



OPTIMASI SINTESIS POLIMER PIRROL
SECARA ELEKTROKIMIA

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Penyelesaian Program Sarjana Sains
Jurusan Fisika Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Oleh :

Ani Setiyawati

NIM. 971810201072

Asal:

Hadiah

Klass

~~Pembelian~~

668.9

Terima :

16 MAY 2002

SET

No. Induk

0807

0

KLASIR / PENYALIN :

SRS.

e.1

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER

MEI 2002

MOTTO

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اسْتَعِينُوا بِالصَّبْرِ
وَالصَّلَاةِ إِنَّ اللَّهَ مَعَ الصَّابِرِينَ (اسفرة : ١٥٣)

*"Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu,
sesungguhnya Allah beserta orang-orang sabar"*

(QS Al Baqarah : 153)

*"Temanilah ulama, ahli ilmu, dekatilah mereka, sebab Allah menghidupkan hati dengan
cahaya hikmah, seperti menghidupkan tanah dengan air hujan. Wajib engkau
berilmu, sebab apabila engkau fakir, maka ilmu itu menjadi hartamu dan
apabila engkau kaya, maka ilmu itu akan menjadi hiasanmu.*

*Jadilah engkau seorang ahli ilmu, penuntut ilmu,
pendengar ilmu atau sebagai orang yang mau
mendatangi ilmu"*

(Nasihat Luqmanul Hakim pada anaknya)

Karya tulis ini ku persembahkan buat :

1. Ibu, Alm. Bapak dan Alm. Budhe tersayang, yang senantiasa memberikan kasih sayang, do'a dan bimbingan,
2. Kakak-kakak dan adikku, juga ponakanku tersayang yang senantiasa memberikan motivasinya,
3. Bapak pembimbing I dan pembimbing II yang telah membimbing dalam menyelesaikan skripsi ini,
4. Alnamater yang kubanggakan.



DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan Mei 2001 sampai dengan bulan Oktober 2001 di Laboratorium Fisika Tahun II FMIPA UNEJ. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, April 2002

Ani Setiyawati



ABSTRAKS

OPTIMASI SINTESIS POLIMER PIROL SECARA ELEKTROKIMIA (Ani Setiyawati, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika, Univ. Jember)

Penelitian tentang polimerisasi polipirrol secara elektrokimia dengan berbagai rapat arus, pelarut dan konsentrasi dopan telah dilaksanakan dalam tugas akhir ini. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tahun II F. MIPA Universitas Jember mulai bulan Mei sampai dengan Oktober 2001. Polimerisasi polipirrol dilakukan dengan menggunakan 2 macam pelarut yaitu aquades dan asetonitril, dan sebagai pendukung elektrolit digunakan sodium p-toluen sulfonat. Pada pelarut aquades, konsentrasi dopan yang digunakan adalah 0,05 M, 0,1 M dan 0,2 M. Sedangkan pada pelarut asetonitril dilakukan penumbuhan dengan konsentrasi dopan 0,05 M. Pada pelarut yang sama, polimerisasi dilakukan dengan rapat arus yang berbeda, hingga 5 kali yaitu dengan urutan rapat arus polimerisasi dari $1,5 \text{ mAcm}^{-2}$, 2 mAcm^{-2} , $2,5 \text{ mAcm}^{-2}$, $3,5 \text{ mAcm}^{-2}$, 5 mAcm^{-2} , dimana setiap pengulangan berlangsung selama 1 jam. Dengan cara yang sama (pada larutan beda dengan identitas larutan sama) polimerisasi dilakukan dengan urutan rapat arus dari besar ke kecil. Polimer yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi untuk mendapatkan harga konduktivitas listrik dengan metode 4 jolok linear. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan harga konduktivitas listrik film tipis polipirrol hasil polimerisasi secara elektrokimia sebanding dengan kenaikan rapat arus polimerisasi. Dan pada pelarut asetonitril menghasilkan film tipis dengan harga konduktivitas listrik lebih bagus dari pada film yang dihasilkan dengan pelarut aquades. Konsentrasi dopan sangat berpengaruh terhadap pembuatan film tipis polipirrol khususnya terhadap harga konduktivitas listrik film yang dihasilkan, yaitu semakin besar konsentrasi dopan makin besar pula konduktivitas listrik film yang terbentuk sampai pada harga konsentrasi dopan tertentu.

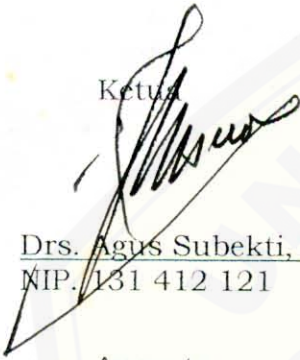
HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan di depan tim penguji dan diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari : Jum'at
Tanggal : 26 April 2002
Tempat : F. MIPA Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua



Drs. Agus Subekti, M.Sc., Ph.D.
NIP. 131 412 121

Sekretaris



Drs. Imam Rofi'i, M.Sc.
NIP. 131 975 310

Anggota

1. Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 131 756 172

2. Bambang Piluharto, Ssi, Msi
NIP. 132 164 055

Tanda Tangan


(.....)
(.....)

Mengetahui,

Dekan F. MIPA


Drs. Sumadi
NIP. 130 368 784

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang karena rahmat Nya serta berkat do`a restu semua pihak dan didasari oleh keteguhan hati, maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Drs. H. Agus Subekti, M.Sc, Ph.D sebagai dosen pembimbing utama (DPU) yang dengan penuh kesabaran telah membimbing penulis mulai dari menentukan topik sampai dengan bentuk laporan ini,
2. Drs. Imam Rofi'i, MSc sebagai dosen pembimbing anggota (DPA) yang telah membimbing dalam penyelesaian makalah ini,
3. Dosen-dosen kimia : Bambang Piluharto, M.Si, D. Setyawan P. H., M.Si yang ikut serta dalam penyelesaian skripsi ini,
4. Teman-temanku : Ririd, Ana, Titik, Supri, Efin, Soni, Dian, Herwin juga teman-teman seperjuangan angkatan '97 yang selalu memberi motivasi, masukannya dan atas kekompakannya, semoga cepat lulus,
5. Semua pihak yang telah membantu hingga dapat terselesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kami mengharapkan saran dan koreksi dari siapa saja yang berkenan demi sempurnaannya skripsi ini.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga dengan segala kekurangan, skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca dan dapat memberi kontribusi terhadap kemajuan ilmu pengetahuan khususnya bidang ilmu bahan.

Jember, April 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN DEKLARASI	iv
HALAMAN ABSTRAKS	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Makalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Polimer konduktif	5
2.2 Polimer pirol	5
2.3 Monomer polipirol	6
2.4 Struktur polipirol	6
2.3 Metode sintesis polipirol	7
2.4 Mekanisme Konduksi pada Material Amorphous	8
BAB III METODE PENELITIAN	10
3.1 Tempat dan Waktu	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.2.1 Alat	10
3.2.2 Bahan	10
3.3 Tahap Persiapan	11
3.3.1 Desain Sel Elektrokimia	11
3.3.2 Elektroda	13
3.3.3 Bahan Pelarut dan Pendukung Elektrolit	13
3.4 Tahap Polimerisasi	14

3.4.1 Mekanisme Elektropolimerisasi	14
3.4.2 Kondisi Elektropolimerisasi	15
3.5 Tahap Karakterisasi	17
3.5.1 Konduktivitas listrik	17
3.6 Analisa Hasil Penelitian	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Sintesis dan Identifikasi Sampel Polipirrol	21
4.2 Konduktivitas Polipirrol	22
4.3 Analisa Data Penelitian dan Pembahasan	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
DAFTAR PUSTAKA	
Lampiran 1. Perhitungan Nilai Konduktivitas Listrik Film Polipirrol	
Lampiran 2. Surat Keterangan Penelitian	

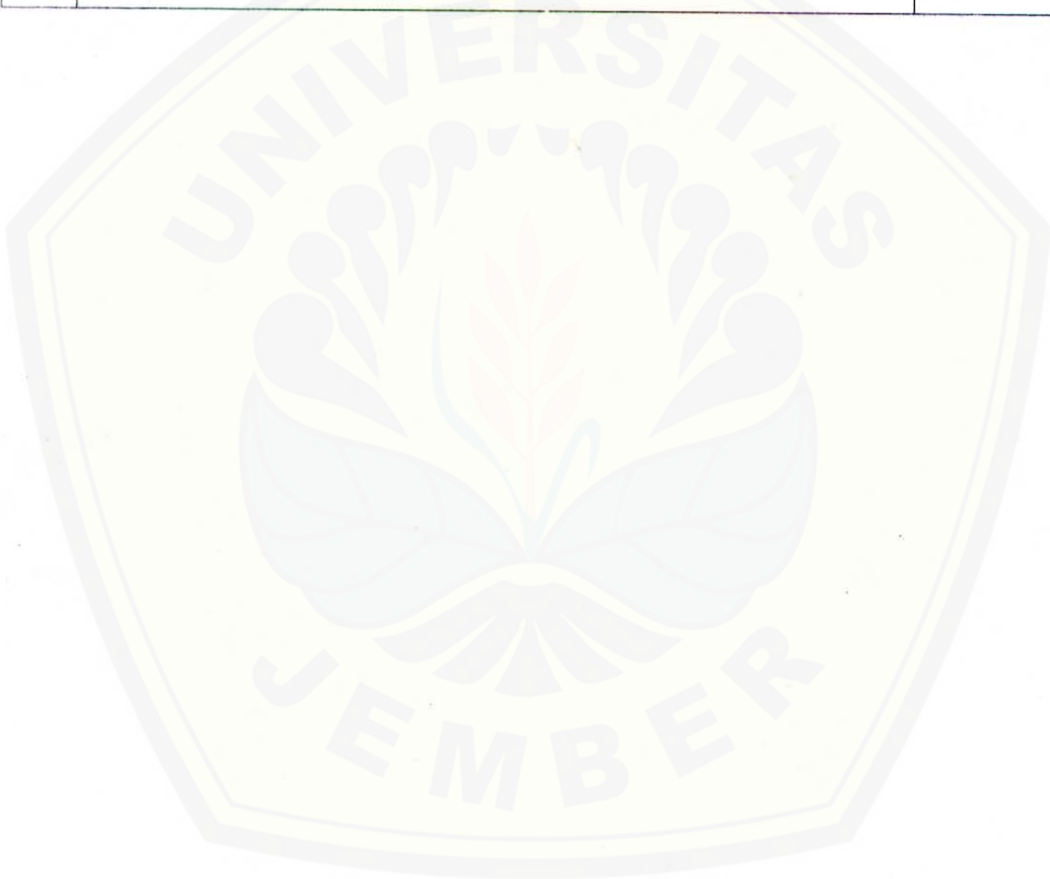
DAFTAR TABEL

No	Judul Tabel	Halaman
1	Sifat fisik pirrol	6
2	Identitas sampel polipirrol	21
3	Konduktivitas polipirrol	23



DAFTAR GAMBAR

No	Judul Gambar	Halaman
1	Konduktivitas listrik beberapa polimer konduktif dibanding dengan bahan lain	2
2	Skema geometri molekul pirrol	6
3	Skema sel polimerisasi	12
4	Mekanisme terjadinya film polipirrol	16
5	Garam sodium p-toluen sulfonat	17
6	Skema alat ukur konduktivitas listrik	19



DAFTAR GRAFIK

No	Judul Gambar	Halaman
1	Hubungan konduktivitas listrik vs rapat arus polimerisasi dengan pelarut aquadest dan asetonitril dengan konsentrasi dopan sama (0,05M)	26
2	Hubungan konduktivitas listrik vs rapat arus polimerisasi pada pelarut aquadest dengan (konsentrasi dopan 0,1 M) dengan urutan polimerisasi dari rapat arus kecil ke besar	27
3	Hubungan konduktivitas listrik vs rapat arus polimerisasi pada pelarut aquadest dengan (konsentrasi dopan 0,1 M) dengan urutan polimerisasi dari rapat arus besar ke kecil	27
4	Hubungan konduktivitas listrik vs konsentrasi dopan pada larutan aquadest dengan rapat arus 2,5 mA/cm ² saat polimerisasi	29





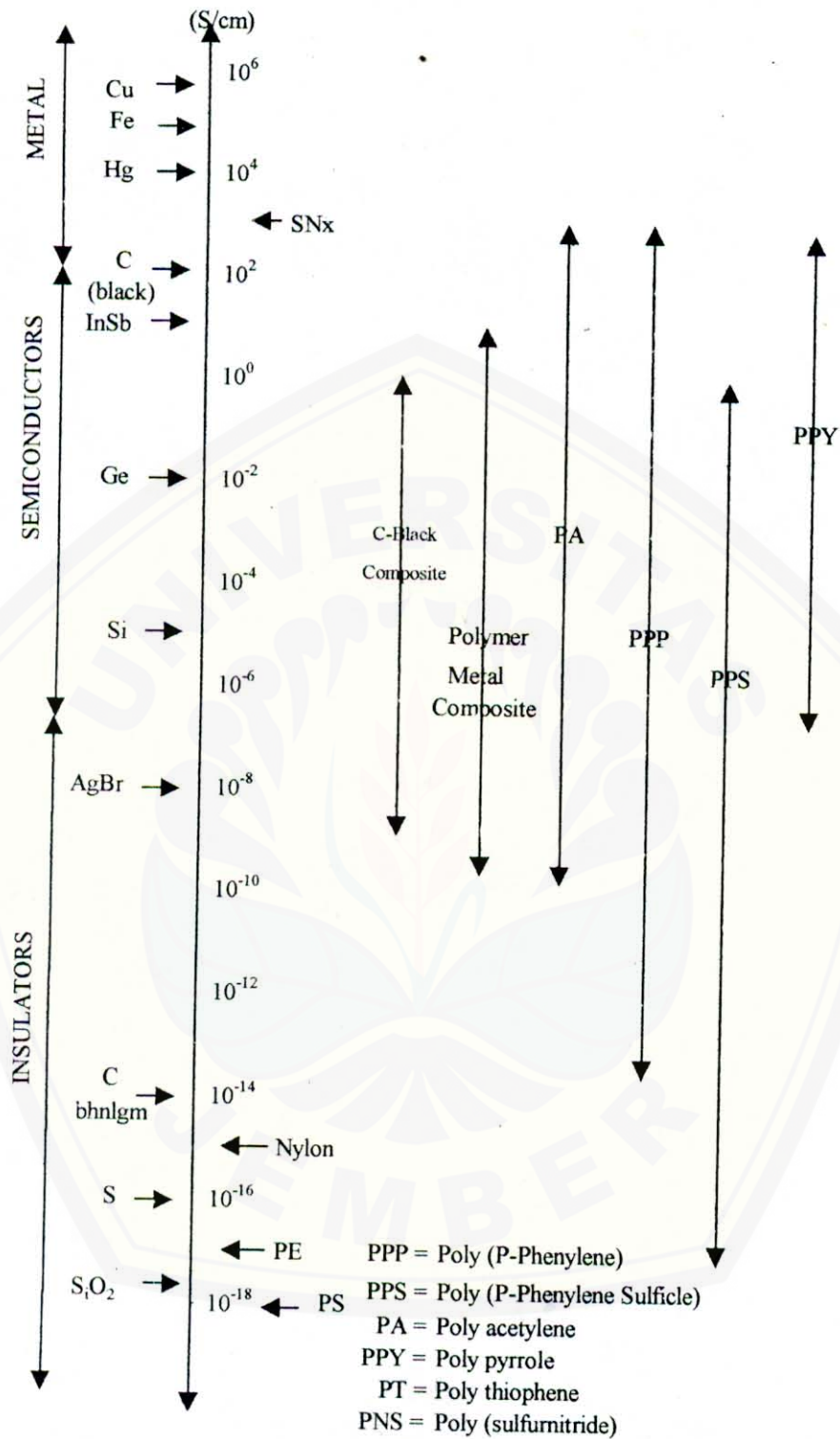
I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Polimer alam, seperti halnya selulosa, pati, dan protein, telah dikenal dan digunakan manusia berabad-abad lamanya untuk keperluan pakaian dan makanan, sedangkan polimer sintesis merupakan hal yang baru. Karet alam digunakan dalam tenunan berkaret sebelum Goodyear menemukan proses vulkanisasi pada tahun 1839. Selulosa nitrat (dihasilkan dari reaksi kertas dengan asam nitrat) pertama kali dibuat secara industri pada sekitar tahun 1870, dan poli(fenilena) atau polistirena ditemukan sekitar tahun 1930. Poli(etena), yang disebut juga polietilena atau polietena, pertama kali ditelaah di laboratorium ICI di Winnington, Cheshire, pada tahun 1933. Sejak saat itu sejumlah terobosan baru banyak dilakukan untuk menciptakan berbagai sistem polimer baru. Hasilnya tampak sebagai produk industri polimer yang begitu beragam sebagaimana yang terlihat sekarang ini (Cowd, 1981:1)

Bahan polimer yang lebih umum seperti plastik biasanya bersifat isolator. Namun demikian ada beberapa jenis polimer yang konduktif. Sifat konduktivitas listrik inilah yang banyak menarik perhatian para peneliti untuk mencari aplikasi yang tepat. Sifat bahan yang menjadi tuntutan bagi industri elektronik yaitu adanya bahan konduktor yang fleksibel, rapat massa rendah, dan mudah diproduksi.

Konduktivitas bahan ini dapat mencapai harga setinggi yang dimiliki oleh bahan semikonduktor non polimer atau logam. Poliasetilin sebagai contoh, dalam keadaan netral mempunyai konduktivitas listrik sekitar 10^{-8} Scm^{-1} dapat ditingkatkan konduktivitasnya dengan cara dikotori dengan elektron donor atau aseptor sehingga konduktivitasnya mencapai level $10^3\text{-}10^5 \text{ Scm}^{-1}$ (Subekti, 1993:1). Harga konduktivitas listrik dari beberapa polimer konduktif dibandingkan dengan bahan-bahan lain ditunjukkan oleh gambar 1.1.



Gambar 1.1 Konduktivitas listrik beberapa polimer konduktif dibanding dengan bahan lain (Sumber: Young, 1984:29)

Polimer konduktif netral dapat dibuat seperti layaknya industri polimer sintetik. Polimerisasi asetilin dapat dicapai dengan katalis Ziegler-Natta pada temperatur rendah. Poli(p-penilin) dan poli (penilin sulfida) juga sudah dibuat melalui sintesis secara kimia dengan metode Fredel-Crafts. Polimer yang diperoleh kemudian dibuat menjadi konduktif dengan jalan mengalirkan uap yang mengandung bahan pengotor seperti I_2 , AsF_5 , Br_2 , dan sebagainya atau dengan pengotor secara elektrokimia dengan pengotor ClO_4 , BF_4 , Li^+ , Na^+ (Subekti, 1993:1).

Polipirrol merupakan salah satu dari beberapa polimer konduktif. Polimer ini sudah dikenal lebih dari 70 tahun yang lalu, namun baru menjadi perhatian serius saat Kazanawa (1979:854) berhasil membuat film dengan metode elektrokimia. Saat itu dilaporkan bahwa konduktivitas film tersebut mencapai 100 S/cm. Sejak saat itu banyak peneliti yang berusaha untuk mendapatkan film yang bermutu dengan metode yang lebih sederhana. Film ini mempunyai kestabilan yang cukup baik terhadap pengaruh lingkungan. Kelebihan ini merupakan potensi yang sangat menarik untuk aplikasi pembuatan piranti elektronika.

Metode sintesis film tipis polipirrol dalam eksperimen ini adalah elektrokimia yaitu secara galvanostatik. Elektropolimerisasi pirrol dalam penelitian ini mengikuti prosedur yang diberikan oleh Maddison (1989:219). Elektroda yang digunakan adalah *stainless steel* dimana potensial oksidasinya lebih besar dari yang dimiliki pirrol. Logam campuran ini mempunyai kelebihan, yaitu merupakan bahan yang keras, tahan lama, mudah digosok, dan harganya murah bila dibanding dengan logam lain seperti emas ataupun platina. Elektropolimerisasi dilarutkan dalam larutan encer, dengan menggunakan aquades dan asetonitril sebagai pelarut dan sodium p-sulfat (p-TS) sebagai dopan.

Dalam laporan tugas akhir ini akan dijelaskan proses eksperimen pembuatan film tipis polipirrol dengan menggunakan metode di atas. Dengan mengubah-ubah arus, sampel yang diperoleh akan dikarakterisasi sifat kelistrikannya.

Tinjauan pustaka tentang polimer pirrol dijelaskan dalam bab II. Sedang metode pembuatan film tipis polipirrol dijelaskan dalam bab III.

1.2 Permasalahan

Bagaimana pengaruh rapat arus listrik terhadap harga konduktivitas listrik polipirrol hasil polimerisasi secara elektrokimia dengan menggunakan pelarut aquades dan asetonitrile dan dengan berbagai variasi harga konsentrasi dopan.

1.3 Tujuan Penelitian

Menentukan konduktivitas listrik optimum dalam sintesis polimer pirrol secara elektrokimia dengan menggunakan pelarut aquades dan asetonitrile.

1.4 Manfaat

Polimer pirrol dapat disintesis secara elektrokimia, yang mana nantinya akan diketahui harga konduktivitas listriknya. Dengan sintesis secara elektrokimia, diharapkan memperoleh film dengan harga konduktivitas yang bervariasi tergantung pada besarnya arus yang mengalir saat polimerisasi.

Dengan mengetahui optimasi sintesis polipirrol maka dapat dimanfaatkan sesuai dengan properti yang dimiliki oleh film ini.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer konduktif

Dewasa ini polimer telah diterima sebagai kelompok material dan sejajar kedudukannya dengan material lain seperti logam dan keramik. Dalam kelompok ilmu material (*material science*) telah banyak dipelajari dan dikembangkan terutama yang berkaitan dengan hubungan antara struktur dan sifat-sifat fisisnya.

Polimer konduktif (bersifat menghantarkan arus listrik) merupakan kelas yang relatif baru. Polimer jenis ini mempunyai beberapa keistimewaan, yaitu mempunyai konduktivitas listrik yang baik, sifat mekanik yang baik dan relatif mudah dibuat. Polimer konduktif yang telah dikenal diantaranya adalah Poli(p-phenylene), Polyacetylene, Polypyrrole, Polythiophene, dan Poly(sulfurnitride) (Subekti, 1993:1).

Namun demikian pada bagian ini akan dibahas tentang sintesis polimer pirrol secara elektrokimia dan juga penentuan harga konduktivitas.

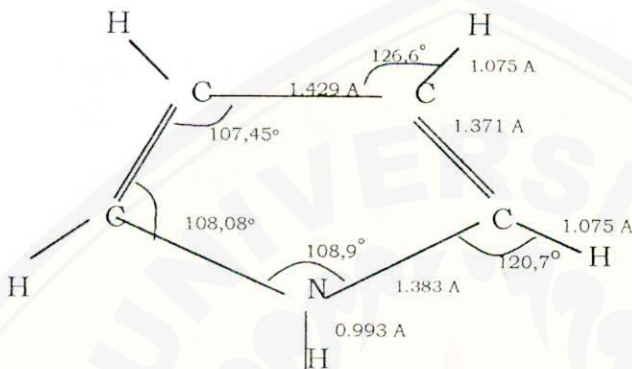
2.2 Polimer pirrol

Dalam keadaan baru dipolimerisasi, polipirrol berwarna coklat kehitaman dan mengkilat tapi karena bereaksi dengan udara, lama kelamaan akan menjadi hitam. Bahan ini mempunyai struktur amorfus seperti halnya pada semikonduktor amorfus. Berat molekul rata-rata (jumlah untaian monomer rata-rata) berharga sekitar $10^2 - 10^3$ satuan pirrol, dan tergantung pada kondisi polimerisasi (Nazzal dan Street, 1984:83).

Film ini mempunyai kestabilan yang cukup baik terhadap pengaruh lingkungan. Kelebihan ini merupakan potensi yang sangat menarik untuk aplikasi pembuatan piranti elektronika.

2.3 Monomer

Pirrol dapat ditemukan pada produk alam seperti klorofil, hemoglobin dan aspaltin. Dalam keadaan terdestilasi, bahan ini yang tak berwarna tapi akan menjadi hitam jika terkena udara. Skema geometri molekul ini seperti terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.1 Skema geometri molekul pirrol

Tabel 2.1 Sifat fisik pirrol
(Sumber : Encyclopedia of Chemical Technology, 1968)

Properti	harga
BM	67,09
titik didih, °C	130
rapat jenis (gr / cm ³)	2,31
temperatur kritis, °C	366
indek refraksi	1,508
titik lebur, °C	24
konstanta dielektrik pada 20° C	8

2.4 Struktur

Pengetahuan tentang kondisi dan faktor penting sangat diperlukan untuk mempelajari mekanisme hantaran listrik pada polipirrol.

Pola difraksi sinar-X dari oligomer polipirrol sudah diperoleh (Street, 1983:137). Struktur dimernya berupa monoklinik sedangkan trimernya berupa ortorhombik. Keduanya menunjukkan bahwa molekul pirrol terhubung pada α , α' . Namun demikian tidak ada informasi yang dapat diperoleh dari pola difraksi dari polimer pirrolnya karena ketidakteraturan struktur dari polimer ini.

Struktur dari polipirrol ini memang masih dalam perdebatan, terutama tentang bagaimana interaksi antara bahan pengotor (dopan) dan untaian pirrol. Penelitian lebih lanjut dari permasalahan ini sangat menarik untuk dikembangkan (Subekti, 1993:3).

2.5 Metode Sintesis Polipirrol

Angeli (1916:3) mengamati bahwa pirrol hitam dapat terbentuk melalui oksidasi pada temperatur ruang pada larutan asetat dengan hidrogen peroksida. Bocchi (1970:4037) juga mempelajari proses tersebut dan melaporkan bahwa larutan asam kuat akan memberikan polimer yang baik. Pengaruh pH pada medium sodium sitrat menunjukkan bahwa saat pH ditambahkan dari 1,1 ke 5, polimer yang dihasilkan menurun jumlahnya. Untuk medium air ternyata tidak terbentuk polimer. Sampai sejauh itu belum dilaporkan properti listrik dari polimer tersebut.

Mc. Neill (1963:1056) melaporkan pirolisis dari tetraiodopirrol. Pirolisis tersebut dilakukan pada udara terbuka pada temperatur 120 - 700°C menghasilkan polimer hitam dan tidak larut pada berbagai pelarut. Konduktivitas listrik dari polimer yang dihasilkan berkisar antara $5 \cdot 10^{-3} - 1$ S/cm tergantung pada temperatur pirolisis.

Gardidi telah mempelajari proses autooksidasi, fotooksidasi dan oksidasi melalui regen kimia dari pirrol monosiklik (1971:67). Ia melaporkan bahwa:

- pirrol akan mendapat serangan dari pengotor pada posisi α atau sisi lain jika kedua posisi α ditempati;
- pada media asam kuat, hasil utama berupa pirrol hitam;
- pada media asam atau basa lemah, pada air/pelarut organik, hasil oksidasi sederhana seperti meliamid akan didapat;

- elektron yang akan terikat pada cincin pirrol akan membuat pirrol tersebut lebih stabil.

Elektropolimerisasi dari pirrol pertama kali dilakukan oleh Dallioleo pada 1968, dimana film yang terbentuk pada platina mempunyai konduktivitas listrik sebesar 8 S/cm. Analisis elemental menunjukkan bahwa polimer terdiri dari 0,15 dianion sulfat untuk setiap cincin pirrol.

Kanazawa (1979) melaporkan penemuan polipirrol stabil, fleksibel dengan konduktivitas mencapai 100 S/cm dibuat dengan tehnik elektrokimia. Hasil kerja inilah yang akhirnya memicu pekerja lain untuk meneliti karakteristik lebih lanjut polimer ini.

Bocchi dan Gardini (1986:148) melaporkan adanya cara baru untuk memperoleh film polipirrol atau komposit polipirrol. Film dapat terbentuk dengan menaruh 30% larutan FeCl_3 dan 10% pirrol dalam benzena atau toluen dalam udara terbuka selama ± 6 jam. Film yang terbentuk pada permukaan, mempunyai konduktivitas listrik sebesar 8 S/cm. Konduktivitas tersebut dapat ditingkatkan sampai menjadi 10 – 30 S/cm dengan cara melapiskan polipirrol pada permukaan film poliasetilen atau lembaran karet latex (dengan tebal 0,1 – 0,2 mm).

Dari uraian di atas nampak bahwa tehnik elektrokimia merupakan metode yang paling tepat untuk membuat film polipirrol dengan kualitas yang baik.

2.6 Mekanisme Konduksi pada Material Amorphous

Pada semikonduktor kristal dan isolator, transportasi muatan biasanya terjadi oleh gerakan elektron bebas pada band konduksi dan gerakan lubang (hole) pada band valensi. Energi Fermi terletak diantara band gap, walaupun kehadiran kecacatan dalam kisi membuat adanya state yang terlokalisasi, dapat menggeser letak energi Fermi.

Pada material amorphous, energi Fermi terletak diantara band state yang terlokalisasi. Posisi tingkat Fermi sebenarnya ditentukan oleh distribusi muatan pada gap state, oleh karenanya energi Fermi dapat bergeser naik atau turun dengan proses doping atau dedoping.

Sehubungan dengan posisi dari energi Fermi, paling tidak ada dua kemungkinan mekanisme konduksi pada material amorphous. Pertama berupa proses hopping diantara state yang terlokalisasi dan proses lain berupa eksitasi termal ke extended state pada energi sebesar E_A . Pada kasus yang terakhir konduktivitas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \sigma_{\min} \exp [-(E_A - E_F)/kT] \quad 2.1$$

Pada suhu yang cukup rendah dimana eksitasi termal dari pembawa muatan dapat diabaikan, konduktivitas disebabkan oleh adanya hopping dari pembawa muatan antara state yang terisi ke state yang kosong disekitar energi Fermi.

Pada polimer konduktif seperti polipirrol, proses transportasi dapat dipandang sebagai akibat dari mobilitas elektron diantara state yang terlokalisasi, atau mobilitas pembawa muatan yang terksitasi seperti polaron dan bipolaron. Keduanya dapat dijelaskan dengan teori Mott variabel range hopping (VRH). Teori ini pada dasarnya hanya membahas probabilitas hopping dan tidak tergantung pada jenis pembawa muatan yang terlibat pada proses tersebut.

Hukum Mott variabel range hopping (VRH) memberikan persamaan ketergantungan konduktivitas listrik terhadap temperatur sebagai :

$$\sigma(T) = \sigma_0 (E_F) \exp [- (T_0/T)^{1/4}] \quad 2.2$$

dimana $\sigma(T)$ adalah konduktivitas listrik pada temperatur T , σ_0 adalah tetapan konduktivitas listrik dan T_0 adalah karakteristik temperatur.

Persamaan tersebut telah teramati oleh Kazanawa (1979) yang mengemukakan bahwa plot antara $\ln\sigma$ vs $T^{-1/4}$ memberikan kurva berupa garis lurus.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Tahun II Fakultas MIPA Universitas Jember pada periode Mei 2001 sampai dengan periode Oktober 2001.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Catu Daya Model Ketly 220,
- b. Voltmeter,
- c. Sel Sintesis,
- d. Beaker Glass,
- e. Desikator,
- f. Spet,
- g. Stop watch,
- h. pengaduk,
- i. Alat pengukur konduktivitas dengan metode 4 jolok,
- j. Elektroda stainless stell,
- k. Neraca elektrik.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Pirrol,
- b. Aquades,
- c. Asetonitril,
- d. Garam toluen p-sulfonat,
- e. Brasso sebagai pembersih elektroda.

3.3 Tahap Persiapan

Sejak ditemukannya polipirrol dengan elektropolimerisasi pertama kalinya oleh Dallileo pada tahun 1968, dengan menggunakan platina sebagai elektroda, film yang terbentuk mempunyai konduktivitas sebesar 8 S/cm. Perkembangan selanjutnya oleh Kazanawa (1979), dengan teknik elektrokimia juga didapat polipirrol stabil, fleksibel dengan konduktivitas yang dicapai sebesar 100 S/cm.

Hasil kerja inilah yang akhirnya memicu pekerja lainnya untuk meneliti karakteristik lebih lanjut tentang polimer ini. Berdasar hal tersebut di atas, pada penelitian ini, metode pembuatan film tipis polipirrol yang digunakan adalah dengan elektropolimerisasi.

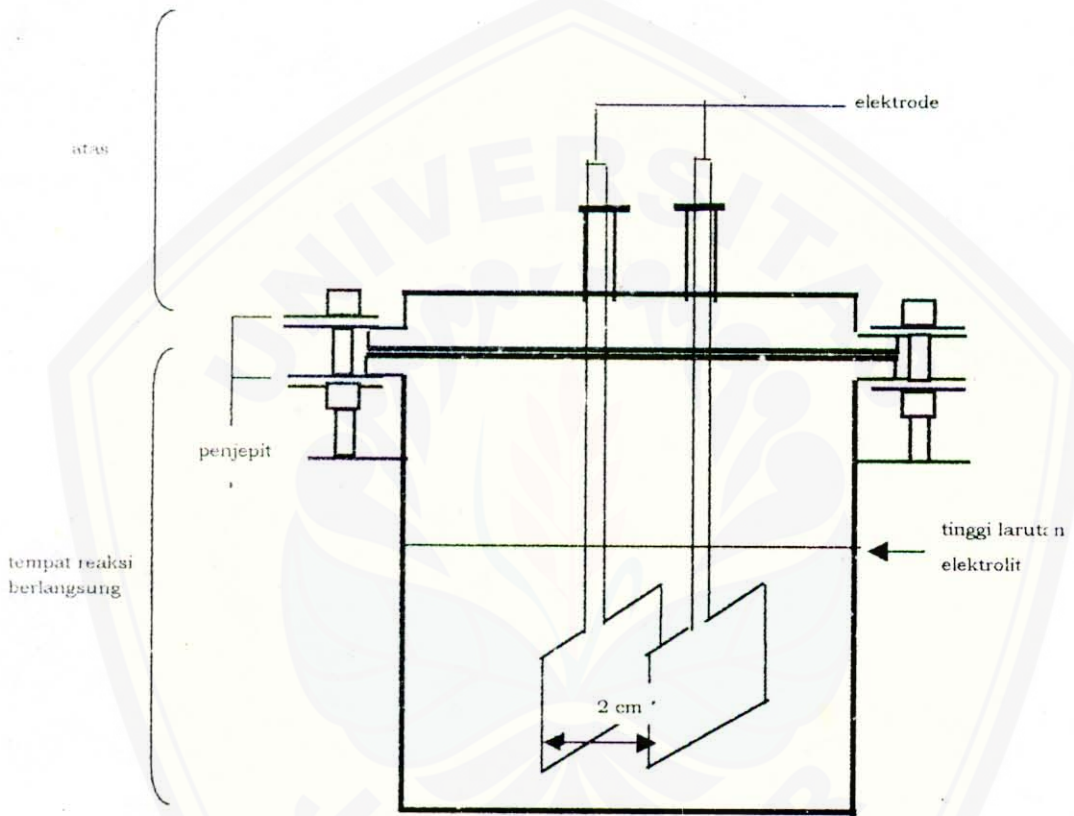
Tahap persiapan dilakukan untuk menyiapkan beberapa peralatan yang akan digunakan dalam proses polimerisasi dan karakterisasi. Beberapa prosedur yang diperlukan meliputi :

3.3.1 Desain Sel Elektrokimia

Polimerisasi secara elektrokimia dapat berlangsung secara potensiostatik (tegangan tetap) atau secara galvanostatik (arus tetap). Desain sel elektrokimia tergantung pada tipe eksperimen yang dipilih. Metode elektrolisis banyak dipilih karena peralatan yang diperlukan sederhana dan mudah dirangkai. Skema dari elektrokimia yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 3.1. Tabung reaksi didesain untuk dapat menampung larutan sebanyak 500 cm³.

Pada tutup atas terdapat 2 lubang, yaitu untuk memasukkan elektroda kerja dan elektroda kounter. Dalam penelitian ini tidak digunakan gas Nitrogen yang berfungsi sebagai pengikat oksigen sebagaimana dalam penelitian Subekti et. al. (1993)

Jarak vertikal dari kedua elektrode dibuat tetap sebesar 2 cm. Bagian tutup atas dan bagian tabung reaksi (bawah) dijepit dengan kuat agar tidak terjadi kebocoran gas selama proses polimerisasi.



Gambar 3.1 Skema sel polimerisasi

3.3.2 Elektroda

Potensial elektroda selalu didefinisikan relatif terhadap referensi standar. Biasanya sebagai referensi dasar adalah elektroda normal Hidrogen (ENH). Potensial dari elektroda ini didefinisikan sama dengan 0,00 Volt. Pada praktek potensial akan lebih meyakinkan jika diukur dengan referensi kedua seperti misalnya elektroda kalomel jenuh (EKJ) yang mempunyai potensial +0,2414 Volt relatif terhadap ENH (Bord dan Foulker, 1980:10).

Potensial oksidasi dari pirol adalah 1,2 Volt (Diaz, 1981:355). Untuk menghindari oksidasi pada elektroda (korosi) dan agar monomer dapat teroksidasi, potensial elektroda harus lebih besar atau sama dengan potensial oksidasi dari pirol.

Beberapa logam sangat mudah teroksidasi (potensial oksidasinya rendah). Emas dan platina, yang masing-masing mempunyai potensial oksidasi 1,71 dan 1,2 Volt, telah banyak digunakan sebagai elektroda untuk mengoksidasi pirol. Karena berbagai keterbatasan misalnya bentuk yang ada di pasaran dan harganya yang mahal, maka logam ini tidak praktis untuk digunakan.

Dalam penelitian ini elektroda yang digunakan adalah *stainless steel* dimana potensial oksidasinya lebih dari yang dimiliki pirol. Logam campuran ini mempunyai kelebihan, yaitu merupakan bahan yang keras, tahan lama, mudah digosok dan harganya murah bila dibanding emas atau platina.

3.3.3 Bahan pelarut dan pendukung elektrolit

Sejumlah pelarut organik baik yang encer maupun yang tidak, telah banyak digunakan untuk elektropolimerisasi pirol. Hal yang penting adalah bahwa pelarut harus mampu untuk melarutkan pendukung elektrolit. Pelarut organik yang sering digunakan garam asetonitril, tetrahidrofuran dan tetraalkilamonium.

Penggunaan pelarut organik sangat terbatas karena mahal, mempunyai berat molekul yang besar sehingga untuk mendapat larutan yang konduktif dibutuhkan jumlah yang besar, dan kadang-kadang dapat

timbul letusan. Elektropolimerisasi dengan menggunakan pelarut cair dapat menghasilkan polimer dengan konduktivitas listrik setinggi yang diperoleh dengan menggunakan pelarut organik.

Aquades sebagai salah satu pelarut cair mempunyai beberapa keistimewaan untuk digunakan sebagai pelarut. Dengan pelarut ini dimungkinkan pemakaian sejumlah ion sebagai dopan. Karena mudah didapat dan harganya yang relatif murah, aquades mempunyai potensial yang besar untuk memproduksi film polipirrol secara besar-besaran. Pada penelitian ini, digunakan 2 macam pelarut yaitu aquades dan asetonitrile.

3.4 Tahap Polimerisasi

Pengembangan dari eksperimen yang dilakukan oleh Subekti et. al. meliputi 3 tahap. Adapun penjelasan tentang masing-masing tahap-tahap tersebut adalah sebagai berikut :

3.4.1 Mekanisme Elektropolimerisasi

Polimerisasi secara kimia didasarkan pada prinsip elektrolisis biasa, yaitu dengan menggunakan 2 elektroda, 1 katoda sebagai elektroda negatif dan 1 anoda sebagai elektroda positif dicelupkan pada larutan garam (dapat menghantarkan arus listrik). Oksidasi dan reduksi secara simultan terjadi saat arus mengalir, yaitu ion negatif pindah ke anoda (dimana terjadi oksidasi).

Pertukaran ion positif dan ion negatif ini yang mengawali terjadinya untaian polimer. Perpindahan elektron kemungkinan membentuk reaksi gandengan, demikian seterusnya sehingga untaian polimer terbentuk karena elektron terus menerus ditransfer (Funt, 1986:587).

Untuk polipirol, mekanisme terjadinya proses elektropolimerisasi seperti gambar 3.2 (Genies, 1983). Proses pertama meliputi oksidasi monomer (pirrol) menjadi kation radikal dan dimerisasi dimana 2 dari kation tersebut membentuk pirrol dimer. Selanjutnya diikuti proses aromatisasi dan oksidasi dimer. Film terbentuk hanya jika besarnya potensial listrik cukup besar sehingga terjadi oksidasi pirol seperti diperlihatkan oleh kenyataan bahwa film tidak timbul lagi saat potensial

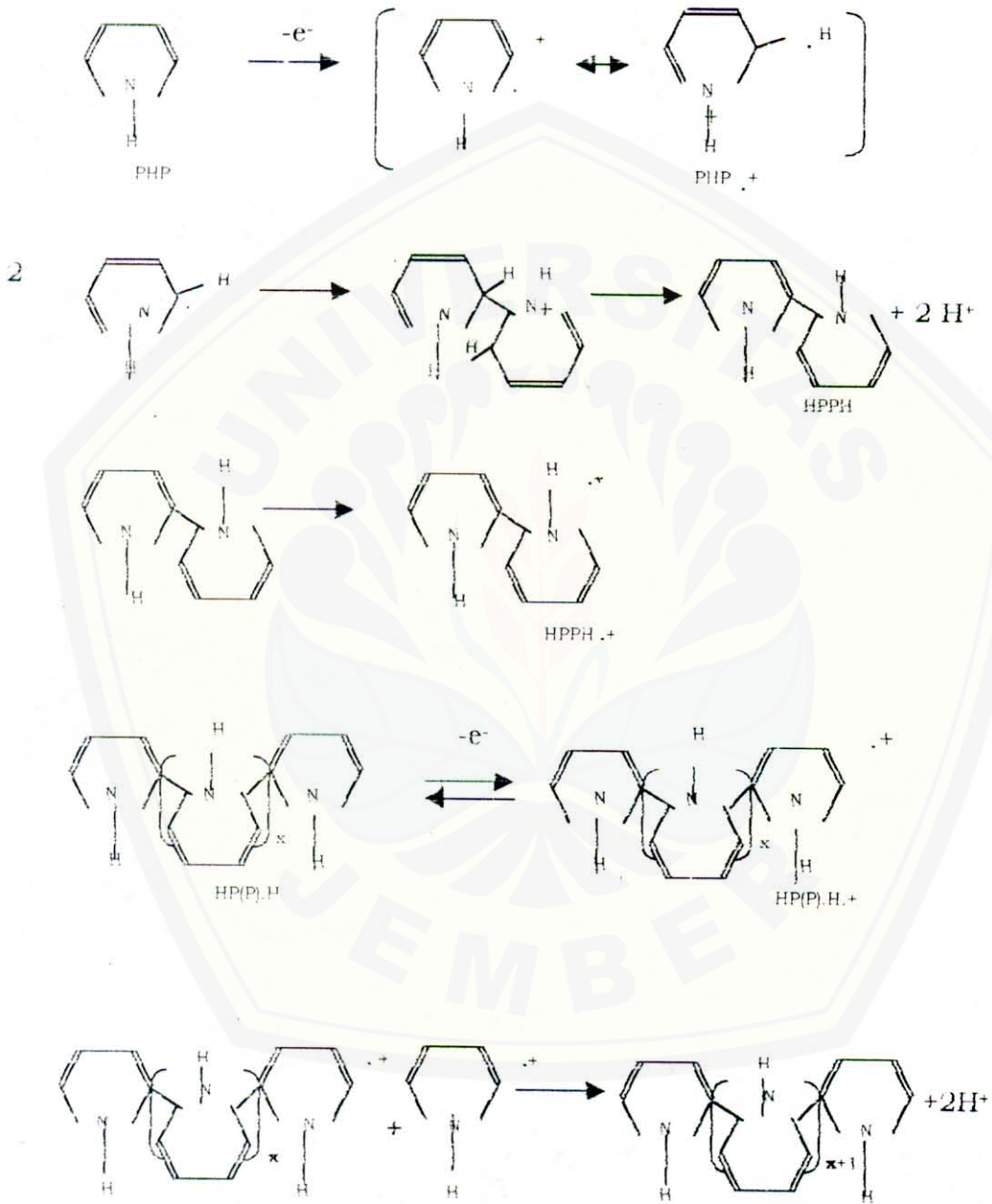
dikurangi ke harga diantara potensial oksidasi dari monomer pirrol dan film polipirrol.

3.4.2 Kondisi Elektropolimerisasi

Elektropolimerisasi dalam penelitian ini mengikuti prosedur yang diberikan oleh Maddison (1989:219). Maddison menggunakan elektroda *stainless steel* yang dilapisi dengan emas. Elektropolimerisasi dilarutkan dalam larutan encer, menggunakan air dan asetonitrile sebagai pelarut dan sodium p-sulfat (p-TS) sebagai dopan.

Dalam penelitian ini, pirrol dipolimerisasi secara elektrolisis dan menggunakan elektroda *stainless steel* dengan ukuran 5 x 5 x 0,2 cm³. Sebagai penguat daya digunakan sumber arus yang bervariasi Model Keithly 220. Kerapatan arus yang digunakan adalah besarnya arus yang diberikan dibagi dengan luas elektroda. Larutan encer dibuat dari air murni (deionized water) dan sodium p-toluen sulfonat sebagai pendukung elektrolit.

Larutan dibuat untuk beberapa kondisi, yaitu larutan aquades dengan konsentrasi dopan 0,05M, 0,1M, 0,2M dan larutan asetonitril dengan konsentrasi dopan 0,05M. Setiap kondisi di atas digunakan untuk 5 kali polimerisasi yaitu dengan menggunakan rapat arus sintesis 1,5 mA/cm², 2 mA/cm², 2,5 mA/cm², 3,5 mA/cm², dan 5 mA/cm² yang masing-masing polimerisasi dilakukan selama 1 jam. Dan setiap kondisi diulang (dilakukan 2 kali pengulangan), yang pertama dilakukan polimerisasi mulai dari rapat arus kecil ke besar yaitu dari 1,5 mA/cm², 2 mA/cm², 2,5 mA/cm², 3,5 mA/cm², dan 5 mA/cm². Dan yang kedua polimerisasi dimulai dari rapat arus yang besar ke kecil yaitu dari 5 mA/cm², 3,5 mA/cm², 2,5 mA/cm², 2 mA/cm², dan 1,5 mA/cm².



Gambar 3.2 Mekanisme terjadinya film polipirol (Genies, 1983:101)



Gambar 3.3 Garam Sodium p-toluen sulfonat

3.5 Tahap Karakterisasi

Karakterisasi film tipis polipirol yang dilakukan adalah sifat kelistrikkannya. Analisa sifat kelistrikan meliputi konduktivitas listrik. Konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan metode 4 jolok.

Adapun penjelasan dari karakterisasi parameter eksperimen tersebut adalah sebagai berikut :

3.5.1 Konduktivitas listrik

Pengukuran konduktivitas listrik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode 4 jolok sejajar.

Gambar 3.4 merupakan skema dari alat untuk mengukur besar konduktivitas listrik yang digunakan dalam penelitian ini. Arus bervariasi dialirkan melalui 2 elektroda luar, kemudian tegangan yang terjadi pada 2 elektroda di dalam diukur dengan sebuah voltmeter yang mempunyai impedensi tinggi.

Fungsi polimer yang akan diukur konduktivitas listriknya kemudian dipotong dengan dimensi tertentu. Konduktivitas listrik dari bahan tersebut diturunkan sebagai berikut, yaitu harga hambatan suatu bahan homogen

yang panjangnya ℓ , luas penampang A , dan resistivitas listrik bahan tersebut adalah ρ , dimana $\rho = 1/\sigma$, adalah :

$$R = \frac{\rho \ell}{A} \quad 3.1$$

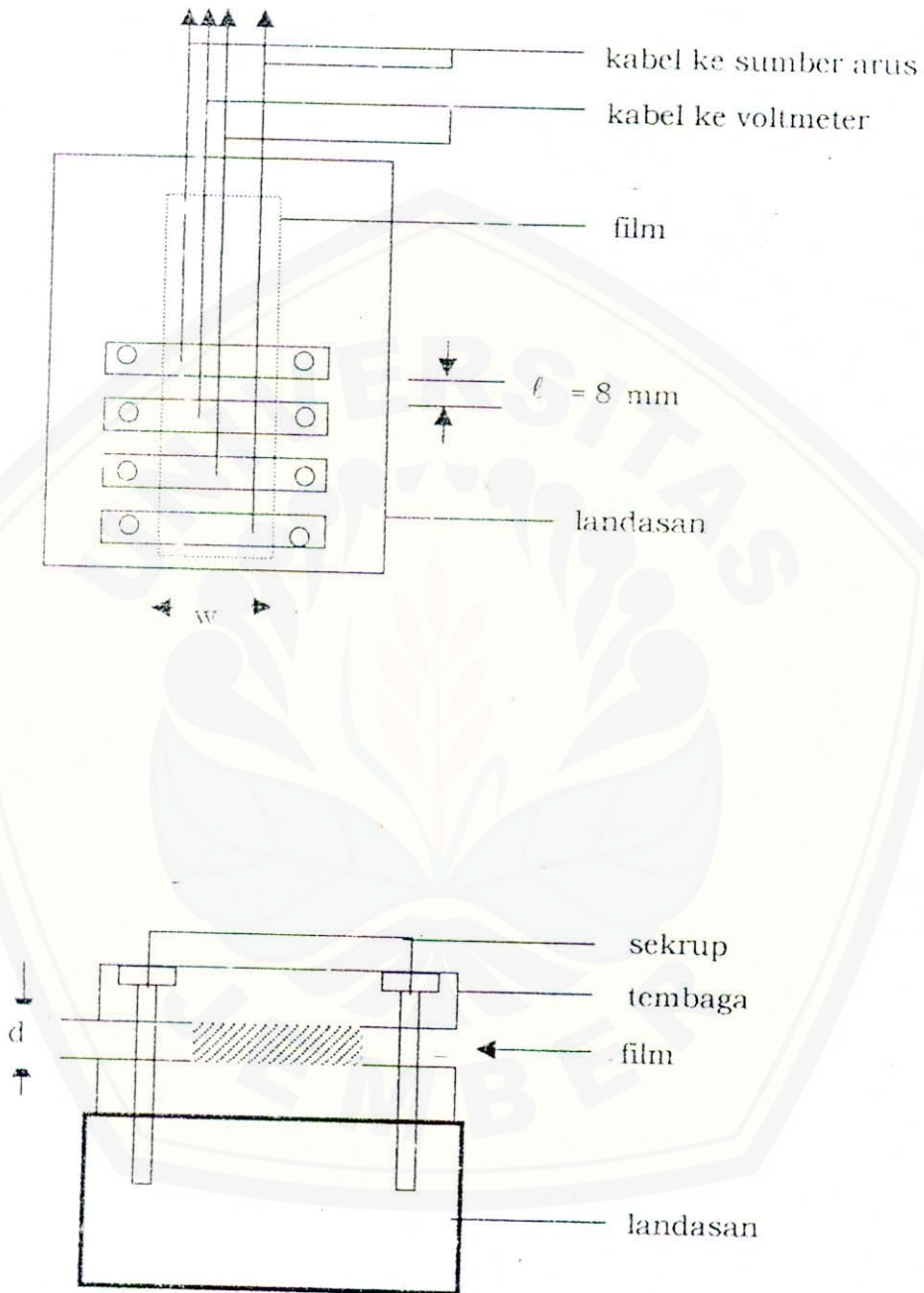
dimana, $A = w.d$, dan $R=V/I$, sehingga :

$$\frac{V}{I} = \frac{\ell}{\sigma} wd \quad 3.2$$

atau konduktivitas listrik bahan dapat dituliskan sebagai :

$$\sigma = \frac{I \ell}{Vwd} \quad 3.3$$

dimana, I adalah kuat arus yang mengalir
 ℓ adalah jarak antara dua elektroda dalam
 V adalah potensial listrik antara kedua elektroda dalam
 w adalah lebar polimer
 d adalah tebal polimer

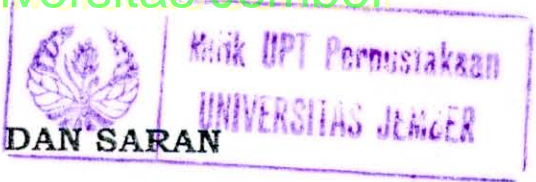


Gambar 3.4 Skema alat ukur konduktivitas listrik

3.6 Analisa Hasil Penelitian

Analisa hasil penelitian dilakukan setelah dilakukannya tahap polimerisasi dan karakterisasi. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, yang mana beberapa parameter diantaranya dibuat konstan. Parameter-parameter yang dibuat konstan tersebut antara lain : konsentrasi larutan dibuat 0,01 M, konsentrasi dopan 0,05 M, 0,1 M, 0,2 M untuk polimerisasi dengan menggunakan pelarut aquades dan konsentrasi dopan 0,05 M untuk polimerisasi dengan menggunakan pelarut asetonitril. Polimerisasi dilakukan pada temperatur ruang dan jarak elektroda juga dibuat tetap yaitu sebesar 2 cm.

Dari hasil karakterisasi akan didapat harga konduktivitas listrik dari polipirrol yang mana nanti akan dibandingkan harga konduktivitas listrik dari polipirrol pada tiap konsentrasi dopan dan harga konduktivitas listrik yang dihasilkan dari larutan aquades dan asetonitril. Dalam laporan ini akan membahas grafik dari hasil karakterisasi.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil-hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hubungan antara besarnya konduktivitas listrik film tipis polipirrol dan rapat arus polimerisasi adalah sebagai berikut. Untuk pelarut asetonitril dengan konsentrasi dopan 0,05 M, kenaikan harga konduktivitas listrik sebanding dengan kenaikan rapat arus polimerisasi. Pelarut aquades dengan konsentrasi dopan 0,05 M, harga konduktivitas listrik mengalami penurunan dengan dinaikkannya rapat arus polimerisasi. Hal ini disebabkan karena konsentrasi dopan kecil sehingga tidak cukup dalam memberikan kontribusinya untuk membuat film menjadi konduktif. Pelarut aquades dengan konsentrasi dopan 0,1 M, kenaikan harga konduktivitas listrik sebanding dengan kenaikan rapat arus polimerisasi.
2. Pada pelarut asetonitril menghasilkan film tipis dengan harga konduktivitas listrik lebih tinggi dari pada film tipis yang dihasilkan dengan pelarut aquades.
3. Konsentrasi dopan sangat berpengaruh terhadap pembuatan film tipis polipirrol khususnya terhadap harga konduktivitas listrik film yang dihasilkan, yaitu semakin besar konsentrasi dopan makin besar pula konduktivitas listrik film yang terbentuk sampai pada harga konsentrasi tertentu.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat dikemukakan sehubungan dengan studi lebih lanjut mengenai pembuatan film tipis polipirrol adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan film polipirrol yang lebih bagus, pirrol sebaiknya didestilasi terlebih dahulu sebelum digunakan dalam proses polimerisasi;
2. Silika yang digunakan dalam desikator hendaknya yang tidak jenuh, agar penyerapan air pada film polipirrol lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Angeli A., 1915, *Sopra il nero di pirrole*, Accademia Nazionale dei licei Ati, Class descienze fisiche, Matematiche e naturali, Rendiconti, Series 5, Vol. 24(II) 3 – 6
- Atkins P.W., 1997, *Kimia Fisika*, Erlangga, Jakarta
- Bard A.J. dan Faulkner L.R., 1980, *Electrochemical Methods Fundamental and Applications*, John Wiley and Sons, USA
- Bird T., 1993, *Kimia Fisik Untuk Universitas*, Gramedia, Jakarta
- Bocchi V. dan Gardini G.P., 1970, *On pyrrole Oxidation with Hydrogen Peroxide*, Tetrahedron 26
- Bocchi V. dan Gardini G.P., 1986, *Chemical Synthesis of Conducting Polypyrrole and Some Composite*, Journal of Chemical Society, Chemical Communication
- Cowd M.A., 1981, *Kimia Polimer*, ITB, Bandung
- De Paoli M.A. dan Waltman R.J., 1984, *Conductive Composite from Poly(vinyl chloride) and Some Polypyrrole*, Journal of Chemical Society, Chemical Communication
- Diaz A.F. dan Croeley, 1981, *Electrooxidation of Aromatic Oliner and Conducting Polymers*, Journal of Electroanalytical Chemistry 121
- Funt B.L., 1986, *Electrochemical Initiatiuon*, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Wiley, New York
- Gardini G.P., 1971, *The Oxidation of Monocyclic Pyrroles*, Advances in Heterocyclic Chemistry 15
- Genies E.M. dan Bidan G., 1983, *Spectroelectrochemical Study of Pyrrole Films*, Journal of Electroc Chemistry
- Kanazawa K.K. dan Diaz A.F., 1979, *Polypyrrole : An Electrochemically Synthesized Conducting Organic Polymer*, Synthetic Metal I
- Hendayana S., 1994, *Kimia Analitik Instrumen*, IKIP, Semarang
- Hort E.V. dan Smith R.F., 1968, *Pyrrole*, Encyclopedia of Chemical Technology, Wiley, USA

- Maddison D.S dan Unswort J., 1988, *Electrical Conductivity and Thermoelectri Power of Pyrrole with Different Doping Levels*, Synthetic Metal 26
- Mc. Neil, 1963, *Electronic Conduction in Polymers : The Chemical Structure of Polypyrrole*, Australian Journal Chemistry 6
- Nazzal A. dan Street G.B., 1984, *Molecul Weight Determination of Pyrrole-based Polymer*, Journal of Chemical Society, Chemical Communication
- Subekti A., 1993, *Konduktivitas Listrik Polimer Pirol Dari Hasil Sintesis Secara Elektrokimia*, Pusat Penelitian FKIP Univ. Jember, Jember
- Subekti A., 1993, *Pengembangan Strukuur Band Energi Pada Polypyrrole Dengan Menggunakan Data Absorbsi Optik*, Pusat Penelitian FKIP Univ. Jember, Jember
- Young R.J., 1984, *Conducting Polymers-Flastic Metals?*, Journal of Plastics and Rubber International

Lampiran 1. Perhitungan nilai konduktivitas listrik film polipirrol

1. Konduktivitas listrik film polipirrol pada pelarut asetonitril dengan konsentrasi dopan 0,05 M

$$1. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{7,99 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,15 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 1,97 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 35,52 \text{ Scm}^{-1}$$

$$2. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{14,18 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,01 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 8,90 \times 10^{-4} \text{ cm}} = 21,40 \text{ Scm}^{-1}$$

$$3. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{5,76 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,88 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 2,58 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 39,12 \text{ Scm}^{-1}$$

$$4. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{6,68 \times 10^{-3} \text{ V} \times 3,01 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 3,16 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 65,07 \text{ Scm}^{-1}$$

$$5. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{3,49 \times 10^{-3} \text{ V} \times 3,69 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 6,40 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 43,59 \text{ Scm}^{-1}$$

2. Konduktivitas listrik film polipirrol pada pelarut aquades dengan konsentrasi dopan 0,05 M

$$1. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{716 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,99 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 1,72 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 20,51 \times 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$$

$$2. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{1766 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,80 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 4,22 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 13,84 \times 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$$

$$3. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{3341 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,99 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 3,25 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 8,68 \times 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$$

$$4. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{4985 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,26 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 2,29 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 12,34 \times 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$$

$$5. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{1166 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,96 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 11,04 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 2,54 \times 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$$

3. Konduktivitas listrik film polipirrol pada pelarut aquades dengan konsentrasi dopan 0,1 M

$$1. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{13,82 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,80 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 6,60 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 6,45 \text{ Scm}^{-1}$$

$$2. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{1,02 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,05 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 4,93 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 10,45 \text{ Scm}^{-1}$$

$$3. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{6,71 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,97 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 7,23 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 11,82 \text{ Scm}^{-1}$$

$$4. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{5,97 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,19 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 4,13 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 22,55 \text{ Scm}^{-1}$$

$$5. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{6,88 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,23 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 2,82 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 28,52 \text{ Scm}^{-1}$$

4. Konduktivitas listrik film polipirrol pada pelarut aquades dengan konsentrasi dopan 0,2 M

$$1. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{1,88 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,10 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 6,03 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 49,80 \text{ Scm}^{-1}$$

$$2. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{2,49 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,98 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 3,97 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 57,81 \text{ Scm}^{-1}$$

$$3. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{3,41 \times 10^{-3} \text{ V} \times 6,85 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 3,78 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 45,25 \text{ Scm}^{-1}$$

$$4. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{4,11 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,01 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 5,08 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 27,34 \text{ Scm}^{-1}$$

$$5. \sigma = \frac{I \ell}{V w d}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 8 \times 10^{-1} \text{ cm}}{5,88 \times 10^{-3} \text{ V} \times 7,06 \times 10^{-1} \text{ cm} \times 5,96 \times 10^{-3} \text{ cm}} = 16,17 \text{ Scm}^{-1}$$



Departemen Pendidikan Nasional RI
Universitas Jember
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

BORANG TA-06

SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN

Kami selaku Dosen Pembimbing Utama/Anggota yang mengawasi penelitian/percobaan mahasiswa sebagai tersebut di bawah ini :

Nama : Ani Setiyawati
NIM : 97131030371
Jurusan/PS : Fisika / F. IPA
Semester : X

menerangkan dengan sebenarnya bahwa mahasiswa yang bersangkutan betul-betul telah melaksanakan penelitian/percobaan, tentang

Optimasi Sintesis Polimer Misol Secara Mikrobiologi

Bertempat : Laboratorium Fisika Mr. III

Dimulai tanggal Mei s/d Oktober 2001

Surat keterangan ini dibuat sebagai persyaratan pengajuan permohonan ujian Tugas Akhir/Skripsi.

Demikian untuk diketahui dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jember, 17 April 2002

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota

Drs. Anas Subditi, H.Sc. Ph.D
NIP. 131 412 121

Drs. Inan Rofi'i, H.Sc.
NIP. 131 975 310