D., *Principles of Chemical and Biological Sensors*, Vol. 150, John Willey And Sons, New York, page 19-41.