



PENGARUH pH DAN KOMPOSISI POLIANILIN (PAN)-EPOKSI TERHADAP SIFAT OPTIK MEMBRAN PAN-EPOKSI

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Meraih Gelar Sarjana Sains
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember



Oleh

Aminatus Sa'diyah

NIM. 991810301102

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER

Agustus, 2003



MOTTO

“ Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

" Hanya berprinsip pada sesuatu yang abadi yang akan mampu membawa manusia ke arah kebahagiaan yang hakiki"

“ Tiada daya untuk memperoleh manfaat dan tiada upaya untuk menolak kesukaran kecuali dengan bantuan Allah Yang Maha Mulia lagi Maha Agung"

“ Masalah besar yang kita hadapi tidak dapat dipecahkan dengan tingkat pemikiran yang sama ketika masalah itu terjadi” (Albert Einstein)

“Apa saja nikmat yang kamu peroleh adalah dari Allah, dan apa saja bencana yang menimpamu, maka itu dari (kesalahan) dirimu sendiri. ...”
(Q.S. An Nisaa : 79)

“Segala puji bagi Allah Rabb seru sekalian alam”

PERSEMBAHAN

Penulis mempersembahkan skripsi ini untuk :

- 1) *Diemul* Islam, yang telah melahirkan keyakinan yang besar dalam diriku atas Kekuasaan, Kebesaran dan Kasih-Sayang Allah SWT,
- 2) Kedua orang-tuaku, Bapak Salim Ismail dan Ibu Rosidah yang telah memberikan kasih-sayang yang tulus hingga sekarang serta doa, dukungan dan prinsip yang ditanamkan dalam diri dan hatiku,
- 3) Mas Syid, terima kasih atas dukungannya selama ini, baik materi maupun moril, *Good luck for you*,
- 4) Mbak Us dan si bandel Habib, juga si kecil Ikhsan atas kecerewetan dan dukungannya yang dapat memotivasiku serta adikku Mahfud dan Luluk yang telah mendukungku,
- 5) Teman sejawatku, yang akan selalu menemani perjalanan hidupku,
- 6) sahabatku, 'Toto' dan Bambang, terima kasih atas kritik, saran dan dukungan kalian selama ini, *Good luck for you*,
- 7) sahabat dan juga kakakku angkatan '98: Mbak Tanti, Mbak Ika dan Mbak Via, *thanks* mau mendengar keluh-kesahku, juga untuk Ha B. *thanks for your kindness*.
- 8) teman dan juga sahabatku Titik dan Iyul, terima kasih, kalian telah banyak berbagi (masalah dan kebahagiaan) denganku dan mau menemaniku saat suka dan dukaku, serta sahabatku Citra Gank yang lain, Ila, Ika dan Chest, kebersamaan kita adalah kenangan yang takkan kulupakan, "Maju Terus Pantang mundur". Keluarga Citra 54, dukungan kalian sangat berharga bagiku,
- 9) terima kasih juga buat teman-teman angkatan '99 (Zeolit Group, Sensor group dan yang lain), '98, 00 dan 01 atas kenangan dan kebersamaannya selama kuliah ini. Buat Mas Budi, terima kasih atas bantuannya.
- 10) almamaterku, Universitas Jember tercinta.

DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan Maret sampai dengan Juli 2003 di Laboratorium Kimia Fisik dan Kimia Analitik Fakultas MIPA Universitas Jember. 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, Agustus 2003

Aminatus Sa'diyah

()

ABSTRAK

Pengaruh pH dan Komposisi Polianilin (PAn) - Epoksi terhadap Sifat Optik Membran PAn - Epoksi. Aminatus Sa'diyah, 991810301102, Skripsi, Agustus 2003, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Polianilin (PAn) yang dipadukan dengan epoksi membentuk membran PAn-epoksi dipelajari kemampuannya sebagai bahan *strip test* pH. Membran diuji sifat optiknya terhadap pengaruh pH dan komposisi PAn-epoksi (massa epoksi 0,5 g). Perubahan warna membran juga diamati dengan adanya pengaruh kedua faktor tersebut. Polianilin garam emeraldin (hijau) disintesis melalui elektropolimerisasi anilin dengan metode galvanostatik pada arus 0,2 mA selama 1,5 jam. Perpaduan PAn dengan epoksi menyebabkan perubahan struktur PAn garam emeraldin menjadi basa emeraldin. Spektra *visible* membran mengalami pergeseran ke panjang gelombang yang lebih panjang akibat adanya penurunan kondisi pH. Pada range pH 2-5, pengaruh pH terhadap absorban membran pada λ 400 nm menghasilkan trend yang linier dengan koefisien korelasi linier (r) sebesar 0,990; 0,952; 0,968 dan 0,983 dari membran dengan komposisi PAn-epoksi 1:50, 2:50, 3:50 dan 4:50. Perubahan warna membran dari biru menjadi hijau juga diamati pada range pH ini. pH dan komposisi PAn-epoksi dalam membran secara statistik memberikan pengaruh yang signifikan terhadap absorban membran PAn-epoksi pada 400 nm dalam range pH 2 - 5. Uji ini juga menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari interaksi aditif antara kedua variabel tersebut pada α : 0,05.

Kata kunci : polianilin (PAn), membran PAn-epoksi, sifat optik

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Jember :

Hari : RABU

Tanggal : 27 AUG 2003

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

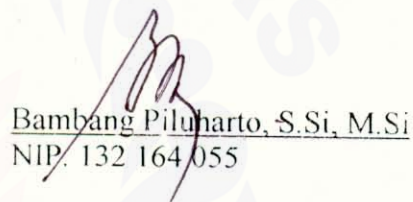
Tim Penguji

Ketua



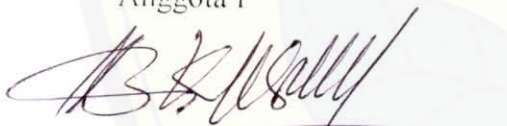
Drs. Zulfikar, Ph.D
NIP. 131 660 785

Sekretaris




Bambang Piliharto, S.Si, M.Si
NIP. 132 164 055

Anggota I



Drs. Bambang Kuswandi, M.Sc, Ph.D
NIP. 132 094 129

Anggota II



Drs. Agus Abdul Gani, M.Si
NIP. 131 412 918

Mengesahkan,
Dekan Fakultas MIPA,
Universitas Jember



Ir. Sumadi, MS
NIP. 130 368 784

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi berjudul "Pengaruh pH dan Komposisi Polianilin (PAn) - Epoksi terhadap Sifat Optik Membran PAn-Epoksi" disusun guna memenuhi salah syarat menyelesaikan pendidikan program sarjana sains Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

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

- 1) Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember,
- 2) Ketua Jurusan Kimia FMIPA yang telah memberikan izin selama penyelesaian skripsi ini,
- 3) Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota atas motivasi dan waktu yang diberikan serta dengan penuh kesabaran membimbing penulis dari penentuan topik sampai dengan bertukar laporan ini,
- 4) Tim Penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam perbaikan skripsi ini,
- 5) seluruh Staf Dosen dan Administrasi serta teknisi Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember,
- 6) seluruh keluarga penulis, yang telah banyak memberikan dukungan, baik moril maupun materi,
- 7) semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini mendapat keridhoan-Nya, sehingga hasil penelitian ini dapat memberi kontribusi terhadap kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Ilmu Kimia.

Jember, Agustus 2003.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN MOTTO.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN DEKLARASI.....	iv
HALAMAN ABSTRAK.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
HALAMAN KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Membran Polimer.....	5
2.2 Polianilin.....	5
2.2.1 Struktur Polianilin.....	5
2.2.2 Sifat-Sifat Polianilin.....	6
2.2.3 Jenis-Jenis Polianilin.....	8
2.2.4 Elektropolimerisasi Anilin.....	10
2.3 Epoksi.....	12
2.4 Karakterisasi Spektra <i>Ultra Violet-Visible</i> (UV-Vis) dan Infra Merah (IR).....	14
2.4.1 Karakterisasi Spektra UV-Vis.....	15
2.4.2 Karakterisasi Spektra Infra – Merah (IR).....	15

III. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2 Rancangan Penelitian	17
3.2.1 Rancangan Percobaan	17
3.2.2 Parameter yang Diamati dalam Penelitian	17
3.2.3 Diagram Alir Kerja Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	18
3.4 Pelaksanaan Penelitian	19
3.4.1 Peyiapan Alat dan Bahan	19
a) Peyiapan Elektroda	19
b) Peyiapan Larutan untuk Polimerisasi	19
c) Peyiapan Larutan Buffer	20
3.4.2 Pembuatan Polianilin	20
3.4.3 Pembuatan Membran PAn-Epoksi	21
3.5 Karakterisasi Polianilin (PAn) dan Membran PAn-Epoksi	21
3.6 Pengaruh Komposisi PAn-Epoksi terhadap Spektra <i>Visible</i> Membran PAn-Epoksi	22
3.7 Pengaruh pH terhadap Spektra <i>Visible</i> dan Warna Membran PAn-Epoksi	22
3.8 Pengukuran Absorban Membran PAn-Epoksi pada pH yang Berbeda	23
3.8.1 Optimasi Waktu Perubahan Warna Membran	23
3.8.2 Pengukuran Absorban Membran PAn-Epoksi	23
3.9 Regenerasi Membran PAn-Epoksi	23
3.10 Analisa Data	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Elektropolimerisasi Anilin	26
4.2 Membran PAn-Epoksi	27
4.3 Karakteristik Spektra UV-Vis Polianilin dan Membran PAn-Epoksi	27
4.3.1 Karakteristik Spektra UV-Vis Polianilin	27

4.3.2	Karakteristik Spektra UV-Vis Membran PAn-Epoksi	30
4.4	Karakteristik Spektra FTIR Membran PAn-Epoksi	31
4.5	Pengaruh Komposisi PAn-Epoksi terhadap Spektra <i>Visible</i>	34
4.6	Karakteristik Spektra <i>Visible</i> Membran PAn-Epoksi pada Berbagai pH.....	36
4.7	Pengaruh pH dan Komposisi Membran terhadap Absorban Optik Membran PAn-Epoksi.....	38
4.7.1	Waktu Perendaman Membran PAn-Epoksi	38
4.7.2	<i>Trend</i> Pengaruh pH terhadap Absorban Membran PAn-Epoksi	39
4.7.3	Analisis Varian (ANOVA) <i>Two-Way</i> terhadap Absorban Membran PAn-Epoksi	42
4.8	Regenerasi Membran PAn-Epoksi	44
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran	46
	DAFTAR PUSTAKA.....	48
	LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

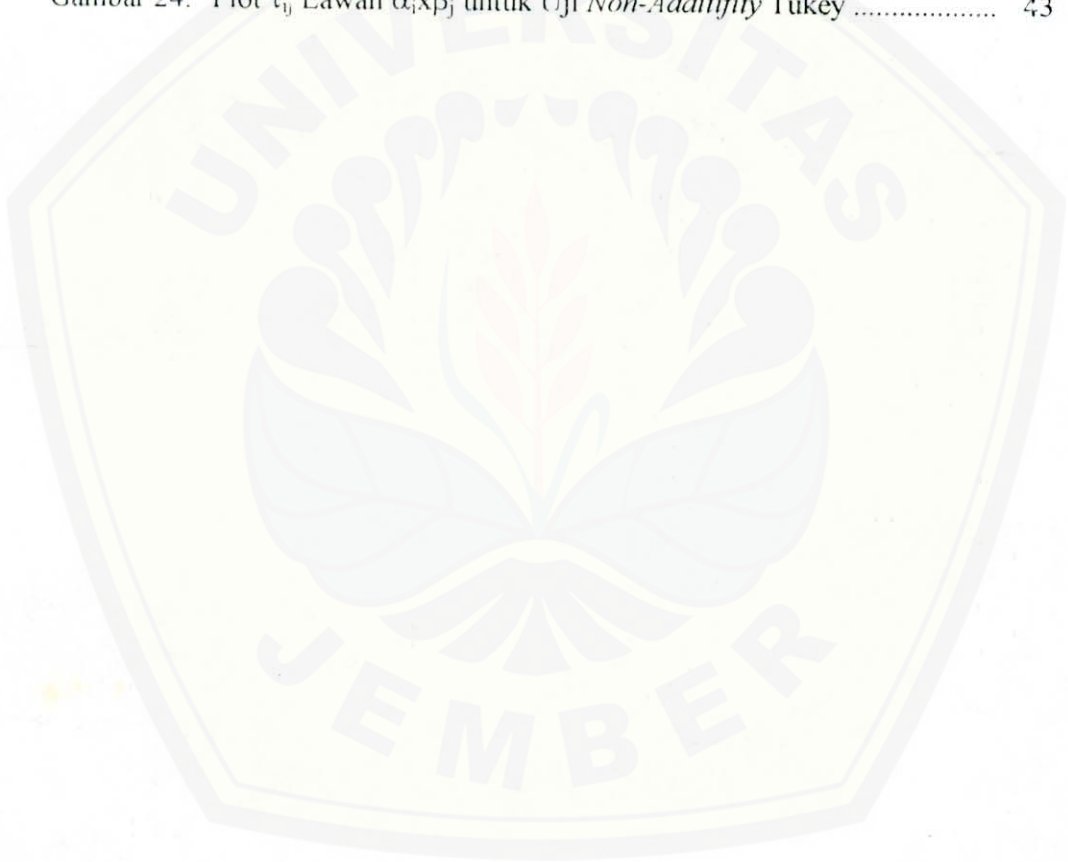
Gambar 1.	Struktur Geometri Polianilin.....	6
Gambar 2.	Skema Reaksi dari Proses Perlakuan Asam/Basa dan Oksidasi/Reduksi Polianilin (A) Struktur Basa (B) Struktur Asam	7
Gambar 3.	Diagram Perangkat Metode Galvanostatik	11
Gambar 4.	Mekanisme Reaksi Polimerisasi Anilin (Yan Sun <i>et al.</i> , 1990)....	12
Gambar 5.	Struktur dari Gugus Epoksi atau Oksiran.....	12
Gambar 6.	Reaksi Ikat-Silang antara Epoksi dengan Amin.....	13
Gambar 7.	Reaksi yang Terjadi pada Pembuatan Membran PAN-Epoksi (Subroto, 2002)	14
Gambar 8.	Diagram Alir Kerja Penelitian	18
Gambar 9.	Penyiapan Elektroda Ag/AgCl.....	19
Gambar 10.	Rangkaian Alat Elektropolimerisasi Anilin.....	21
Gambar 11.	Spektra UV-Vis Polianilin Hasil Elektropolimerisasi.....	28
Gambar 12.	Spektra UV-Vis Polianilin Garam Emeraldin (Kessler, 2002)....	28
Gambar 13.	Spektra UV-Vis Membran PAN-Epoksi.....	30
Gambar 14.	Spektra UV-Vis Polianilin Basa Emeraldin (Biru) (Kessler, 2002)	31
Gambar 15.	Spektra FTIR Membran PAN-Epoksi.....	32
Gambar 16.	Mekanisme Reaksi yang Terjadi pada Proses Pencetakan Membran PAN-Epoksi.....	34
Gambar 17.	Spektra Membran PAN-Epoksi dengan Massa PAN yang Berbeda, (▲) 1:50 ; (●) 2:50 ; (◆) 3:50 dan (■) 4:50	35
Gambar 18.	Spektra <i>Visible</i> Membran PAN-Epoksi pada pH 13 (a), 7 (b), 5 (c) dan pH 2 (d) dengan komposisi PAN-Epoksi (1: 50).....	36
Gambar 19.	Reaksi Perubahan Struktur PAN Basa Emeraldin menjadi Garam Emeraldin.....	37
Gambar 20.	Grafik Optimasi Waktu Perendaman Membran PAN-Epoksi	39

Gambar 21. Pengaruh pH terhadap Absorban Membran PAN-Epoksi pada 630 nm dengan Komposisi PAN-epoksi, (●) 1:50, (■) 2:50, (▲) 3:50 dan (◆) 4:50..... 40

Gambar 22. Grafik Pengaruh pH terhadap Absorban Membran PAN-Epoksi pada λ 400 nm dengan Komposisi PAN-Epoksi (■) 4:50, (▲) 3:50, (◆) 2:50 dan (●) 1:50..... 41

Gambar 23. Trend Pengaruh pH terhadap Absorban Membran PAN-Epoksi dalam Range pH 2 – 5 pada λ 400 nm dengan Komposisi PAN-Epoksi (▲) 4:50, (◆) 3:50, (■) 2:50 dan (●) 1:50 41

Gambar 24. Plot τ_{ij} Lawan $\alpha_i \times \beta_j$ untuk Uji *Non-Additivity* Tukey 43



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Empat Jenis Polianilin	9
Tabel 2.	Karakteristik Spektra UV-Vis Membran PAN-Epoksi karena Pengaruh pH.....	10
Tabel 3.	Panjang Gelombang Maksimum dari Keempat Jenis PAN.....	15
Tabel 4.	Rancangan Percobaan.....	17
Tabel 5.	Penyiapan Larutan Buffer pH 2 - 13	20
Tabel 6.	Rumus Analisis Varian (ANOVA) <i>Two-Way</i>	25
Tabel 7.	Daerah Pita Absorpsi dan Jenis Vibrasi dari Spektra FTIR Membran Tanpa PAN dan Membran PAN-Epoksi	33
Tabel 8.	Ringkasan Absorban Maksimum (A_{maks}) dan Minimum (A_{min}) serta Warna Membran PAN-Epoksi pada Berbagai pH.....	38
Tabel 9.	Hasil ANOVA <i>Two-Way</i> Pengaruh pH dan Komposisi PAN-Epoksi.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Kalibrasi Arus Listrik dalam Rangkaian Alat Elektropolimerisasi	51
Lampiran 2.	Data Karakterisasi Spektra IR Membran Tanpa PAN (Membran Epoksi- <i>Hardener</i>) dan Membran PAN-Epoksi	53
Lampiran 3.	Data Absorban Membran PAN-Epoksi Awal pada Empat Komposisi PAN-Epoksi yang Berbeda	55
Lampiran 4.	Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 2, 3 dan 4	57
Lampiran 5.	Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 5, 6 dan 7	58
Lampiran 6.	Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 8, 9 dan 10	59
Lampiran 7.	Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 11, 12 dan 13	60
Lampiran 8.	Spektra <i>Visible</i> Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 2 – 13	61
Lampiran 9.	Data Absorban Maksimum (A_{maks}) dan Minimum (A_{min}), Warna Membran PAN-Epoksi pada pH 2 – 13 dan Data Absorban dalam Penentuan Waktu Respon.....	62
Lampiran 10.	Gambar Membran PAN-Epoksi Awal dan pada Kondisi pH 2 – 5	63
Lampiran 11.	Data Absorban Membran PAN-Epoksi pada Panjang Gelombang 630 nm.....	64
Lampiran 12.	Data Pengukuran Absorban Membran PAN-Epoksi pada λ 400 nm dalam Kondisi pH 2 – 12 dengan Komposisi Membran (Massa PAN) yang Berbeda.....	66
Lampiran 13.	Data Hasil Perhitungan Analisis Varian (ANOVA) <i>Two-Way</i> ...	68
Lampiran 14.	Data Absorban Hasil Regenerasi Membran PAN-Epoksi pada λ 400 nm.....	72



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer merupakan salah satu material masa depan karena kegunaannya yang sangat luas. Penggunaan polimer dapat memberikan kontribusi dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia sehari-hari. Pada awal perkembangannya, polimer digunakan sebagai pengemas, peralatan rumah tangga, material konstruksi bangunan, komponen transportasi, komunikasi, elektronik dan alat listrik. Saat ini polimer telah banyak digunakan dalam bidang kesehatan, keperluan pertahanan militer dan sebagai material untuk keperluan luar angkasa. Polimer juga telah banyak dibuat untuk keperluan-keperluan tertentu, misalnya untuk bahan sensor, konduktor, elektrode selektif ion, bahan membran dan sebagainya.

Penggunaan polimer untuk aplikasi tertentu sangat ditentukan oleh sifat-sifatnya, seperti sifat termal, sifat listrik dan sifat kimia. Polimer yang bersifat termoplastis, seperti polietilen, polivinil klorida dan polipropilen banyak dimanfaatkan sebagai bahan pengemas, berbagai peralatan rumah tangga dan kantor. Sifat adhesif dan ketahanan yang baik terhadap bahan kimia yang ditunjukkan oleh resin epoksi dan resin phenolik, diaplikasikan sebagai laminasi, adhesif dan sebagai pelapis permukaan logam terutama pelicin filamen (bagian luar roket). Polimer yang mempunyai sifat konduktif, seperti poliasetilen, polipropilen, polipirol dan polianilin banyak digunakan sebagai komponen elektronik (Indriani dan Agustine, 1986).

Polianilin sebagai polimer konduktif mempunyai potensi aplikasi yang sangat luas. Hal ini didasarkan pada karakteristik dari konduktifitasnya yang tinggi, homogenitasnya dalam struktur film, preparasinya (penyiapan) yang mudah dan mempunyai stabilitas yang baik. Polianilin telah banyak diaplikasikan dalam bidang *display* elektrokromik, sel aki dan pelindung korosi. Selain itu polianilin secara luas digunakan dalam bidang analisis elektrokimia yaitu sebagai elektrode sensor pH, ion logam (Yang and Huang, 2001), molekul-molekul

organik dan biologi (Cho and Huang, 1993) serta sebagai imunosensor (Liu *et al.*, 2000).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa polianilin ada dalam empat struktur yang masing-masing mempunyai sifat elektrokromik (tampilan warna) yang berbeda. Polianilin leukoemeraldin tidak berwarna, garam emeraldin berwarna hijau, basa emeraldin berwarna biru dan pernigranilin berwarna ungu. Struktur-struktur ini dapat berubah secara reversibel melalui proses redoks dan derajat protonasi yang diatur oleh pH (Orata and Buttry, 1987) atau dengan perubahan voltase yang digunakan pada film polianilin (Charles *et al.*, 1994).

Pengembangan polianilin yang dipadukan dengan epoksi membentuk membran telah dilakukan (Subroto, 2002). Membran PAN-epoksi yang dihasilkan mengalami perubahan warna akibat pengaruh pH. Penurunan pH sampai pH 1 menyebabkan perubahan warna membran PAN-epoksi dari biru menjadi hijau. Hasil pengukuran spektrum *ultra violet – visible* (UV-Vis) menunjukkan adanya pergeseran panjang gelombang maksimum akibat adanya perubahan pH larutan. Pengamatan spektra dilakukan pada kondisi pH 1 – 9. Berdasarkan hasil penelitian ini dan sifat perubahan struktur polianilin yang *reversible*, maka membran PAN-epoksi memungkinkan digunakan sebagai sensor pH yang bersifat *regenerable*.

Penelitian ini mempelajari perubahan warna dan sifat optik membran PAN-epoksi pada pH 2 - 12 dengan komposisi PAN-epoksi yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk menguji kemampuan membran sebagai sensor pH dengan variabel komposisi. Karakterisasi awal spektra IR dan UV-Vis dari membran PAN-epoksi dilakukan untuk mengetahui struktur PAN dalam membran. Karakteristik spektra *visible* membran juga diamati pada berbagai pH yang berbeda untuk mempelajari perubahan struktur PAN karena perlakuan asam/basa. Uji pengaruh komposisi membran dan pH secara statistik terhadap absorbansi optik membran PAN-epoksi dilakukan menggunakan metode analisis varian (ANOVA) *two-way*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) adakah perubahan struktur PAN pada perpaduan PAN-epoksi membentuk membran ?,
- 2) bagaimana pengaruh komposisi PAN-epoksi terhadap karakteristik spektra *visible* membran PAN-epoksi ?,
- 3) bagaimana pengaruh pH terhadap karakteristik spektra *visible* membran PAN-epoksi ?,
- 4) bagaimana *trend* pengaruh pH terhadap absorban dan warna membran PAN-epoksi pada komposisi PAN-epoksi yang berbeda ?,
- 5) apakah pH, komposisi polianilin dan interaksi keduanya berpengaruh secara signifikan terhadap absorban dan warna membran PAN-epoksi ?.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, jenis polianilin (PAN) yang digunakan adalah yang berwarna hijau. PAN disintesis secara elektropolimerisasi dengan metode galvanostatik. Struktur PAN sebelum dan sesudah dibentuk menjadi membran dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis dan didukung dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR.

Karakteristik spektra *visible* membran PAN-epoksi diamati pada daerah panjang gelombang 400 – 800 nm. Pengukuran absorban dilakukan pada *range* pH 2 – 12.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari beberapa permasalahan yang disampaikan di atas, peneliti. ini bertujuan untuk :

- 1) mengetahui dan mempelajari perubahan struktur PAN yang terjadi setelah dibentuk menjadi membran PAN-epoksi,
- 2) mempelajari pengaruh komposisi PAN-epoksi terhadap karakteristik spektra *visible* membran PAN-epoksi,

- 3) mempelajari pengaruh pH terhadap karakteristik spektra *visible* membran PAn-epoksi,
- 4) mengetahui *trend* pengaruh pH dan komposisi PAn-epoksi terhadap absorban dan warna membran PAn-epoksi,
- 5) mengetahui pengaruh pH, komposisi Pan-epoksi dan interaksi keduanya terhadap sifat optik dan warna membran PAn-epoksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- 1) dapat memberikan tambahan informasi mengenai perubahan sifat optik dan perubahan warna membran PAn-epoksi dengan adanya perubahan pH,
- 2) membran PAn-epoksi yang diamati diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan *strip test* pH atau sensor senyawa asam/basa.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Membran Polimer

Kata membran berasal dari bahasa latin "*membrana*" yang berarti potongan kain. Saat ini istilah membran didefinisikan sebagai lapisan tipis (film) yang fleksibel (Jones, 1987), pembatas antara dua fasa yang bersifat semipermeabel (Mulder, 1991). Membran dapat berupa padatan ataupun cairan serta dapat berfungsi sebagai media pemisahan yang selektif berdasarkan perbedaan koefisien difusivitas, muatan listrik atau perbedaan kelarutan.

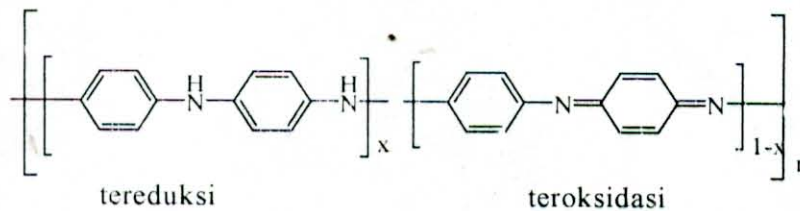
Membran polimer merupakan membran yang dibentuk dengan menggunakan material suatu polimer. Polimer merupakan bahan yang sesuai untuk membran karena adanya struktur *fibrilar* (serat) dan ukuran makromolekul yang besar, sehingga menghasilkan permukaan yang kohesif. Pemilihan polimer sebagai bahan baku membran dilakukan berdasarkan faktor strukturnya. Faktor struktur ini akan menentukan sifat termal, kimia dan mekanik membran (Mulder, 1991).

Teknik pembuatan membran ada beberapa cara yang dapat menghasilkan membran yang spesifik. Material membran yang digunakan membatasi teknik pembuatan membran dan morfologi yang diperoleh. Membran dapat dibuat dengan teknik, antara lain *sintering* serbuk polimer, penarikan lembaran polimer dan pembalikan fasa (inversi fasa) (Mulder, 1991). Membran (film lapis tipis) PAN-epoksi telah dibuat dengan cara kompresi menggunakan beban dengan berat 20 kg. Bahan epoksi yang digunakan berfungsi sebagai adhesif (Subroto, 2002).

2.2 Polianilin

2.2.1 Struktur Polianilin

Polianilin merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang dihasilkan dari proses polimerisasi anilin ($C_6H_5NH_2$) dalam suasana asam. Struktur geometri polianilin secara umum ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Geometri Polianilin

Gugus tereduksi terdiri dari dua cincin benzoid ($\text{—C}_6\text{H}_4\text{—}$) dan dua gugus amin (—NH—), sedangkan gugus teroksidasi, salah satu cincin benzoid berubah menjadi cincin quinoid ($\text{=C}_6\text{H}_4\text{=}$) dan gugus amin menjadi imin (—N=).

Nilai x ($0 \leq x \leq 1$) menentukan tingkat oksidasi polianilin. Nilai $x = 0$, menunjukkan tingkat teroksidasi penuh yang menghasilkan polianilin basa pernigranilin (PNB) dimana rantai polimer hanya terdiri dari gugus teroksidasi. Nilai $x = 0,5$ menunjukkan tingkat setengah teroksidasi yang menghasilkan polianilin basa emeraldin (EB). Sedangkan $x = 1$, menunjukkan tingkat tereduksi penuh yang menghasilkan polianilin basa leukomeranilin (LEB) (Yuliah dan Aryani, 1999).

2.2.2 Sifat – Sifat Polianilin

Polianilin (PAn) merupakan salah satu dari “*intrinsically conductive polymer*” (ICP). ICP adalah polimer-polimer yang dapat menghantarkan arus listrik tanpa penambahan bahan konduktif (anorganik). PAn merupakan ICP pertama yang dapat didispersi dan telah dikembangkan oleh Zipperling Kessler & Co. PAn dipasarkan dengan merk dagang “ORMECON™”.

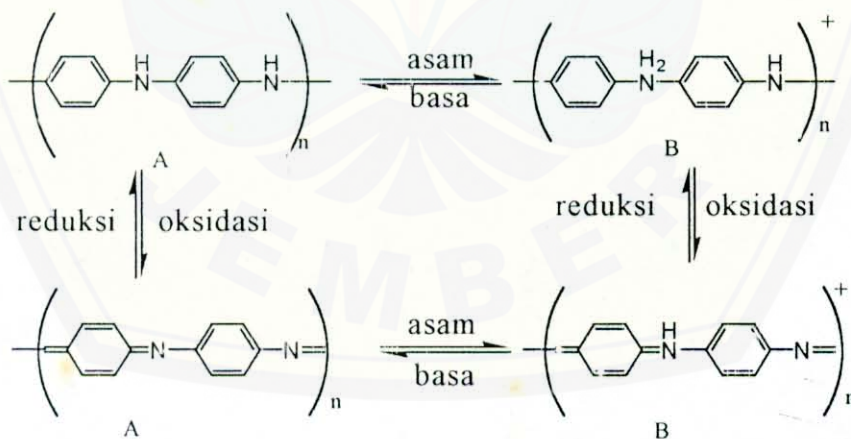
Polianilin (PAn) mempunyai sifat-sifat fisik sebagai berikut.

- 1) PAn bersifat sebagai logam yang lebih mulia daripada besi dan tembaga. Meskipun konduktivitas spesifiknya dan pengaruh temperatur terhadap sifat konduktivitasnya menunjukkan sifat semi-logam, tetapi sifat *thermopower* PAn menunjukkan sifat logam secara jelas. Mekanisme konduktivitasnya secara jelas disebabkan oleh sifat-sifat elektroniknya, tetapi secara mekanika

kuantum keterbatasan dari ukuran partikelnya (mendekati 10 nm) menyebabkan konduktivitas PAN menurun.

- 2) Konduktivitas spesifik dari PAN mendekati 5 S/cm. Blend (perpaduan) polimer PAN dapat dibuat dengan konduktivitas antara 109 dan 102 S/cm.
- 3) Semua ICP tidak larut dalam beberapa pelarut. PAN hanya dapat diproses secara dispersi. Oleh sebab itu, ICP tidak dapat diproses dengan cara yang sama seperti polimer termoplastik biasa.

PAN (PAN) selain berkarakter seperti logam, juga merupakan material redoks-aktif. PAN yang bersifat konduktif berwarna hijau. Pada media yang berbeda, warna dan konduktivitas PAN dapat berubah. PAN berwarna kuning pada kondisi tereduksi dan berwarna biru pada kondisi teroksidasi. Tetapi kedua jenis PAN ini tidak bersifat konduktif (Kessler, 2002). Perlakuan asam/basa dan oksidasi/reduksi memungkinkan untuk mengubah struktur PAN secara *reversible* (dapat balik) menjadi jenis-jenis PAN dengan sifat yang berbeda. Proses yang terjadi diperlihatkan dalam Gambar 2. Proses yang sama juga terjadi pada polipirol (Hjertberg *et al.*, 1985). Perubahan sifat-sifat PAN ini pada satu sisi merupakan dasar dari berbagai aplikasinya, tetapi pada sisi lain hal ini juga yang membatasi aplikasinya.



Gambar 2. Skema Reaksi dari Proses Perlakuan Asam/Basa dan Oksidasi/Reduksi Polianilin (A) Struktur Basa (B) Struktur Asam

Orata and Buttry, (1987) melakukan penentuan populasi ion dan kandungan solven sebagai fungsi tingkat redoks dan pH dalam PAN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan struktur PAN merupakan fungsi pH. pKa dari struktur tereduksi adalah pada pH 1 (konsentrasi asam 0,1 M), sedangkan pKa dari struktur teroksidasi adalah di atas pH 2. Jika tingkat keasaman ditingkatkan struktur PAN tereduksi menjadi lebih terprotonasi, yang memberikan rasio jumlah anion yang disisipkan terhadap jumlah elektron yang diekstrak menurun.

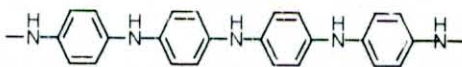
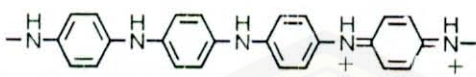
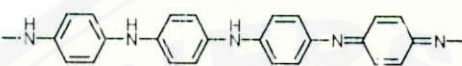
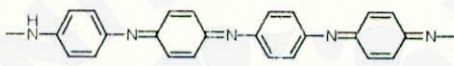
PAN mengalami proses oksidasi kedua pada potensial yang lebih positif yang menyebabkan degradasi dari film PAN. Polimer dalam struktur teroksidasi yang lebih tinggi (imin) merupakan basa yang sangat lemah. Oksidasi sempurna terjadi dalam larutan asam pekat yang menyebabkan deprotonasi pada hampir seluruh nitrogen (amin). Hasil penentuan pengaruh pH terhadap *potensial formal* diperoleh plot linier (E lawan pH) dengan slop -116 mV per-unit pH dan koefisien korelasi sebesar 0,9994 (Orata and Buttry, 1987). Hal ini menunjukkan bahwa ada dua proton yang terurai per-elektron yang dilepaskan.

Pengaruh pH terhadap laju degradasi polimer juga telah diamati (Orata and Buttry, 1987). Degradasi polimer terjadi sangat cepat dalam larutan asam pekat. Perlakuan terhadap film PAN yang lebih lama dalam larutan dengan pH tinggi, kira-kira 11 dalam keberadaan udara, menyebabkan oksidasi total menjadi struktur imin yang selanjutnya menyebabkan dekomposisi PAN.

2.2.3 Jenis – Jenis Polianilin

Hasil penelitian oleh Charles *et al.* (1994) menunjukkan bahwa ada empat jenis PAN yang masing-masing mempunyai struktur dan sifat elektrokromik (tampilan warna) yang berbeda. Keempat jenis PAN ditunjukkan dalam Tabel 1. Perbedaan dari keempat jenis PAN ditentukan oleh perbandingan gugus benzoid dengan gugus quinodiimin yang dapat dikontrol melalui proses redoks dan derajat protonasi yang dapat diatur oleh pH (seperti pada Gambar 2).

Tabel 1. Empat Jenis Polianilin (PAn)*

Nama	Struktur	Warna	Dugaan
Leukomeraldin		Tak berwarna	Tereduksi penuh
Garam emeraldin		Hijau	Teroksidasi sebagian dan protonasi
Basa emeraldin		Biru	Teroksidasi sebagian
Pernigranilin		Ungu	Teroksidasi penuh

(Charles *et al.*, 1994)

Sifat-sifat elektrokromik (tampilan warna) dapat diamati dengan pengubahan voltase pada film PAn (Charles *et al.*, 1994). Reduksi sempurna leukomeraldin (tak berwarna) diperoleh di bawah $-0,2$ volt, protonasi garam emeraldin (hijau) terjadi antara $+0,3$ sampai $+0,4$ volt, basa emeraldin (biru) terjadi pada $+0,7$ volt dan oksidasi sempurna menjadi pernigranilin (ungu) diperoleh pada $+0,8$ volt relatif terhadap SCE.

Jenis PAn yang diperoleh dalam sintesis elektropolimerisasi dipengaruhi oleh parameter sintesis (Isa, 2001), yang meliputi jenis elektroda, arus sintesis, waktu sintesis, konsentrasi HCl dan konsentrasi monomer anilin. Pasangan elektroda Ag/AgCl dengan elektroda karbon menghasilkan PAn yang lebih banyak, bersifat konduktif dan lebih stabil daripada pasangan elektroda Ag/AgCl dengan elektroda emas, stainless steel dan platina. Hasil penelitian menghasilkan PAn hijau jika elektropolimerisasi dilakukan dengan arus $0,5 - 2$ mA, konsentrasi HCl $0,5 - 3$ M dan konsentrasi anilin $0,5 - 1$ M.

PAn yang dimodifikasi dengan epoksi membentuk film lapis tipis (membran) mengalami perubahan warna akibat pengaruh pH larutan (Subroto, 2002). PAn struktur garam emeraldin hijau membentuk membran yang berwarna biru dengan epoksi. Peningkatan pH larutan menyebabkan perubahan warna

membran PAN-epoksi secara bertahap.* Pada pH 1, membran berubah warna menjadi hijau, sedangkan kenaikan pH selanjutnya sampai pada pH 9 menghasilkan perubahan warna menjadi biru kehijauan sampai menjadi biru agak tua. Hasil pengukuran absorban dengan spektrofotometer *ultra violet - visible* (UV-Vis) menunjukkan adanya perubahan intensitas absorpsi maksimum atau pergeseran panjang gelombang. Karakteristik spektra dari membran PAN-epoksi karena pengaruh pH ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Spektra UV-Vis Membran PAN-Epoksi karena Pengaruh pH

PH	Warna	Karakteristik spektra			
		λ (nm)	Intensitas	λ (nm)	Intensitas
1	Hijau	275	3,46	625	1,87
3	Biru kehijauan ++	280	3,48	635	2,19
5	Biru kehijauan +	265	3,53	630	2,21
7	Biru	285	3,26	625	2,08
9	Biru +	280	3,50	640	2,29

Keterangan : (+) = intensitas warna bertambah secara kualitatif (Subroto, 2002)

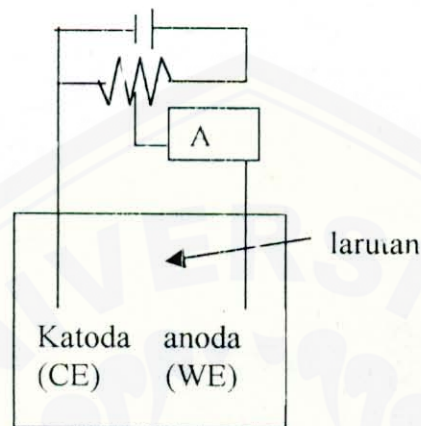
2.2.4 Elektropolimerisasi Anilin

PAN dapat disintesis baik secara oksidasi kimia maupun elektrokimia dari anilin. Proses polimerisasi anilin secara oksidasi kimia dapat dilakukan dalam larutan asam berproton (pelarut air) dengan keberadaan pengoksidasi seperti ammonium peroksidisulfat atau potasium dikromat (Hjertberg *et al.*, 1985). PAN juga dapat disintesis dalam larutan asam berproton (pelarut air) atau dalam pelarut organik di bawah tegangan konstan (Chen and Lee, 1987; Suryaningsih dan Yuliah, 1998; Yan Sun *et al.*, 1990).

Metode polimerisasi secara elektrokimia dikenal sebagai elektropolimerisasi. Berdasarkan parameter pengendali yang digunakan, polimerisasi elektrokimia dibedakan menjadi dua metode.

- 1) Metode galvanostatik, yang bekerja pada arus konstan. Metode ini menggunakan sistem dua elektroda (Yuliah dan Aryani, 1999).

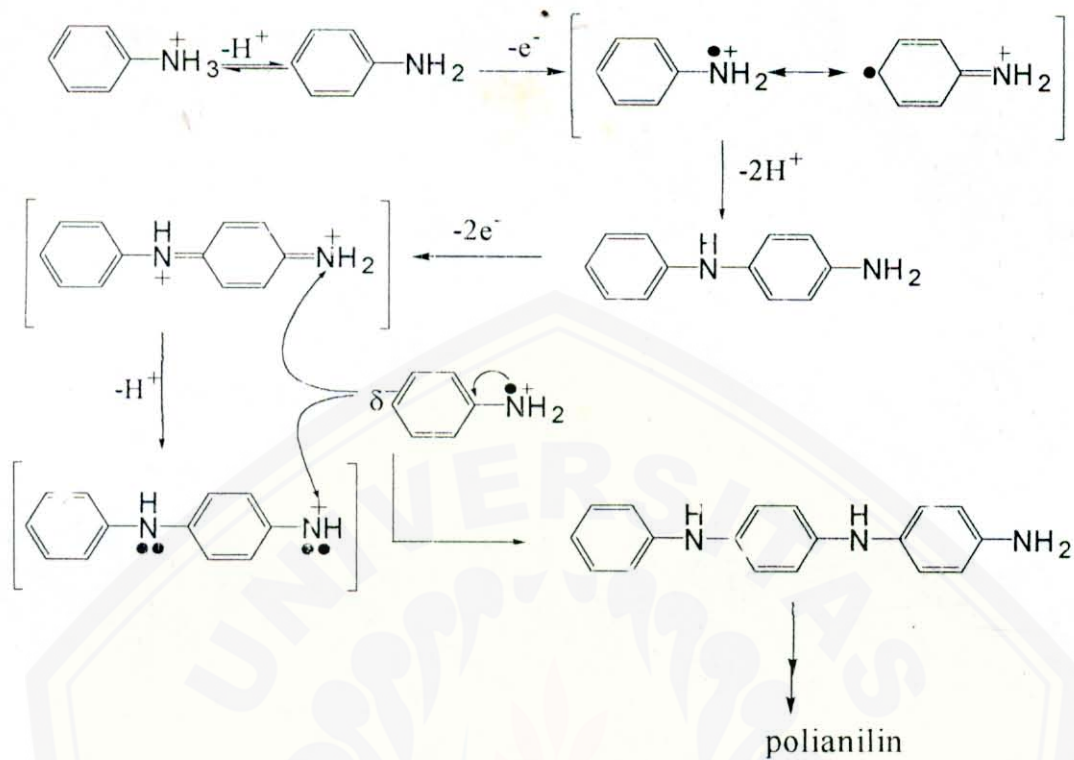
- 2) Metode potensiostatik, yang bekerja pada tegangan elektroda kerja (WE) tetap terhadap elektroda acuan (RE). Metode ini menggunakan sistem sel tiga elektroda (Suryaningsih dan Yuliah, 1997).



Gambar 3. Diagram Perangkat Metode Galvanostatik

Laju reaksi reduksi/oksidasi yang terjadi pada anoda dan katoda sebanding dengan arus yang mengalir. Jika setiap reaksi melibatkan (n) elektron, maka arus (i) yang mengalir ekuivalen (setara) dengan laju reaksi (i/nF) mol/detik, dimana F adalah konstanta Faraday. Pengaturan arus sintesis berarti mengatur laju reaksi dan ini merupakan prinsip kerja dari metode galvanostatik. Arus dibuat tetap dengan mengatur beda potensial antara katoda dan anoda. Tetapi, berkurangnya konsentrasi reaktan dan terlapisnya permukaan elektroda oleh hasil reaksi, maka beda potensial harus diubah untuk menghasilkan arus yang sama. Diagram perangkat metode galvanostatik diperlihatkan pada Gambar 3 (Isa, 2001).

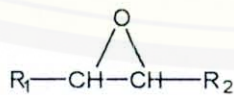
Polimerisasi diawali oleh oksidasi monomer yang menghasilkan suatu kation radikal dan diikuti reaksi pembentukan dimer dengan melepaskan proton H^+ . Pertambahan panjang rantai, baik dimer, trimer oligomer atau yang lebih panjang selalu diawali dengan proses oksidasi yang kemudian bereaksi dengan kation radikal yang lain (Yan Sun *et al.*, 1990). Mekanisme reaksi polimerisasi anilin ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Mekanisme Reaksi Polimerisasi Anilin (Yan Sun *et al.*, 1990)

2.3 Epoksi

Resin epoksi merupakan polimer yang mengandung struktur oksiran atau disebut juga gugus epoksida atau gugus etoksiline. Struktur oksiran adalah struktur cincin beranggota tiga atom, yaitu satu atom oksigen yang diikat dengan ikatan tunggal oleh dua atom karbon yang berikatan tunggal. Struktur dari gugus epoksi ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Struktur dari Gugus Epoksi atau Oksiran

Resin epoksi merupakan resin termoset. Pada bentuk *uncured intermediates* (sebelum pengerasan) berupa cairan seperti madu, atau padatan yang sangat getas, yang mencair bila dipanaskan. Hasil akhir resin termoset berupa padatan dan akan melunak pada saat dipanaskan, tetapi tidak mungkin lagi



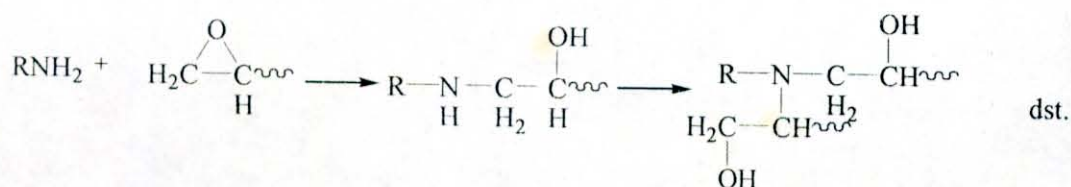
berubah menjadi cairan. Untuk mencapai hasil akhir dibantu suatu zat yang disebut *curing agent* (Agustine, 1986).

Sifat-sifat resin epoksi sangat menentukan terhadap aplikasinya. Resin epoksi merupakan bahan matriks yang baik pada pembuatan *fiber composites*, hal tersebut disebabkan karena :

- 1) resin epoksi melekat dengan baik untuk berbagai macam *filler*, zat penguat (*reinforcing agent*) dan zat lain,
- 2) penyusutan setelah proses pengerasan (*curing*) lebih sedikit dibandingkan dengan resin phenolik dan poliester,
- 3) resin epoksi yang sudah mengalami pengerasan, biasanya tahan terhadap bahan kimia dan merupakan insulasi listrik yang baik (Agustine, 1986).

Dari segi komersial, resin epoksi termasuk polimer nonvinil terpenting. Resin ini memperlihatkan tipe khusus polieter yang dipreparasi melalui reaksi polimerisasi kondensasi antara epoksida dan senyawa dihidroksi, biasanya bisfenol dalam kondisi basa. Produk yang mula-mula terbentuk adalah prapolimer berat molekul rendah yang mampu bereaksi lebih lanjut melalui epoksida terminal maupun gugus-gugus hidroksil.

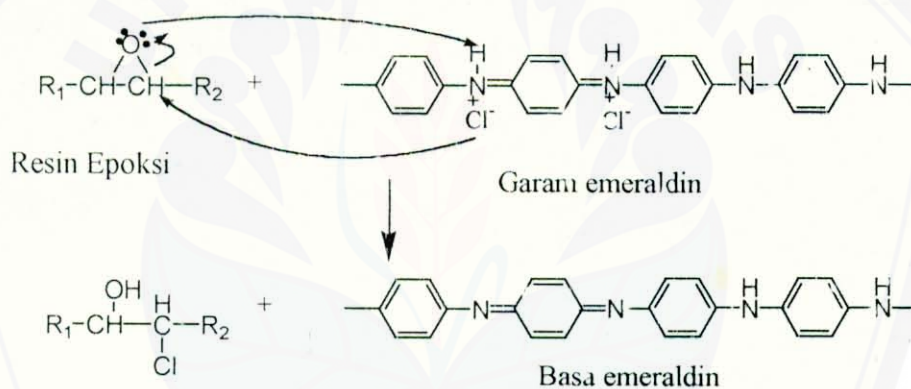
Polimerisasi prapolimer untuk membentuk polimer ikat silang (pengerasan) dapat dilakukan dengan beberapa cara. Senyawa yang paling umum digunakan adalah amin dan anhidrida asam karboksilat. Amin bereaksi melalui adisi nukleofilik dengan cincin epoksida. Diamin dan poliamin juga dapat dipakai sebagai pengeras. Proses pepaduan ini terjadi melalui reaksi ikat-silang. Reaksi dengan amin bersifat eksotermik dan diketahui dikatalisis oleh donor-donor proton. Reaksi ikat-silang resin epoksi dengan amin ditunjukkan dalam Gambar 6 (Steven, 2001).



Gambar 6. Reaksi Ikat-Silang antara Epoksi dengan Amin

Komposit epoksi dengan PAN yang dibentuk menjadi suatu membran (lapis tipis) telah dibuat (Subroto, 2002). Jenis PAN yang digunakan adalah garam emeraldin (berwarna hijau), sedangkan membran yang diperoleh berwarna biru. Hal ini menunjukkan adanya perubahan struktur PAN menjadi basa emeraldin. Perubahan struktur ini diprediksi disebabkan oleh adanya reaksi pembukaan cincin epoksida oleh HC^+ yang terdoping dalam PAN. Pelepasan HCl dari struktur PAN menyebabkan perubahan struktur PAN menjadi basa emeraldin.

Prediksi mekanisme reaksi yang terjadi pada pembuatan membran PAN-epoksi ditunjukkan pada Gambar 7. Tetapi, prediksi reaksi ini belum didukung oleh karakteristik struktur dari membran PAN-epoksi. Oleh karena itu, pada penelitian ini perubahan struktur PAN dalam membran dipelajari dari karakteristik spektra UV-Vis dan IR.



Gambar 7. Reaksi yang Terjadi pada Pembuatan Membran PAN-Epoksi (Subroto, 2002)

2.4 Karakterisasi Spektra *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) dan *Infra Merah* (IR)

Spektroskopi adalah studi interaksi antara materi dengan gelombang elektromagnetik. Analisis spektroskopi secara umum berkaitan dengan daerah radiasi gelombang elektromagnetik mulai dari sinar gamma sampai dengan gelombang radio (Khopkar, 1990). Teknik spektroskopi yang digunakan untuk karakterisasi dalam penelitian ini adalah spektroskopi UV-Vis dan IR.

2.4.1 Karakterisasi Spektra UV-Vis

Serapan cahaya oleh molekul dalam daerah spektrum *ultra violet* dan *visible* (200-700 nm) tergantung pada struktur elektronik dari molekul. Spektra *ultra violet* dari senyawa-senyawa berkaitan erat dengan transisi-transisi diantara tingkatan-tingkatan tenaga elektronik. Oleh karena itu, serapan radiasi *ultra violet-visible* sering dikenal sebagai spektroskopi elektronik. Spektrofotometri UV-Vis juga digunakan untuk menyelidiki konjugasi molekul yang tanapak pada pergeseran pita absorpsi ke panjang gelombang yang lebih panjang serta peningkatan intensitas absorpsinya pada daerah panjang gelombang tersebut (Hardjono, 1991).

Gugus-gugus penyerap dalam suatu molekul akan menentukan puncak-puncak absorpsi dalam spektra UV-Vis yang dihasilkan. Polianilin memiliki empat struktur yang berbeda. Masing-masing jenis PAN ini menghasilkan puncak-puncak absorpsi yang berbeda. Data panjang gelombang maksimum dari keempat struktur PAN diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Panjang Gelombang Maksimum (λ) dari Keempat Jenis PAN

Jenis Polianilin	λ Maksimum (nm)
Leukomeraldin	310
Garam emeraldin	320, 420, 800
Basa emeraldin	320, 620
Pernigranilin	320, 530

(Charles *et al.*, 1994)

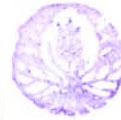
2.4.2 Karakterisasi Spektra Infra - Merah (IR)

Metode spektroskopi yang paling umum dipakai untuk karakterisasi polimer adalah spektroskopi IR dan NMR. Pemakaian IR ditekankan pada metode Fourier Transform (FT) yang menggunakan prinsip interferometri. Kelebihan-kelebihan dari FTIR mencakup persyaratan ukuran sampel yang kecil, perkembangan spektrum yang cepat, dan karena instrumen ini memiliki komputer

yang terdedikasi, kemampuan untuk menyimpan dan memanipulasi spektrum (Steven, 2001).

Identifikasi senyawaan organik dengan spektroskopi IR telah lazim digunakan. Karakteristik spektrum ditunjukkan oleh suatu pola puncak absorpsi atau pola puncak transmitansi sesuai dengan ikatan kovalen yang terdapat dalam suatu senyawa. Aplikasi spektroskopi infra merah dalam senyawaan organik adalah pada identifikasi ikatan-ikatan kovalen antar atom penyusun senyawaan atau lebih khusus pada gugus fungsi. Informasi jenis ikatan kovalen yang terdapat dalam senyawaan dapat digunakan untuk meramalkan bentuk struktur senyawaan dan meramalkan sifat senyawaan (Gani, 1999). Penelitian mengenai struktur polimer bisa diperoleh melalui pertimbangan pada pita-pita absorpsi gugus-gugus fungsional, atau dengan membandingkan spektrum dengan spektrum senyawa-senyawa model molekul rerata (Steven, 2001).

Struktur molekul akan menentukan terjadinya puncak-puncak absorpsi dan pola spektra suatu senyawaan organik. Polianilin (PAN) garam emeraldin dan basa emeraldin mempunyai struktur molekul yang mengandung ikatan C-N, C=C aromatik juga ikatan N-H amina. Gugus baru yang terbentuk hasil polimerisasi anilin adalah imina (C=N). Ikatan ini menghasilkan pita absorpsi pada bilangan gelombang yang lebih panjang daripada ikatan C=C aromatik. Daerah serapan pada bilangan gelombang $1640-1690\text{ cm}^{-1}$, $1680-1620\text{ cm}^{-1}$ dan $3500-3100\text{ cm}^{-1}$ berturut-turut menunjukkan adanya vibrasi ikatan C=N (imina), C=C aromatik dan N-H terikat. Karena struktur PAN terdiri dari sistem aromatik, maka pita absorpsi dapat mengalami pergeseran karena pengaruh konjugasi. Pergeseran ini terjadi pada bilangan gelombang yang lebih pendek (Silverstein *et al.*, 1986; Creswell *et al.*, 1982; Hardjono, 1986).



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Kimia Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember serta di Laboratorium Dasar Bersama (LDB), Universitas Airlangga. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juli 2003.

3.2 Rancangan Penelitian

3.2.1 Rancangan Percobaan

Penelitian pengaruh pH dan komposisi PAN-epoksi terhadap sifat optik membran PAN-epoksi dilakukan dengan mengukur absorban membran PAN-epoksi. Rancangan percobaan ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rancangan Percobaan

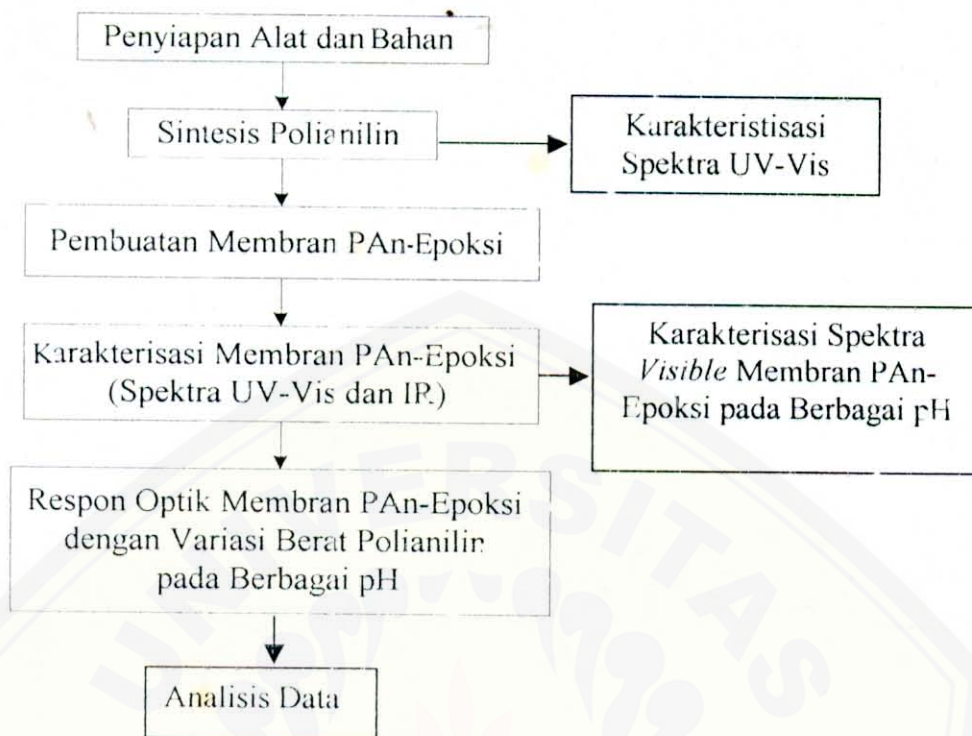
pH	Komposisi PAN- Epoksi	Parameter yang Diamati
2	1:50	- Absorban pada
3	2:50	panjang gelombang
dst	3:50	630 dan 400 n.n
12	4:50	- Warna membran

3.2.2 Parameter yang Diamati dalam Penelitian

Parameter yang akan diamati dalam penelitian ini meliputi : absorban dan warna membran PAN-epoksi dengan komposisi PAN-epoksi dan pH yang berbeda.

3.2.3 Diagram Alir Kerja Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang dikemukakan dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, maka pelaksanaan penelitian dilakukan seperti ditunjukkan dalam diagram Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Kerja Penelitian

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk preparasi (penyiapan) polianilin meliputi sumber arus DC konstan, amperemeter digital, potensiometer B5K, elektroda karbon, elektroda Ag/AgCl, pipet volume (25 mL; 50 mL), labu ukur (100 mL; 200 mL), gelas ukur (50 mL), dan beaker glass (100 mL; 150 mL).

Alat untuk pembuatan membran PAN-epoksi meliputi plastik mika transparan dan kaca (tebal : 0,5 cm) berukuran 15 x 15 cm digunakan untuk proses *press* membran serta mikrometer untuk mengukur ketebalan membran. Karakterisasi optik membran PAN-epoksi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer *ultra violet-visible* (UV-Vis) Shimadzu UV-365 dan FTIR-530 JASCO.

Analisa pengaruh pH dan komposisi PAN-epoksi terhadap spektra *visible* membran PAN-epoksi dan absorbansi membran dilakukan dengan menggunakan spektrometri-21D. Penyiapan larutan buffer pH 2 – 13 dikontrol menggunakan pH-meter HANNA Instruments.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kualitas *pure analysis* (p.a.) meliputi anilin, asetonitril, asam hidroklorida (HCl), dan kalium klorida (KCl). Bahan untuk membuat membran adalah resin epoksi beserta *hardener*nya. Larutan buffer pH 2-13 dibuat dari kristal asam sitrat monohidrat, asam borat dan trisodium orthofosfat.

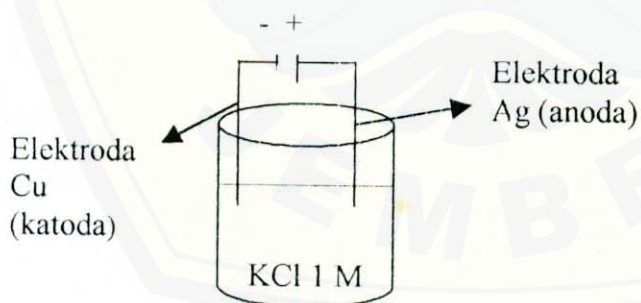
3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Penyiapan Alat dan Bahan

a) Penyiapan Elektroda

Elektropolimerisasi anilin menggunakan dua jenis elektroda yaitu elektroda karbon sebagai elektroda kerja dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda acuan. Penyiapan kedua elektroda karbon dan elektroda Ag/AgCl adalah sebagai berikut ini.

- 1) Elektroda karbon dibuat dengan mencetak karbon menjadi lempengan atau batangan karbon berukuran (1 x 0,3 x 3) cm.
- 2) Elektroda Ag/AgCl dibuat dengan cara elektrolisis elektroda Ag (sebagai anoda) dan elektroda Cu (sebagai katoda) dalam larutan KCl 1M selama 30 menit, seperti ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Penyiapan Elektroda Ag/AgCl

b) Penyiapan Larutan untuk Polimerisasi

Anilin yang digunakan untuk pembuatan polianilin disiapkan dengan mengencerkan larutan anilin p.a. menjadi 0,75 M dengan menggunakan pelarut asetonitril. Larutan HCl 2 M yang digunakan untuk pembuatan polianilin

disiapkan dengan mengencerkan HCl p.a. menggunakan pelarut asetonitril 40 % dalam aquades.

c) Penyiapan Larutan Buffer

Larutan buffer yang digunakan merupakan larutan *buffer universal*. Penyiapan larutan buffer pH 2 – 13 dilakukan dengan mencampurkan sebanyak x mL larutan (asam sitrat 0,05 M dan asam borat 0,2 M) dengan (200-x) mL larutan trisodium orthofosfat 0,1 M (sesuai Tabel 5). pH larutan buffer dikontrol dengan menggunakan pH-meter.

Tabel 5. Penyiapan Larutan Buffer pH 2-13

pH	x mL	pH	x mL
2,0	195	8,0	85
3,0	176	9,0	69
4,0	155	10,0	54
5,0	134	11,0	44
6,0	118	12,0	17
7,0	99	13,0	5

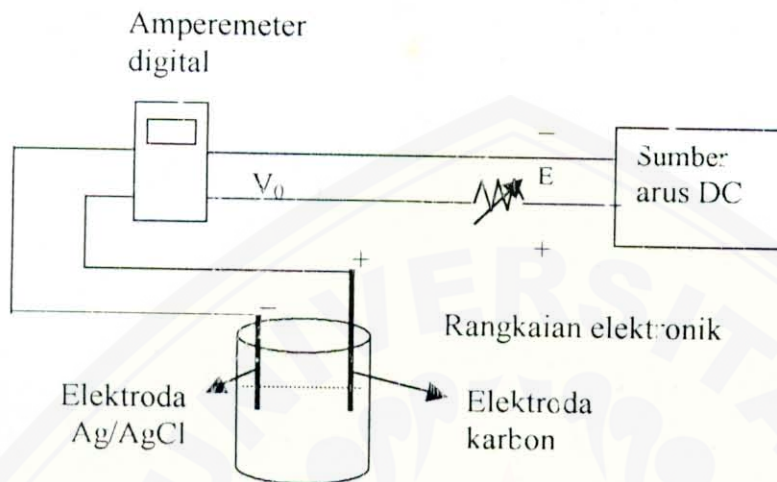
(Cormody dalam Perrin, 1974)

3.4.2 Pembuatan Polianilin (PAN)

Pembuatan PAN dilakukan melalui proses elektropolimerisasi anilin berdasar pada hasil penelitian Isa (2001). Metode yang digunakan adalah metode galvanostatik. Pada metode ini digunakan sel dua elektroda yang terdiri dari elektroda karbon sebagai elektroda kerja (anoda) dan elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda acuan (katoda) dengan sumber arus konstan.

Polimerisasi anilin dilakukan dengan menggunakan sumber arus konstan yang diatur menggunakan potensiometer (kalibrasi arus ditunjukkan dalam Lampiran 1) pada voltase 1,5 volt. Sel elektrokimia diisi larutan anilin 0,75 M sebanyak 25 mL dan 50 mL larutan HCl 2 M. Arus sebesar 2 mA dialirkan pada rangkaian yang disusun sesuai dengan Gambar 10. Waktu polimerisasi adalah 90

menit. Selanjutnya polianilin yang dihasilkan dikering-anginkan. Kemudian direndam dalam larutan HCl 0,5 M (pelarut etanol-air) selama 20 menit dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 65°C.



Gambar 10. Rangkaian Alat Elektropolimerisasi Anilin

3.4.3 Pembuatan Membran PAn-Epoksi

Membran dibuat dengan mencampurkan secara langsung 0,5 gram epoksi-hardener (Subroto, 2002) dengan variasi berat polianilin 0,01; 0,02; 0,03 dan 0,04 gram. Campuran ini ditaruh di atas plastik mika transparan dan ditutup dengan plastik yang lain dengan ukuran yang sama. Kemudian di-press dengan dijepit dua kaca menggunakan beban seberat ± 3 kg. Membran yang dihasilkan dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan bentuk yang elastis. Ketebalan membran diukur dengan menggunakan mikrometer.

3.5 Karakterisasi Polianilin (F An) dan Membran PAn-Epoksi

PAn yang dihasilkan dari elektropolimerisasi dan membran PAn-epoksi dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrofotometer FTIR juga digunakan untuk mengkarakterisasi membran. Hal ini dilakukan untuk mengetahui struktur awal PAn dalam membran serta perubahan struktur yang terjadi setelah dibentuk menjadi membran. Karakterisasi spektra UV-Vis

polianilin dan membran PAn-epoksi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV-365. *Scanning* absorban dilakukan pada daerah panjang gelombang 200 nm sampai 800 nm.

Jenis-jenis vibrasi ikatan kovalen dalam molekul membran PAn-epoksi dikarakterisasi menggunakan spektrometer FTIR-530 JASCO. Karakterisasi ini dilakukan pada membran PAn-epoksi dan membran tanpa polianilin (membran epoksi-*hardener*). Pengukuran spektra IR dilakukan pada daerah 400 cm^{-1} sampai dengan 4000 cm^{-1} dengan menggunakan pelet KBr sebagai wadah sampel.

3.6 Pengaruh Komposisi PAn-Epoksi terhadap Spektra *Visible* Membran PAn-Epoksi

Spektra *visible* membran PAn-epoksi pada empat komposisi PAn-epoksi yang berbeda diperoleh dengan *scanning* absorban membran PAn-epoksi pada panjang gelombang 400-800 nm. Hal ini dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer Spektronic 21D. Membran yang digunakan adalah membran awal dengan ukuran membran 1 x 2 cm.

3.7 Pengaruh pH terhadap Spektra *Visible* dan Warna Membran PAn-Epoksi

Karakterisasi spektra *visible* membran PAn-epoksi akibat adanya perubahan pH dilakukan dengan menggunakan Spektronic-21D. Pengaruh pH pada spektra membran dilakukan dengan merendam membran PAn-epoksi selama 3 jam pada larutan dengan kondisi pH tertentu. Variasi pH yang digunakan adalah pH 2 - 13. Pada masing-masing kondisi pH, warna membran diamati. Spektra membran PAn-epoksi diperoleh dengan *scanning* absorban membran pada daerah panjang gelombang 400 - 800 nm.

3.8 Pengukuran Absorban Membran PAn-Epoksi pada pH yang Berbeda

3.8.1 Optimasi Waktu Perubahan Warna Membran

Optimasi waktu digunakan untuk optimasi proses perendaman membran dalam larutan pH tertentu. Hal ini dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan oleh membran PAn epoksi sampai absorban membran dan warna membran tetap. Karena membran berwarna biru, maka pengukuran waktu respon dilakukan pada kondisi pH asam, yaitu pada pH 3. Waktu optimal diketahui dengan merendam membran selama 45 menit (sampai warna membran menjadi hijau). Selanjutnya membran diukur absorbannya pada 400 nm. Membran ini kemudian direndam lagi selama 45 menit, dikeringkan dan diukur absorbannya. Hal ini dilakukan sampai absorban membran tetap (konstan).

3.8.2 Pengukuran Absorban Membran PAn-Epoksi

Pengukuran absorban membran PAn-epoksi pada pH yang berbeda dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH dan komposisi PAn-epoksi (dalam membran). Variasi pH yang digunakan untuk tujuan ini adalah pH 2 – 12. Membran PAn-epoksi direndam dalam larutan yang telah diketahui pH-nya selama 1,5 jam. Pengukuran absorban membran PAn-epoksi dilakukan pada panjang gelombang 400 dan 630 nm. Pengukuran pada pH yang berbeda dilakukan dengan 6 kali pengulangan untuk setiap membran yang digunakan.

3.9 Regenerasi Membran PAn-Epoksi

Regenerasi membran dilakukan untuk mengetahui sifat *renewable* membran PAn-epoksi. Absorban awal dari membran PAn-epoksi ditentukan pada λ 400 nm. Selanjutnya setelah perlakuan perendaman pada kondisi pH tertentu, membran diregenerasi. Hal ini dilakukan dengan merendam membran PAn-epoksi dalam larutan NaOH 0,5 M sampai membran berubah kembali menjadi biru. Kemudian membran dikering-anginkan selama 1 jam dan diukur absorbannya pada λ 400 nm. Persen regenerasi ditentukan dengan menggunakan persamaan 1.

$$\%R = 100 - \left(\frac{[A_t - A_0]}{A_0} \times 100\% \right) \dots\dots\dots (1)$$

dimana : A_0 = Absorban membran awal

A_t = Absorban membran setelah regenerasi

3.10 Analisa Data

Metode regresi linier digunakan untuk mengetahui pola (*trend*) pengaruh pH terhadap perubahan absorban membran PAN-epoksi (Miller, 1991). *Trend* pengaruh pH terhadap absorban membran PAN-epoksi diketahui dari kurva plot pH terhadap absorban membran. Dari kurva yang diperoleh kemudian ditentukan daerah pH linier dan koefisien korelasinya.

Metode *ANOVA two-way* digunakan untuk mempelajari pengaruh pH dan komposisi PAN-epoksi serta interaksi keduanya terhadap absorban membran PAN-epoksi (Meloun, 1992). Model yang digunakan adalah model berimbang (*balanced model*). Faktor pH mempunyai N level (N = 4) sedangkan komposisi PAN-epoksi mempunyai M level (M = 4). Untuk tiap-tiap sel dilakukan pengukuran sebanyak n kali (n = 6).

Estimasi rata-rata aritmatik dinyatakan sebagai berikut :

$$\hat{\mu}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ijk} \dots\dots (2) \quad \hat{\mu} = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\mu}_{ij} \dots\dots (3)$$

$$\hat{\alpha}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} \dots\dots (4) \quad \hat{\beta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} \dots\dots (5)$$

Estimasi interaksi didefinisikan sebagai :

$$\hat{\tau}_{ij} = \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j \dots\dots (6)$$

Uji *non-additivity* dari interaksi Tukey (interaksi pH dan komposisi PAN-epoksi) diketahui dari plot $\hat{\tau}_{ij}$ lawan $\hat{\alpha}_i \times \hat{\beta}_j$. Pengaruh pH dan komposisi PAN-epoksi terhadap absorban membran PAN-epoksi diuji dengan *ANOVA two-way* menggunakan rumus yang tertera dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rumus Analisis Varian (ANAVA *two-way*)

Jumlah kuadrat	Derajat kebebasan	Kuadrat rata-rata	Uji F-standar
Faktor pH $S_A = n \times M \sum_{i=1}^N \hat{\alpha}_i^2$	$N - 1$	$M_A = \frac{S_A}{N - 1}$	$F_A = \frac{M_A}{M_R}$
Faktor komposisi $S_B = n \times N \sum_{j=1}^M \hat{\beta}_j^2$	$M - 1$	$M_B = \frac{S_B}{M - 1}$	$F_B = \frac{M_B}{M_R}$
Interaksi AB $S_{AB} = n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\tau}_{ij}^2$	$(N - 1)(M - 1)$	$M_{AB} = \frac{S_{AB}}{(N - 1)(M - 1)}$	$F_{AB} = \frac{M_{AB}}{M_R}$
Residu $S_R = \sum_i \sum_j \sum_k (y_{ijk} - \hat{\mu}_{ij})^2$	$M \times N (n - 1)$	$M_R = \frac{S_R}{M \times N (n - 1)}$	-

Keterangan: $\hat{\mu}_{ij}$ = rata-rata tiap sel

$\hat{\mu}$ = rata-rata data keseluruhan

y_{ijk} = data tiap sel pada ulangan ke k

$\hat{\alpha}_i$ = pengaruh pH pada level i

$\hat{\beta}_j$ = pengaruh komposisi PAN-epoksi pada level j

\hat{e}_{ijk} = residu dari tiap-tiap data dalam sel

$\hat{\tau}_{ij}$ = pengaruh interaksi dalam tiap sel

M_A , M_B , M_{AB} dan M_R berturut-turut merupakan ragam (varian) dari pH, komposisi PAN-epoksi, interaksi dan residu. F_A , F_B dan F_{AB} digunakan untuk menguji pengaruh pH, pengaruh komposisi PAN-epoksi dan pengaruh interaksi keduanya. Uji ini dilakukan dengan selang kepercayaan 95% ($P = 0,05$).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Karakterisasi spektra UV-Vis dan IR membran PAN-epoksi membuktikan bahwa modifikasi PAN garam emeraldin dengan epoksi membentuk membran mengakibatkan perubahan struktur PAN menjadi basa emeraldin. PAN yang dihasilkan berwarna hijau, stabil dan berbentuk granular. Sedangkan membran PAN-epoksi yang dihasilkan berwarna biru dan bersifat transparan.
- 2) Pengaruh komposisi membran dengan adanya peningkatan jumlah PAN terhadap spektra *visible* membran PAN-epoksi menyebabkan terjadinya peningkatan intensitas puncak absorpsi pada daerah panjang gelombang 500 – 800 nm.
- 3) Penurunan pH menyebabkan pergeseran puncak serapan spektra *visible* membran PAN-epoksi ke panjang gelombang yang lebih panjang akibat terjadinya protonasi pada struktur PAN dalam membran. pH di bawah 6 dapat mengubah warna membran menjadi hijau. Intensitas warna hijau bertambah dengan adanya penurunan pH mulai 5 - 2.
- 4) Pengaruh pH terhadap absorban membran PAN-epoksi pada 400 nm menghasilkan *trend* yang linier dalam *range* pH 2 - 5 dengan linieritas berturut-turut sebesar 0,990; 0,952; 0,968 dan 0,983 dari membran dengan komposisi PAN-epoksi 1:50, 2:50, 3:50 dan 4:50. Sedangkan pada *range* pH 6 - 12 perubahan pH tidak menyebabkan perubahan absorban.
- 5) pH dan komposisi PAN-epoksi memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap absorban membran pada 400 nm dalam *range* pH 2-5. Uji statistik juga menunjukkan adanya pengaruh interaksi aditif yang signifikan pada tingkat signifikansi (α) 0,05 terhadap absorban membran PAN-epoksi.

5.2 Saran

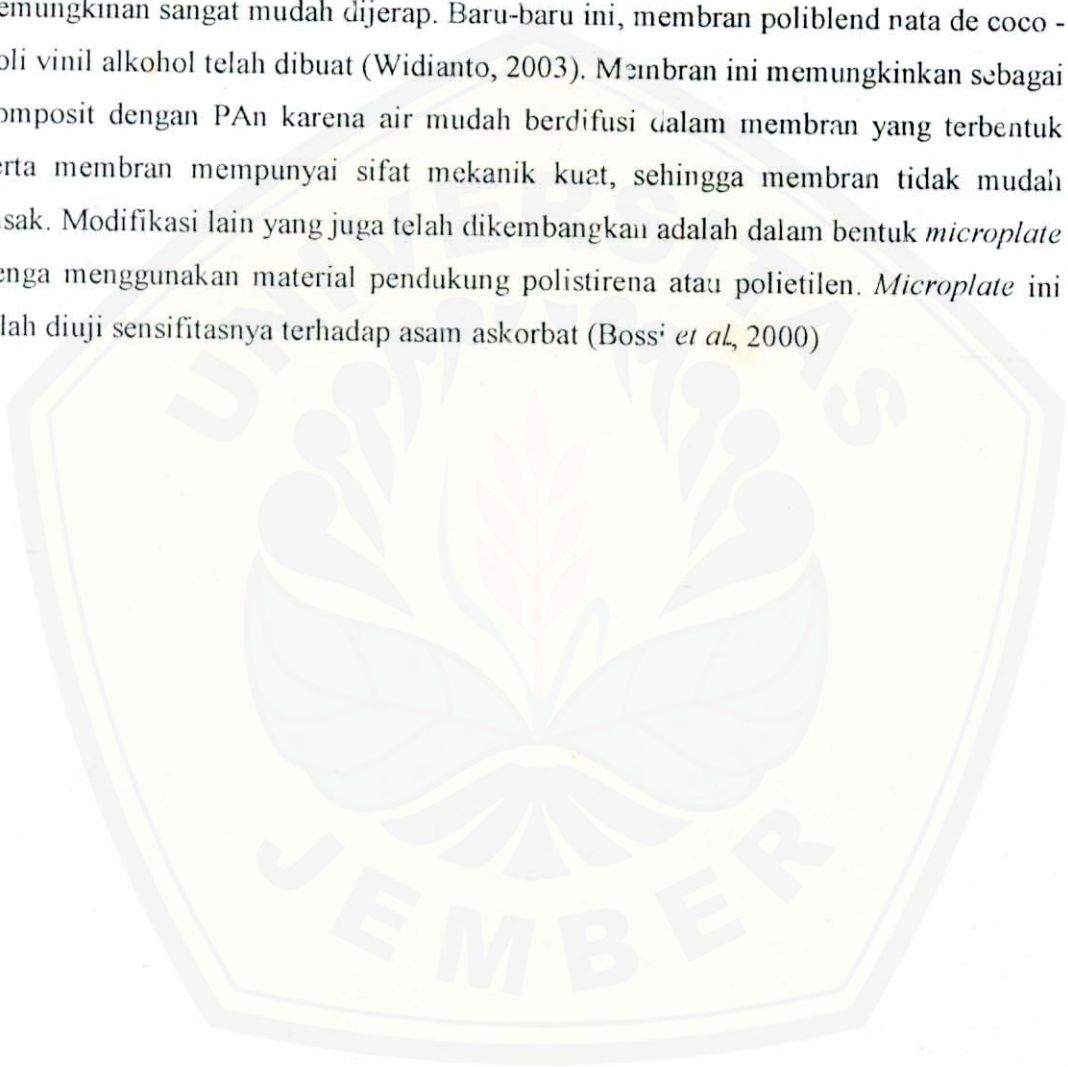
Hasil penelitian menunjukkan perubahan warna membran PAN-epoksi terjadi pada pH asam yaitu pH 2 – 5. Berdasarkan range pH ini, maka membran dapat dimanfaatkan sebagai *strip test* pH dengan range kerja pada pH 2-6. Membran juga dapat dikembangkan sebagai bahan dasar sensor senyawa - senyawa yang bersifat asam. Perubahan yang bersifat *reversible* dari membran memungkinkan bagi membran untuk digunakan sebagai sensor pH basa. Hal ini dapat dilakukan dengan mengubah struktur PAN basa emeraldin dalam membran menjadi garam emeraldin dalam larutan yang bersifat asam. Untuk itu, perlu penelitian lebih lanjut terhadap membran PAN-epoksi yang berwarna hijau.

Pada penelitian ini membran PAN-epoksi yang dihasilkan hanya memiliki dua warna. Pemanfaatan membran ini sebagai *strip test* pH memerlukan warna lain yang berbeda. Struktur PAN yang lain, yaitu leukomeraldin dan pernigranilin mempunyai warna kuning dan ungu (Kessler, 2002) memungkinkan untuk digunakan untuk tujuan ini. Dengan demikian, perlu studi lanjutan terhadap sifat optik kedua jenis PAN tersebut.

Studi regenerasi yang telah dilakukan menghasilkan persen regenerasi sebesar 99 %. Tetapi kemampuan membran untuk digunakan secara berulang-ulang belum diuji. Hal ini dilakukan dengan mengetahui efek *spiking*, yaitu dengan mengetahui besarnya perubahan absorban membran pada kondisi pH yang sama, sebelum dan sesudah diregenerasi.

Modifikasi polianilin (PAN) dengan epoksi menghasilkan membran yang menyerap PAN dalam struktur ikat silang epoksi. Hal ini menyebabkan larutan sulit berdifusi ke dalam pori membran yang mengakibatkan sensitifitas PAN dalam membran terhadap perubahan pH rendah. Selain itu ketebalan membran juga berpengaruh terhadap waktu respon membran. Oleh karena itu, untuk menghasilkan membran dengan waktu respon yang lebih sedikit, membran PAN-epoksi harus dicetak setipis mungkin. Tetapi proses pencetakan ini sangat dipengaruhi oleh sifat epoksi yang adhesif.

Alternatif lain untuk mengatasi kelemahan membran PAN-epoksi adalah dengan menggunakan material polimer yang tidak berikat silang. Karena sifat PAN yang tidak larut dalam air dan pelarut organik umum (Kessler, 2002), maka PAN kemungkinan sangat mudah dijerap. Baru-baru ini, membran poliblend nata de coco - poli vinil alkohol telah dibuat (Widianto, 2003). Membran ini memungkinkan sebagai komposit dengan PAN karena air mudah berdifusi dalam membran yang terbentuk serta membran mempunyai sifat mekanik kuat, sehingga membran tidak mudah rusak. Modifikasi lain yang juga telah dikembangkan adalah dalam bentuk *microplate* dengan menggunakan material pendukung polistirena atau polietilen. *Microplate* ini telah diuji sensitifitasnya terhadap asam askorbat (Bossi *et al.*, 2000)





DAFTAR PUSTAKA

- Agustine, L. 1986. "Pembuatan Resin Epoksi". *Majalah BPPT*. XIII. 104 - 117.
- Bossi, A., Sergey A.P., Elena, V P., Righetti, P.G., and Turner, A.P. F. 2000." An Assay for Ascorbic Acid Based on Polyaniline-Coated Microplates". *Journal Analytical Chemistry*. 72. 18. 4296-4300.
- Charles, B.S., Euler, W.B. and Force, R.R. 1994." Polyaniline – A Conducting Polymer". *Journal Chemical Education*. 71. 4 – 10.
- Chen, S.A. and Lee, T.S. 1987. "Fibrillar Morphology of the Electrochemically Polymerized Polyaniline in Tetrafluoroboric Acid Aqueous Solution". *Journal of Polymer Science*. 25. 455-460.
- Cho, W.J. and Huang, H.J. 1998. "An Amperometric Urea Biosensor Based on a Polyaniline – Perfluorosulfonated Ionomer Composite Electrode". *Analytical Chemistry*. 70. 3946-3951.
- Creswell, C. J., Runquist, O. A. and Campbell, M.M. 1982. "Analisis Spektrum Senyawa Organik." Terjemahan Kosasih P. dan Iwang S dari Spectrum Analysis of Organic Compound. Bandung : ITB.
- Gani, A.A. 2000. "Karakterisasi Spektra Inframerah Senyawa P₂O₅". *Jurnal Ilmu Dasar*. 1. 1. 29-539.
- Hardjono, S. 1991. *Spektroskopi*. Yogyakarta : Liberty.
- Hjertberg, T., Salaneck, W. R., Lundstrom I., Somasiri N. C. D. and Macdiarmid. A.G. 1985. "A¹³C CP-MAS NMR Investigation of Polyaniline". *Journal of Polymer Science*. 23. 503-508.
- Indriani, K.I. dan Agustine, L. 1986. "Bahan Polimer dalam Industri Plastik di Indonesia". *Majalah BPPT*. XI. 10-16.
- Isa, A.K. 2001. "Studi Struktur-struktur Polianilin dalam Elektropolimerisasi secara Galvanostatik". Skripsi. Jember : FMIPA Univ. Jember.
- Jones, A. J. 1987. "Membran and Separation Technology : The Australian Perspective". Canberra : Australian Government Publishing Service.
- Kessler, Z. 2002. *ORMECON – A Conductive Polymer – An Organic Metal*. <http://www.zipperling.de/index.html>.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : UI Press.

- Kim, D.H. and Kim, S.C. 1987. "Vitrification effect on the Curing Reaction of Epoxy Resin". *Polymer Bulletin*. 18. 533-539.
- Liu, C.H., Liao, K.T. and Huang, H.J. 2000. "Amperometric Immunosensors Based on Protein A Coupled Polyaniline-Perfluorosulfonated Ionomer Composite Electrodes". *Analytical Chemistry*. 72. 2925-2929.
- Meloun, M., Militký, J. and Forina, M. 1992. *Chemometrics for Analytical Chemistry. Volume I : PC - Aided Statistical Data Analysis*. New York : Ellis Horwood.
- Miller, J.C. dan Miller, J.N. 1991. "Statistika untuk Kimia Analitik". Terjemahan Suroso dari *Statistic for Analytical Chemistry*. Bandung : ITB.
- Mulder, M. 1991. *Basic Principle of Membrane Technology*. Netherlands : Kluwer Academic Publisher.
- Orata, D. and Butry, D.A. 1987. "Determination of Ion Populations and Solvent Content as Functions of Redox State and pH in Polyaniline". *J. Am. Chem. Soc.* 109. 3574-3581.
- Perin, D.D. 1974. "Buffer for pH and Metal Ion Control". London : Chapman and Hall.
- Scheffler, W.C. 1999. "Statistika untuk Biologi, Farmasi, Kedokteran dan Ilmu yang Bertautan". Terjemahan Suroso dari *Statistics for the Biological Science*. Bandung : Penerbit ITB.
- Silverstein, Bassler and Morrill. 1991. *Spectrometric Identification of Organic Compound*. Canada : By John Wiley & Sons, Inc.
- Steven, M.P. 2001. *Kimia Polimer*. Terjemahan Iis Sopyan dari *Polymer Chemistry : An Introduction*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Subroto, D. 2002. *Studi Adsorpsi Membran PAN-epoksi terhadap ion Cl sebagai Sensor*. Skripsi. Jember : FMIPA Univ. Jember.
- Suryaningsih, S. dan Yuliah, Y. 1998. *Pengaruh Konsentrasi Elektrolit, Tegangan dan Temperatur pada Konduktivitas Bahan Polianilin*. Laporan Penelitian. Bandung : FMIPA Univ. Padjadjaran.
- Widianto, T. 2003. *Studi Karakteristik Campuran (Blend) Sellulosa Bakterial Nata de coco / Poli Vinil Alkohol (PVA)*. Skripsi. Jember : FMIPA Univ. Jember.

- Yan Sun, Y.W. Jang, G.W. and Xun T. 1990. "Effects of p-Aminodiphenylamine on Electrochemical Polymerization of Aniline". *Journal of Polymer Science*. 28. 81-87.
- Yang, Yun-Jung and Huang, H.J. 2001. "A Polyaniline-Modified Electrode-Based FIA System for Sub-ppb-Level Chromium (VI) Analysis". Dalam *Analytical Chemistry*. Vol. 73. p. 1377-1381.
- Yuliah, Y. dan Aryani, T. 1999. *Pengaruh Arus Sintesis terhadap Konduktivitas Polianilin Hasil Elektropolimerisasi*. Laporan Penelitian. Bandung: FMIPA Univ. Padjadjaran.



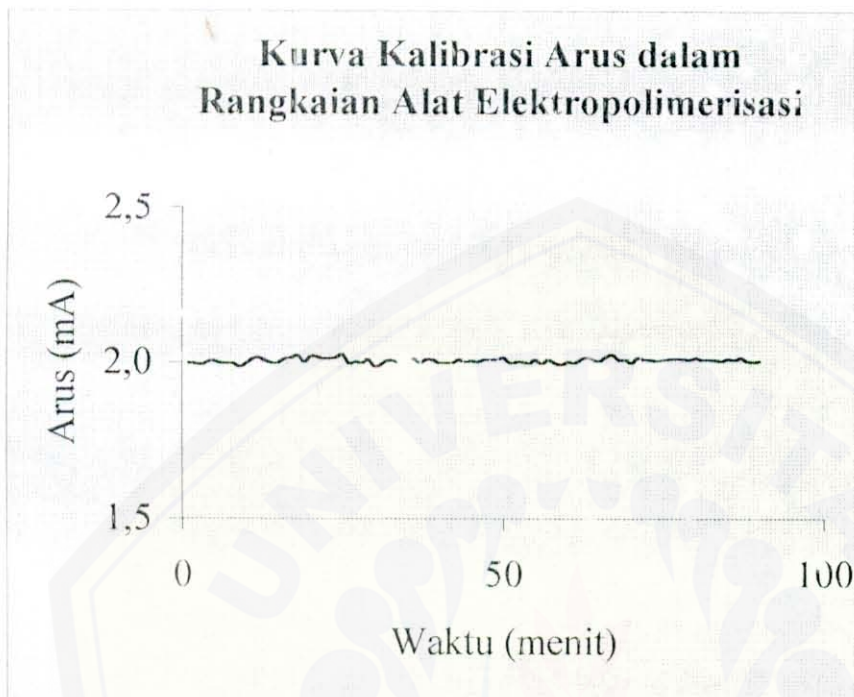
Lampiran 1

Data Kalibrasi Arus Listrik dalam Rangkaian Alat Elektropolimerisasi

menit	Arus (mA)				menit	Arus (mA)				menit	Arus (mA)			
	u1	u2	u3	\bar{u}		u1	u2	u3	\bar{u}		u1	u2	u3	\bar{u}
0	2,00	2,00	2,00	2,00	30	1,98	2,00	2,00	1,99	60	2,00	2,00	2,00	2,00
1	1,98	1,99	2,02	2,00	31	1,99	2,02	2,01	2,01	61	2,02	2,00	2,01	2,01
2	1,98	1,99	2,01	1,99	32	1,99	2,03	2,00	2,01	62	2,03	2,00	2,02	2,02
3	2,00	1,99	2,02	2,00	33	1,98	1,99	2,02	2,00	63	2,02	2,01	2,00	2,01
4	2,01	1,99	2,02	2,01	34	1,98	2,01	2,02	2,00	64	2,00	2,01	2,01	2,01
5	1,99	2,01	2,00	2,00	35	1,99	2,02	2,03	2,01	65	2,02	2,02	2,02	2,02
6	1,98	1,99	2,02	2,00	36	2,00	1,98	2,02	2,00	66	2,02	2,02	2,04	2,03
7	1,99	1,97	2,03	2,00	37	2,01	2,00	2,02	2,01	67	2,02	1,99	2,02	2,01
8	1,99	1,97	2,00	1,99	38	1,99	2,02	2,02	2,01	68	2,02	2,00	2,01	2,01
9	2,00	1,98	2,01	2,00	39	1,97	2,03	2,00	2,00	69	2,00	2,00	2,00	2,00
10	2,02	2,01	2,01	2,01	40	1,99	1,99	2,02	2,00	70	2,02	2,01	2,02	2,02
11	2,02	2,00	2,03	2,02	41	1,99	2,01	2,00	2,00	71	2,00	2,01	2,02	2,01
12	2,02	2,00	2,00	2,01	42	2,00	2,02	2,01	2,01	72	2,01	2,00	2,02	2,01
13	2,01	1,99	2,00	2,00	43	1,99	2,02	2,00	2,00	73	2,00	2,00	2,02	2,01
14	1,99	1,99	2,02	2,00	44	1,99	2,03	2,00	2,01	74	2,00	2,00	2,03	2,01
15	2,02	2,00	2,02	2,01	45	1,99	1,99	2,03	2,00	75	2,03	2,00	2,01	2,01
16	2,01	2,01	2,03	2,02	46	2,00	2,01	2,02	2,01	76	2,02	2,01	2,01	2,01
17	2,02	2,02	2,03	2,02	47	2,00	2,02	2,01	2,01	77	2,01	2,01	2,02	2,01
18	2,00	2,00	2,01	2,00	48	2,00	2,03	2,00	2,01	78	2,00	2,01	2,02	2,01
19	2,02	2,02	2,02	2,02	49	2,00	2,02	2,03	2,02	79	2,03	2,01	2,01	2,02
20	2,03	2,00	2,03	2,02	50	2,00	1,99	2,01	2,00	80	2,01	2,02	2,00	2,01
21	2,01	2,02	2,01	2,01	51	2,00	2,00	2,01	2,00	81	2,01	2,02	2,00	2,01
22	2,02	2,00	2,02	2,01	52	2,00	2,00	2,01	2,00	82	2,01	2,02	2,00	2,01
23	2,01	2,01	2,03	2,02	53	2,00	2,01	1,99	2,00	83	1,99	2,02	2,01	2,01
24	2,03	2,02	2,03	2,03	54	2,00	2,02	2,01	2,01	84	2,01	2,02	2,01	2,01
25	2,00	1,99	2,00	2,00	55	2,00	1,99	2,00	2,00	85	2,00	2,03	2,00	2,01
26	1,99	2,01	2,01	2,00	56	2,00	2,01	2,02	2,01	86	2,02	2,03	2,00	2,02
27	1,98	2,02	2,00	2,00	57	2,00	1,98	2,02	2,00	87	2,02	1,99	2,01	2,01
28	1,98	2,02	2,03	2,01	58	1,98	1,99	2,01	1,99	88	2,01	1,99	2,01	2,00
29	1,98	1,98	2,00	1,99	59	2,01	1,99	2,01	2,00	89	2,01	2,00	2,01	2,01

Rata-rata	2,01
Standar deviasi	0,01

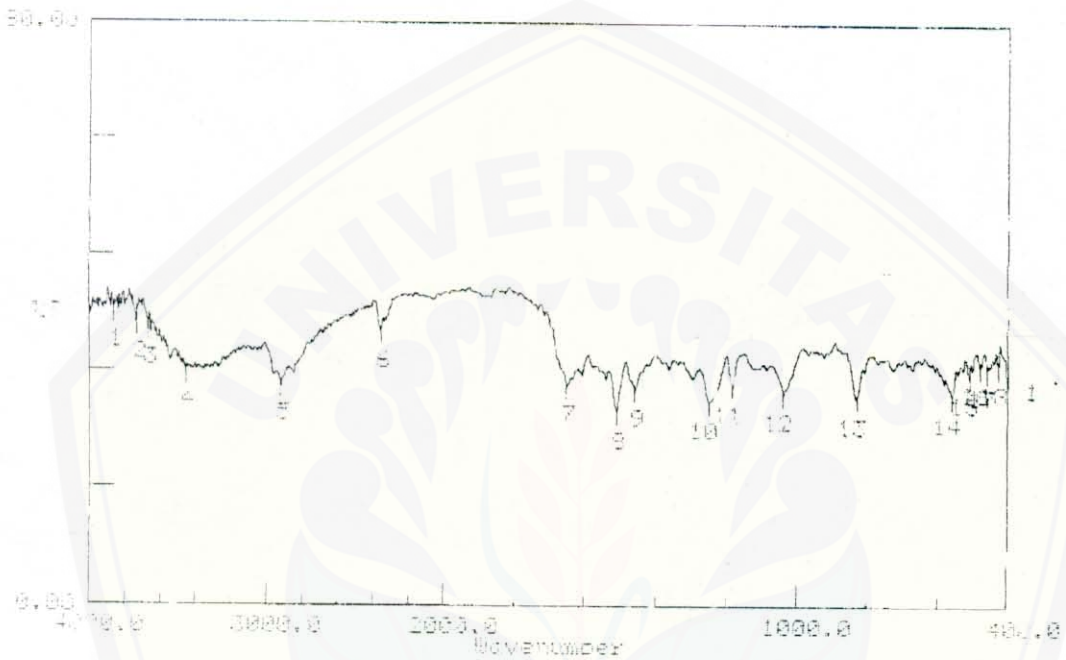
Lanjutan Lampiran 1



Lampiran 2

Data Karakterisasi Spektra IR Membran Tanpa PAN (Membran Epoksi-*Hardener*) dan Membran PAN-Epoksi

a) Data Spektra Membran Tanpa PAN (Membran Epoksi-*Hardener*)



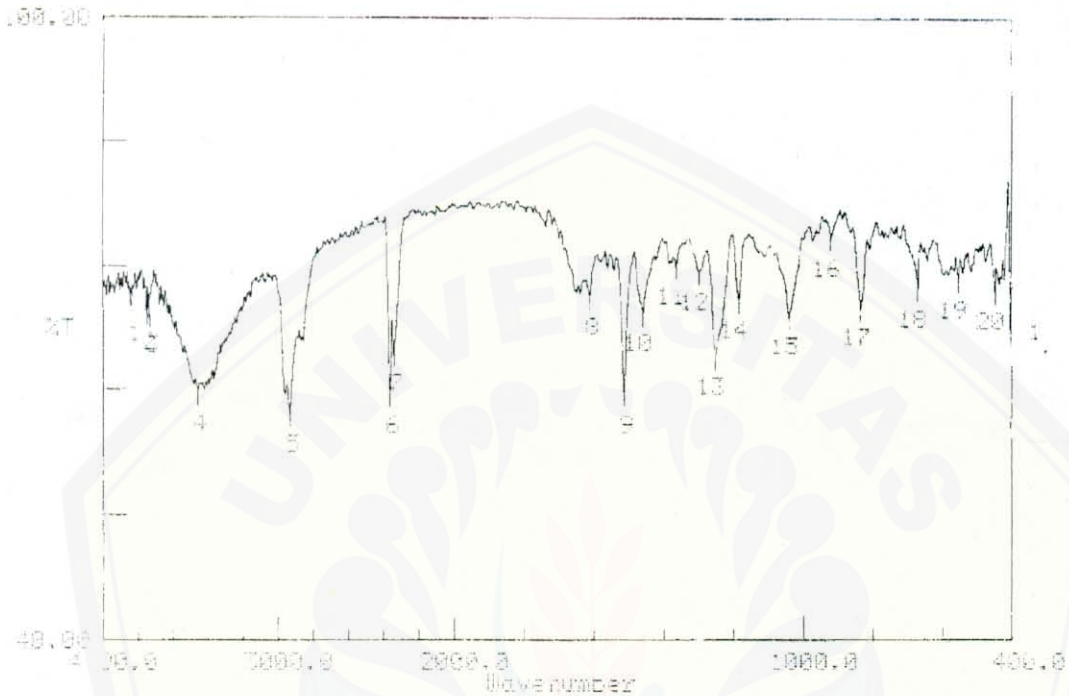
Condition
 upper 80.00 lower 0.00 depth 2.00

Peak Table

1:	3863.77(49.2)	2:	3736.45(38.5)	3:	3666.94(37.8)
4:	3468.61(32.6)	5:	2924.35(33.2)	6:	2359.15(37.5)
7:	1651.22(30.2)	8:	1510.49(26.5)	9:	1458.32(29.6)
10:	1248.06(28.0)	11:	1182.47(35.1)	12:	1037.89(29.2)
13:	829.47(20.5)	14:	537.48(28.8)	15:	509.25(31.6)
16:	478.39(33.0)	17:	459.10(32.8)	18:	426.31(32.1)

Lanjutan Lampiran 2

b) Data Spektra Membran PAN-Epoksi



Condition
upper 100.00 lower 40.00 depth 2.00

Peak table

14	3636.760	72.40	21	3748.830	71.60	31	3734.520	71.70
4	3458.680	63.90	5	2934.880	61.90	6	2363.810	63.80
7	2329.860	67.60	8	1888.780	73.20	9	1518.480	65.70
10	1456.320	71.50	11	1763.880	76.20	12	1396.280	75.60
13	1249.990	67.40	14	1184.480	72.80	15	1037.680	71.20
16	918.280	79.80	17	831.390	72.10	18	669.360	74.80
19	557.690	74.90	20	445.680	73.80			

Lampiran 3

Data Absorban Membran PAn-Epoksi Awal pada Empat Komposisi PAn-Epoksi yang Berbeda

λ (nm)	Komposisi 1:50 (Perbandingan Massa)				Komposisi 2:50 (Perbandingan Massa)			
	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}
400	0.586	0.510	0.504	0.533	0.634	0.632	0.614	0.627
410	0.548	0.485	0.470	0.501	0.595	0.503	0.570	0.589
420	0.520	0.452	0.442	0.471	0.575	0.564	0.542	0.560
430	0.497	0.434	0.423	0.451	0.546	0.544	0.525	0.538
440	0.484	0.409	0.411	0.435	0.537	0.532	0.516	0.528
450	0.478	0.397	0.403	0.426	0.532	0.527	0.514	0.524
460	0.471	0.392	0.399	0.421	0.534	0.526	0.514	0.525
470	0.466	0.391	0.394	0.417	0.535	0.526	0.507	0.523
500	0.473	0.417	0.401	0.430	0.562	0.547	0.535	0.548
520	0.475	0.431	0.405	0.437	0.577	0.562	0.553	0.564
540	0.483	0.437	0.413	0.444	0.596	0.581	0.571	0.583
560	0.492	0.441	0.420	0.451	0.616	0.595	0.592	0.601
580	0.498	0.448	0.429	0.458	0.634	0.609	0.611	0.618
600	0.503	0.452	0.433	0.463	0.646	0.620	0.620	0.629
610	0.506	0.453	0.436	0.465	0.650	0.624	0.623	0.632
620	0.507	0.454	0.437	0.466	0.654	0.628	0.627	0.636
630	0.507	0.453	0.436	0.465	0.655	0.629	0.628	0.637
640	0.506	0.442	0.435	0.461	0.659	0.630	0.620	0.640
650	0.505	0.447	0.432	0.461	0.656	0.628	0.628	0.637
660	0.500	0.442	0.431	0.458	0.654	0.625	0.625	0.635
670	0.495	0.437	0.426	0.453	0.648	0.621	0.619	0.629
680	0.489	0.436	0.421	0.449	0.641	0.616	0.615	0.624
690	0.486	0.433	0.415	0.445	0.638	0.613	0.610	0.620
700	0.485	0.429	0.413	0.442	0.634	0.608	0.608	0.617
720	0.473	0.419	0.404	0.432	0.621	0.595	0.596	0.604
740	0.460	0.404	0.391	0.418	0.602	0.572	0.579	0.584
760	0.448	0.400	0.377	0.408	0.585	0.563	0.563	0.570
780	0.437	0.388	0.370	0.398	0.568	0.551	0.546	0.555
800	0.425	0.380	0.358	0.388	0.550	0.534	0.532	0.539

Lanjutan Lampiran 3

λ (nm)	Komposisi 3 : 50 (Perbandingan Massa)				Komposisi 4 : 50 (Perbandingan Massa)			
	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}
400	0.718	0.645	0.735	0.699	0.866	0.880	0.872	0.873
410	0.670	0.596	0.686	0.651	0.800	0.804	0.802	0.802
420	0.636	0.568	0.650	0.618	0.752	0.756	0.754	0.754
430	0.596	0.552	0.648	0.599	0.730	0.724	0.720	0.725
440	0.573	0.547	0.618	0.579	0.708	0.712	0.708	0.709
450	0.599	0.548	0.616	0.588	0.702	0.710	0.708	0.707
460	0.603	0.554	0.621	0.593	0.712	0.718	0.714	0.715
470	0.610	0.605	0.630	0.615	0.722	0.730	0.722	0.725
500	0.650	0.639	0.674	0.654	0.782	0.778	0.786	0.789
520	0.683	0.674	0.708	0.688	0.834	0.850	0.838	0.841
540	0.719	0.704	0.742	0.722	0.882	0.904	0.884	0.890
560	0.748	0.730	0.764	0.747	0.930	0.952	0.932	0.938
580	0.775	0.745	0.803	0.774	0.968	0.994	0.974	0.979
600	0.785	0.755	0.825	0.788	0.998	1.026	1.008	1.011
610	0.807	0.765	0.835	0.802	1.012	1.040	1.022	1.025
620	0.813	0.769	0.841	0.808	1.024	1.048	1.030	1.034
630	0.817	0.775	0.847	0.813	1.030	1.058	1.040	1.043
640	0.821	0.777	0.851	0.816	1.038	1.065	1.046	1.050
650	0.825	0.777	0.853	0.818	1.040	1.065	1.048	1.051
660	0.827	0.777	0.855	0.820	1.042	1.065	1.048	1.052
670	0.821	0.745	0.851	0.806	1.038	1.062	1.046	1.049
680	0.817	0.769	0.847	0.811	1.032	1.052	1.038	1.041
690	0.811	0.765	0.839	0.805	1.024	1.044	1.028	1.032
700	0.805	0.755	0.837	0.799	1.016	1.036	1.016	1.023
720	0.791	0.740	0.817	0.783	0.990	1.006	0.986	0.994
740	0.765	0.717	0.795	0.759	0.958	0.968	0.952	0.959
760	0.750	0.697	0.775	0.741	0.926	0.932	0.916	0.925
780	0.730	0.678	0.755	0.721	0.890	0.896	0.878	0.888
800	0.714	0.663	0.737	0.705	0.856	0.862	0.846	0.855

Lampiran 4

Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 2, 3 dan 4

λ (nm)	pH 2				pH 3				pH 4			
	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}
400	0,726	0,700	0,699	0,708	0,581	0,503	0,534	0,539	0,579	0,583	0,561	0,574
410	0,706	0,681	0,671	0,686	0,554	0,475	0,507	0,512	0,541	0,544	0,535	0,540
420	0,688	0,662	0,656	0,669	0,525	0,449	0,483	0,486	0,507	0,508	0,505	0,507
430	0,670	0,644	0,656	0,657	0,504	0,425	0,462	0,464	0,483	0,484	0,481	0,483
440	0,648	0,625	0,640	0,638	0,483	0,408	0,444	0,445	0,465	0,465	0,460	0,464
450	0,624	0,599	0,622	0,615	0,461	0,386	0,422	0,423	0,449	0,449	0,432	0,443
460	0,583	0,561	0,599	0,581	0,434	0,368	0,399	0,400	0,433	0,433	0,416	0,427
470	0,534	0,515	0,566	0,538	0,404	0,349	0,366	0,373	0,414	0,406	0,388	0,403
490	0,471	0,457	0,512	0,480	0,365	0,335	0,332	0,344	0,387	0,380	0,378	0,382
500	0,454	0,441	0,450	0,448	0,353	0,307	0,323	0,328	0,374	0,369	0,370	0,371
510	0,444	0,454	0,354	0,411	0,344	0,296	0,315	0,318	0,366	0,363	0,368	0,366
520	0,435	0,427	0,338	0,400	0,339	0,286	0,311	0,312	0,361	0,358	0,362	0,360
530	0,431	0,421	0,325	0,392	0,334	0,284	0,307	0,308	0,359	0,357	0,361	0,359
540	0,429	0,418	0,322	0,390	0,331	0,280	0,303	0,305	0,358	0,357	0,360	0,358
550	0,425	0,417	0,313	0,385	0,329	0,278	0,301	0,303	0,356	0,356	0,360	0,357
560	0,424	0,416	0,312	0,384	0,327	0,277	0,301	0,302	0,357	0,355	0,361	0,358
570	0,423	0,415	0,312	0,383	0,325	0,276	0,300	0,300	0,357	0,354	0,363	0,358
580	0,423	0,415	0,314	0,384	0,324	0,259	0,299	0,294	0,357	0,355	0,364	0,359
590	0,424	0,417	0,315	0,385	0,325	0,260	0,299	0,295	0,358	0,355	0,365	0,359
600	0,425	0,419	0,318	0,387	0,326	0,260	0,299	0,295	0,358	0,355	0,366	0,360
610	0,426	0,420	0,320	0,389	0,326	0,260	0,300	0,295	0,358	0,356	0,366	0,360
620	0,426	0,421	0,323	0,390	0,327	0,261	0,301	0,296	0,359	0,357	0,367	0,361
630	0,426	0,422	0,328	0,392	0,327	0,261	0,302	0,297	0,357	0,356	0,366	0,360
640	0,428	0,423	0,331	0,394	0,328	0,261	0,303	0,297	0,358	0,356	0,365	0,360
650	0,432	0,427	0,336	0,398	0,328	0,262	0,304	0,298	0,357	0,356	0,364	0,359
660	0,434	0,428	0,351	0,404	0,329	0,262	0,304	0,298	0,355	0,354	0,363	0,357
670	0,434	0,429	0,355	0,406	0,330	0,262	0,304	0,299	0,352	0,352	0,360	0,355
680	0,435	0,430	0,364	0,410	0,330	0,263	0,304	0,299	0,349	0,351	0,357	0,352
690	0,439	0,435	0,369	0,414	0,333	0,263	0,307	0,301	0,348	0,350	0,356	0,351
700	0,443	0,438	0,380	0,420	0,334	0,268	0,311	0,304	0,345	0,350	0,355	0,350
710	0,450	0,443	0,390	0,428	0,340	0,271	0,315	0,309	0,345	0,350	0,355	0,350
720	0,453	0,447	0,397	0,432	0,344	0,273	0,319	0,312	0,344	0,347	0,353	0,348
730	0,454	0,450	0,407	0,437	0,345	0,276	0,319	0,313	0,341	0,345	0,348	0,345
740	0,461	0,451	0,417	0,443	0,346	0,278	0,320	0,315	0,339	0,344	0,346	0,343
750	0,462	0,455	0,427	0,448	0,348	0,280	0,323	0,317	0,335	0,340	0,343	0,339
760	0,464	0,457	0,438	0,453	0,351	0,280	0,326	0,319	0,333	0,340	0,340	0,338
770	0,469	0,461	0,443	0,458	0,353	0,281	0,328	0,321	0,332	0,339	0,336	0,336
780	0,470	0,464	0,449	0,461	0,356	0,285	0,331	0,324	0,331	0,339	0,335	0,335
790	0,472	0,467	0,459	0,466	0,358	0,286	0,332	0,325	0,328	0,336	0,334	0,333
800	0,474	0,468	0,467	0,470	0,360	0,287	0,341	0,329	0,327	0,336	0,332	0,332

Lampiran 5

Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 5, 6 dan 7

λ (nm)	pH 5				pH 6				pH 7			
	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}
400	0,598	0,610	0,623	0,610	0,621	0,581	0,645	0,616	0,644	0,568	0,56	0,591
410	0,560	0,676	0,585	0,607	0,577	0,546	0,609	0,577	0,606	0,543	0,528	0,559
420	0,528	0,546	0,558	0,544	0,550	0,516	0,578	0,548	0,578	0,510	0,500	0,529
430	0,505	0,524	0,533	0,521	0,527	0,497	0,556	0,527	0,555	0,492	0,481	0,509
440	0,489	0,508	0,518	0,505	0,514	0,483	0,542	0,513	0,542	0,467	0,469	0,493
450	0,476	0,497	0,503	0,492	0,503	0,479	0,532	0,505	0,536	0,455	0,461	0,484
460	0,462	0,486	0,491	0,480	0,502	0,474	0,529	0,502	0,529	0,450	0,457	0,479
470	0,448	0,475	0,477	0,467	0,495	0,471	0,525	0,497	0,524	0,449	0,452	0,475
490	0,438	0,470	0,465	0,458	0,490	0,473	0,525	0,496	0,530	0,474	0,450	0,485
500	0,429	0,465	0,459	0,451	0,491	0,474	0,524	0,496	0,531	0,475	0,459	0,488
510	0,425	0,461	0,458	0,448	0,493	0,475	0,526	0,498	0,529	0,477	0,460	0,489
520	0,424	0,462	0,456	0,447	0,487	0,475	0,527	0,496	0,533	0,489	0,463	0,495
530	0,423	0,466	0,458	0,449	0,522	0,479	0,530	0,510	0,535	0,490	0,466	0,497
540	0,425	0,466	0,461	0,451	0,523	0,483	0,533	0,513	0,541	0,495	0,471	0,502
550	0,430	0,469	0,461	0,453	0,528	0,486	0,536	0,517	0,545	0,496	0,475	0,505
560	0,432	0,471	0,464	0,456	0,533	0,492	0,540	0,522	0,550	0,499	0,478	0,509
570	0,435	0,476	0,468	0,460	0,534	0,494	0,543	0,524	0,555	0,502	0,484	0,514
580	0,439	0,477	0,471	0,462	0,539	0,499	0,547	0,528	0,556	0,506	0,487	0,516
590	0,440	0,480	0,473	0,464	0,540	0,501	0,550	0,530	0,559	0,509	0,489	0,519
600	0,441	0,483	0,475	0,466	0,541	0,503	0,552	0,532	0,561	0,510	0,491	0,521
610	0,443	0,483	0,476	0,467	0,542	0,505	0,554	0,534	0,564	0,511	0,494	0,523
620	0,444	0,483	0,477	0,468	0,544	0,506	0,556	0,535	0,565	0,512	0,495	0,524
630	0,444	0,484	0,479	0,469	0,544	0,511	0,566	0,540	0,565	0,511	0,494	0,523
640	0,444	0,485	0,477	0,469	0,545	0,509	0,554	0,536	0,564	0,500	0,493	0,519
650	0,445	0,486	0,477	0,469	0,543	0,505	0,553	0,534	0,563	0,505	0,490	0,519
660	0,445	0,485	0,476	0,469	0,540	0,503	0,548	0,530	0,558	0,500	0,489	0,516
670	0,438	0,479	0,473	0,463	0,531	0,502	0,544	0,526	0,553	0,495	0,484	0,511
680	0,434	0,476	0,468	0,459	0,526	0,501	0,541	0,523	0,547	0,494	0,479	0,507
690	0,432	0,473	0,466	0,457	0,522	0,496	0,537	0,518	0,544	0,491	0,473	0,503
700	0,431	0,471	0,463	0,455	0,521	0,491	0,534	0,515	0,543	0,487	0,471	0,500
710	0,431	0,469	0,460	0,453	0,518	0,488	0,531	0,512	0,537	0,480	0,468	0,495
720	0,426	0,466	0,454	0,449	0,512	0,485	0,525	0,507	0,531	0,477	0,462	0,490
730	0,423	0,463	0,453	0,446	0,506	0,472	0,518	0,499	0,525	0,469	0,455	0,483
740	0,416	0,457	0,448	0,440	0,499	0,468	0,512	0,493	0,518	0,462	0,449	0,476
750	0,414	0,447	0,442	0,434	0,493	0,460	0,507	0,487	0,513	0,462	0,443	0,473
760	0,410	0,443	0,435	0,429	0,485	0,457	0,499	0,480	0,506	0,458	0,435	0,466
770	0,403	0,438	0,434	0,425	0,482	0,450	0,495	0,476	0,500	0,452	0,430	0,461
780	0,402	0,435	0,431	0,423	0,476	0,445	0,488	0,470	0,495	0,446	0,428	0,456
790	0,401	0,431	0,428	0,420	0,472	0,440	0,485	0,466	0,486	0,442	0,420	0,449
800	0,396	0,429	0,424	0,416	0,466	0,438	0,479	0,461	0,483	0,438	0,416	0,446

Lampiran 6

Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 8, 9 dan 10

λ (nm)	pH 8				pH 9				pH 10			
	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}
400	0,572	0,645	0,574	0,597	0,607	0,700	0,660	0,656	0,642	0,635	0,674	0,650
410	0,534	0,605	0,547	0,562	0,572	0,656	0,614	0,614	0,608	0,597	0,631	0,612
420	0,505	0,572	0,513	0,530	0,542	0,624	0,584	0,583	0,579	0,565	0,596	0,580
430	0,483	0,552	0,493	0,509	0,523	0,600	0,560	0,551	0,557	0,542	0,578	0,559
440	0,471	0,538	0,483	0,497	0,510	0,585	0,547	0,547	0,545	0,528	0,574	0,549
450	0,463	0,529	0,447	0,480	0,501	0,575	0,538	0,538	0,535	0,520	0,557	0,537
460	0,459	0,526	0,469	0,485	0,500	0,571	0,533	0,535	0,531	0,518	0,556	0,535
470	0,458	0,523	0,468	0,483	0,496	0,568	0,531	0,532	0,529	0,513	0,555	0,532
490	0,460	0,525	0,470	0,485	0,500	0,570	0,535	0,535	0,530	0,520	0,560	0,537
500	0,462	0,528	0,473	0,488	0,504	0,577	0,540	0,540	0,534	0,522	0,563	0,540
510	0,464	0,530	0,474	0,489	0,506	0,581	0,542	0,543	0,536	0,526	0,555	0,542
520	0,466	0,534	0,477	0,492	0,507	0,586	0,550	0,548	0,539	0,533	0,570	0,547
530	0,471	0,538	0,481	0,497	0,508	0,591	0,556	0,552	0,545	0,538	0,576	0,553
540	0,476	0,542	0,484	0,501	0,514	0,599	0,563	0,559	0,550	0,545	0,589	0,561
550	0,480	0,547	0,489	0,505	0,519	0,606	0,572	0,566	0,555	0,552	0,593	0,567
560	0,485	0,551	0,492	0,509	0,525	0,613	0,577	0,572	0,561	0,559	0,601	0,574
570	0,488	0,556	0,496	0,513	0,531	0,621	0,584	0,579	0,566	0,562	0,607	0,578
580	0,492	0,560	0,504	0,519	0,534	0,626	0,589	0,583	0,570	0,569	0,620	0,586
590	0,494	0,562	0,504	0,520	0,538	0,632	0,595	0,588	0,573	0,572	0,623	0,589
600	0,497	0,564	0,505	0,522	0,541	0,636	0,601	0,593	0,579	0,575	0,625	0,593
610	0,497	0,567	0,506	0,523	0,544	0,638	0,601	0,594	0,578	0,579	0,626	0,594
620	0,499	0,568	0,508	0,534	0,545	0,641	0,604	0,597	0,581	0,582	0,623	0,595
630	0,500	0,567	0,507	0,525	0,545	0,641	0,605	0,597	0,580	0,583	0,628	0,597
640	0,499	0,566	0,506	0,524	0,545	0,641	0,605	0,597	0,580	0,581	0,628	0,596
650	0,498	0,564	0,505	0,522	0,541	0,636	0,603	0,593	0,578	0,578	0,624	0,593
660	0,494	0,562	0,504	0,520	0,534	0,632	0,600	0,589	0,574	0,574	0,620	0,589
670	0,490	0,556	0,498	0,515	0,526	0,626	0,594	0,582	0,565	0,569	0,615	0,583
680	0,486	0,553	0,492	0,510	0,521	0,619	0,591	0,577	0,558	0,565	0,608	0,577
690	0,484	0,551	0,490	0,508	0,520	0,614	0,581	0,572	0,554	0,559	0,602	0,572
700	0,481	0,546	0,489	0,505	0,520	0,601	0,575	0,565	0,546	0,552	0,597	0,565
710	0,478	0,540	0,484	0,501	0,518	0,600	0,567	0,562	0,543	0,546	0,590	0,560
720	0,474	0,536	0,482	0,497	0,508	0,593	0,561	0,554	0,533	0,537	0,577	0,549
730	0,468	0,531	0,475	0,491	0,498	0,579	0,549	0,542	0,532	0,527	0,567	0,542
740	0,462	0,525	0,469	0,485	0,493	0,569	0,536	0,533	0,511	0,517	0,556	0,528
750	0,461	0,518	0,463	0,481	0,479	0,558	0,525	0,521	0,501	0,503	0,546	0,517
760	0,460	0,513	0,459	0,477	0,466	0,545	0,515	0,509	0,490	0,496	0,534	0,507
770	0,456	0,508	0,454	0,473	0,459	0,534	0,505	0,499	0,480	0,480	0,523	0,494
780	0,450	0,503	0,447	0,467	0,452	0,525	0,496	0,491	0,471	0,477	0,511	0,486
790	0,443	0,497	0,443	0,461	0,441	0,515	0,485	0,480	0,459	0,466	0,500	0,475
800	0,439	0,492	0,440	0,457	0,435	0,506	0,476	0,472	0,450	0,460	0,493	0,468

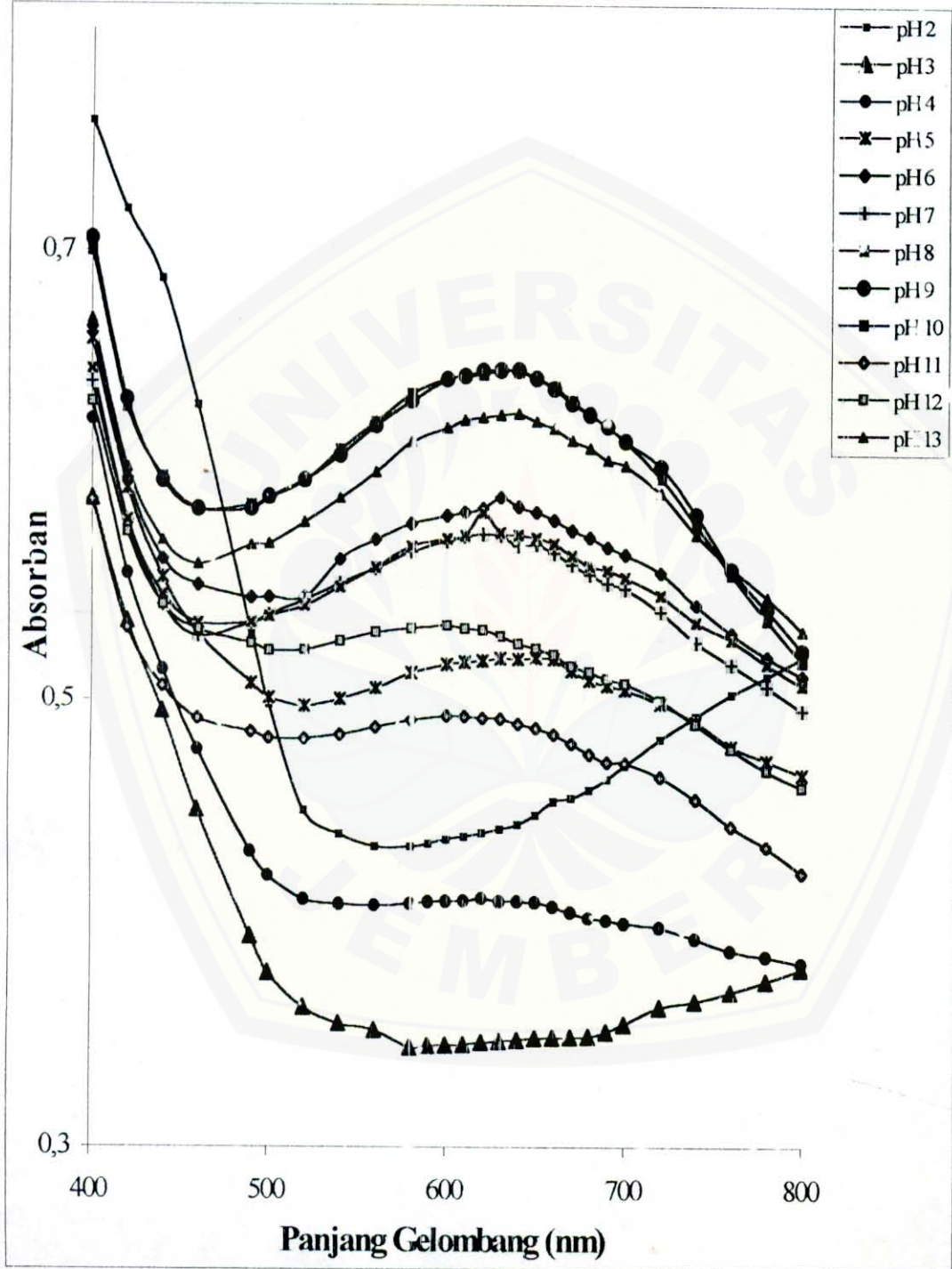
Lampiran 7

Data Scanning Absorban Membran PAN-Epoksi pada Kondisi pH 11, 12 dan 13

λ (nm)	pH 11				pH 12				pH 13			
	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}	u1	u2	u3	\bar{u}
400	0,546	0,556	0,514	0,539	0,565	0,605	0,577	0,582	0,624	0,623	0,612	0,620
410	0,513	0,521	0,484	0,506	0,535	0,574	0,548	0,552	0,586	0,586	0,573	0,582
420	0,494	0,495	0,458	0,482	0,507	0,545	0,521	0,524	0,559	0,556	0,544	0,553
430	0,473	0,477	0,441	0,464	0,493	0,525	0,502	0,507	0,537	0,534	0,522	0,531
440	0,462	0,466	0,441	0,456	0,478	0,511	0,490	0,493	0,528	0,524	0,511	0,521
450	0,452	0,458	0,430	0,447	0,473	0,500	0,485	0,486	0,521	0,519	0,503	0,514
460	0,448	0,454	0,423	0,442	0,470	0,495	0,480	0,482	0,517	0,514	0,501	0,511
470	0,443	0,451	0,420	0,438	0,469	0,490	0,479	0,479	0,514	0,512	0,500	0,509
490	0,443	0,450	0,414	0,436	0,464	0,490	0,473	0,476	0,527	0,522	0,508	0,519
500	0,441	0,444	0,413	0,433	0,460	0,485	0,472	0,472	0,528	0,521	0,510	0,520
510	0,440	0,445	0,412	0,432	0,461	0,482	0,473	0,472	0,531	0,525	0,516	0,524
520	0,442	0,445	0,410	0,432	0,462	0,482	0,474	0,473	0,533	0,533	0,521	0,529
530	0,442	0,446	0,410	0,433	0,464	0,484	0,476	0,475	0,540	0,535	0,527	0,534
540	0,443	0,449	0,411	0,434	0,465	0,487	0,478	0,477	0,546	0,540	0,533	0,540
550	0,444	0,452	0,411	0,436	0,467	0,488	0,480	0,478	0,553	0,548	0,542	0,548
560	0,447	0,454	0,412	0,438	0,472	0,489	0,481	0,481	0,557	0,552	0,545	0,551
570	0,450	0,455	0,413	0,439	0,473	0,490	0,482	0,482	0,565	0,560	0,554	0,560
580	0,451	0,457	0,415	0,441	0,473	0,490	0,484	0,482	0,571	0,565	0,558	0,565
590	0,452	0,457	0,417	0,442	0,474	0,489	0,486	0,483	0,573	0,568	0,563	0,568
600	0,453	0,458	0,418	0,443	0,475	0,488	0,488	0,484	0,575	0,572	0,566	0,571
610	0,451	0,458	0,419	0,443	0,476	0,484	0,487	0,482	0,579	0,575	0,569	0,574
620	0,451	0,458	0,417	0,442	0,475	0,483	0,487	0,482	0,580	0,575	0,572	0,576
630	0,451	0,457	0,417	0,442	0,473	0,478	0,486	0,479	0,581	0,577	0,572	0,577
640	0,450	0,452	0,416	0,439	0,471	0,474	0,482	0,476	0,583	0,578	0,571	0,577
650	0,445	0,452	0,415	0,437	0,470	0,468	0,482	0,473	0,577	0,577	0,568	0,574
660	0,442	0,451	0,411	0,435	0,467	0,465	0,480	0,471	0,576	0,572	0,564	0,571
670	0,437	0,444	0,410	0,430	0,461	0,462	0,474	0,466	0,572	0,567	0,557	0,565
680	0,434	0,439	0,404	0,426	0,459	0,460	0,470	0,463	0,568	0,563	0,555	0,562
690	0,430	0,438	0,398	0,422	0,455	0,455	0,469	0,460	0,564	0,557	0,549	0,557
700	0,429	0,438	0,398	0,422	0,453	0,453	0,467	0,458	0,560	0,557	0,546	0,554
710	0,426	0,437	0,396	0,420	0,450	0,450	0,463	0,454	0,557	0,550	0,541	0,549
720	0,419	0,433	0,394	0,415	0,445	0,446	0,459	0,450	0,550	0,543	0,535	0,542
730	0,415	0,429	0,389	0,411	0,440	0,440	0,452	0,444	0,541	0,536	0,525	0,534
740	0,410	0,423	0,383	0,405	0,434	0,436	0,448	0,439	0,532	0,527	0,513	0,524
750	0,402	0,417	0,377	0,399	0,430	0,429	0,442	0,434	0,524	0,520	0,507	0,517
760	0,398	0,412	0,370	0,393	0,423	0,424	0,437	0,428	0,516	0,511	0,501	0,509
770	0,393	0,407	0,368	0,389	0,420	0,419	0,431	0,423	0,510	0,504	0,494	0,505
780	0,389	0,401	0,362	0,384	0,413	0,414	0,428	0,418	0,504	0,500	0,486	0,497
790	0,382	0,393	0,354	0,376	0,410	0,407	0,422	0,413	0,499	0,491	0,48	0,491
800	0,378	0,389	0,350	0,372	0,406	0,406	0,420	0,411	0,492	0,482	0,470	0,481

Lampiran 8

Spektra Visible Membran PAn-Epoksi pada Kondisi pH 2 – 13



Lampiran 9

Data Absorban Maksimum (A_{maks}) dan Minimum (A_{min}), Warna Membran PAn-Epoksi pada pH 2 – 13 dan Data Absorban dalam Penentuan Waktu Respon

1) Tabel A_{maks} dan A_{min} serta Warna Membran PAn-Epoksi pada pH 2 – 13





















pH	A_{min} (nm)	A_{maks} 1	A_{maks} 2 (nm)	Warna Membran
13	470	400	630	Biru
12	470	400	610	Biru
11	470	400	620	Biru
10	470	400	630	Biru
9	470	400	620-640	Biru
8	470	400	620	Biru
7	470	400	620	Biru
6	490	400	630	Biru
5	520	400	630-670	Biru Kehijauan
4	550	400	620	Biru Kehijauan +
3	550	400	800	Hijau
2	570	400	800	Hijau +

2) Tabel Absorban Membran PAn-Epoksi dalam Penentuan Waktu Respon

% PAn	A_0	A 45 menit	A 90 menit	A 120 menit
2%	0,631	0,673	0,776	0,777
4%	0,692	0,708	0,782	0,782
6%	0,726	0,854	0,868	0,868
8%	0,858	1,054	1,075	1,075
Rata-rata	0,7268	0,8223	0,8753	0,8755

Lampiran 10

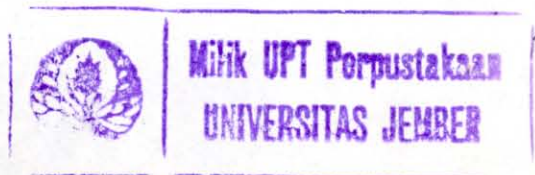
Gambar Membran PAn-Epoksi Awal dan pada Kondisi pH 2 – 5

pH	Komposisi PAn-Epoksi			
	1:50	2:50	3:50	4:50
Awal (pH 6-13)				
pH 5				
pH 4				
pH 3				
pH 2				

Lampiran 11

Data Absorban Membran PAN-Epoksi pada Panjang Gelombang 630 nm

pH	Komposisi PAN-epoksi				pH	Komposisi PAN-epoksi			
	1:50	2:50	3:50	4:50		1:50	2:50	3:50	4:50
12	0.575	0.669	0.978	1.124	11	0.610	0.700	1.021	1.145
	0.619	0.659	0.985	1.124		0.655	0.648	1.031	1.181
	0.567	0.678	1.063	1.117		0.596	0.677	0.955	1.149
	0.593	0.707	0.970	1.120		0.623	0.721	1.011	1.123
	0.571	0.626	0.938	1.112		0.576	0.682	1.049	1.123
	0.563	0.675	0.964	1.171		0.564	0.705	0.935	1.107
Rata-rata	0.581	0.670	0.983	1.128	Rata-rata	0.604	0.689	1.009	1.138
Standar Deviasi	3:506	4:508	0.080	3:507	Standar Deviasi	3:503	2:506	3:504	2:506
RSD	6.175	7.235	8.089	3.253	RSD	5.464	3.715	3.354	2.302
10	0.642	0.710	1.014	1.116	9	0.597	0.698	0.979	1.131
	0.588	0.702	0.984	1.132		0.618	0.697	0.967	1.123
	0.586	0.623	1.036	1.182		0.583	0.683	1.005	1.139
	0.621	0.680	1.054	1.126		0.637	0.641	0.983	1.109
	0.609	0.678	0.962	1.126		0.603	0.667	0.969	1.165
	0.567	0.654	1.014	1.150		0.587	0.709	1.033	1.115
Rata-rata	0.602	0.675	1.011	1.139	Rata-rata	0.604	0.683	0.989	1.130
Standar Deviasi	2:507	3:502	3:504	2:504	Standar Deviasi	2:500	2:505	2:505	2:500
RSD	4.509	4.750	3.318	2.110	RSD	3.364	3.657	2.562	1.779
8	0.585	0.692	1.002	1.144	7	0.591	0.627	0.977	1.101
	0.621	0.634	0.942	1.092		0.630	0.681	0.985	1.119
	0.607	0.685	0.960	1.144		0.653	0.711	1.047	1.131
	0.617	0.659	1.042	1.152		0.595	0.698	0.916	1.083
	0.578	0.704	0.962	1.172		0.591	0.648	0.957	1.133
	0.614	0.698	0.962	1.136		0.583	0.674	0.991	1.091
Rata-rata	0.604	0.679	0.978	1.140	Rata-rata	0.607	0.673	0.979	1.110
Standar Deviasi	1:508	2:507	3:507	2:507	Standar Deviasi	2:508	3:501	4:503	2:501
RSD	2.966	3.962	3.770	2.327	RSD	4.586	4.638	4.397	1.899



Lanjutan Lampiran 11

pH	Komposisi PAN-epoksi				pH	Komposisi PAN-epoksi			
	1:50	2:50	3:50	4:50		1:50	2:50	3:50	4:50
6	0.615	0.689	0.949	0.874	5	0.526	0.587	0.806	0.989
	0.591	0.672	0.929	0.842		0.516	0.605	0.776	0.974
	0.569	0.610	0.959	0.838		0.488	0.590	0.716	0.936
	0.613	0.641	0.967	0.834		0.454	0.545	0.748	0.864
	0.582	0.667	1.007	0.900		0.506	0.606	0.822	0.910
	0.615	0.679	0.945	0.832		0.479	0.560	0.748	0.922
Rata-rata	0.598	0.660	0.959	0.853	Rata-rata	0.495	0.582	0.769	0.933
Standar Deviasi	2:500	2:509	2:507	2:508	Standar Deviasi	2:506	2:505	4:500	4:505
RSD	3.303	4.422	2.783	3.230	RSD	5.353	4.267	5.172	4.852
4	0.453	0.559	0.744	0.858	3	0.529	0.580	0.728	0.940
	0.405	0.518	0.722	0.830		0.516	0.607	0.723	0.882
	0.419	0.520	0.760	0.820		0.563	0.590	0.722	0.962
	0.416	0.480	0.812	0.834		0.537	0.624	0.720	0.930
	0.480	0.486	0.746	0.900		0.473	0.593	0.758	0.784
	0.430	0.458	0.652	0.758		0.486	0.648	0.710	0.950
Rata-rata	0.434	0.504	0.739	0.833	Rata-rata	0.517	0.607	0.728	0.908
Standar Deviasi	2:508	3:506	0.052	4:507	Standar Deviasi	3:503	2:505	1:505	0.067
RSD	6.423	7.156	7.080	5.607	RSD	6.444	4.157	2.104	7.345
2	0.511	0.494	0.600	0.803					
	0.458	0.527	0.714	0.768					
	0.448	0.528	0.622	0.724					
	0.425	0.538	0.648	0.798					
	0.494	0.494	0.620	0.738					
	0.458	0.472	0.649	0.638					
Rata-rata	0.466	0.509	0.642	0.746					
Standar Deviasi	3:501	2:506	4:500	0.062					
RSD	6.751	5.083	6.196	8.320					

Lampiran 12

Data Pengukuran Absorban Membran PAN-Epoksi pada λ 400 nm dalam Kondisi pH 2 – 12 dengan Komposisi Membran (Massa PAN) yang Berbeda

pH	Komposisi PAN-epoksi				pH	Komposisi PAN-epoksi			
	1:50	2:50	3:50	4:50		1:50	2:50	3:50	4:50
12	0,581	0,659	0,738	0,824	11	0,615	0,685	0,782	0,856
	0,624	0,639	0,748	0,834		0,660	0,633	0,792	0,892
	0,573	0,668	0,824	0,842		0,601	0,662	0,716	0,860
	0,597	0,692	0,730	0,822		0,628	0,706	0,772	0,834
	0,576	0,610	0,702	0,812		0,581	0,667	0,810	0,834
	0,569	0,660	0,714	0,872		0,569	0,690	0,746	0,818
Rata-rata	0,587	0,655	0,743	0,834	Rata-rata	0,609	0,674	0,770	0,847
Standar Deviasi	0,021	0,028	0,043	0,021	Standar Deviasi	0,033	0,026	0,034	0,026
RSD	3,531	4,244	5,808	2,534	RSD	5,419	3,798	4,396	3,085
10	0,648	0,700	0,774	0,816	9	0,602	0,683	0,740	0,842
	0,594	0,692	0,744	0,832		0,623	0,682	0,728	0,834
	0,592	0,613	0,796	0,882		0,588	0,668	0,766	0,850
	0,627	0,670	0,814	0,826		0,642	0,626	0,744	0,820
	0,615	0,668	0,722	0,826		0,608	0,652	0,730	0,876
	0,573	0,644	0,774	0,850		0,592	0,694	0,794	0,826
Rata-rata	0,608	0,665	0,771	0,839	Rata-rata	0,609	0,668	0,750	0,841
Standar Deviasi	0,027	0,032	0,034	0,024	Standar Deviasi	0,021	0,024	0,015	0,021
RSD	4,465	4,821	4,351	2,864	RSD	3,395	3,571	2,025	2,478
8	0,591	0,682	0,762	0,844	7	0,596	0,612	0,738	0,812
	0,627	0,624	0,702	0,792		0,635	0,666	0,746	0,830
	0,613	0,675	0,720	0,844		0,658	0,696	0,808	0,842
	0,623	0,649	0,802	0,852		0,600	0,683	0,677	0,794
	0,584	0,694	0,722	0,872		0,596	0,633	0,718	0,844
	0,620	0,688	0,722	0,836		0,588	0,659	0,752	0,802
Rata-rata	0,610	0,669	0,738	0,840	Rata-rata	0,612	0,658	0,740	0,821
Standar Deviasi	0,018	0,027	0,037	0,027	Standar Deviasi	0,028	0,031	0,043	0,021
RSD	2,937	4,021	4,996	3,159	RSD	4,549	4,744	5,817	2,568

Lanjutan Lampiran 12

Data Absorban Membran PAn-Epoksi pada Panjang Gelombang 400 nm

pH	Komposisi PAn-epoksi				pH	Komposisi PAn-epoksi			
	1:50	2:50	3:50	4:50		1:50	2:50	3:50	4:50
6	0,621	0,679	0,714	0,844	5	0,591	0,628	0,738	0,810
	0,597	0,662	0,694	0,812		0,548	0,654	0,704	0,850
	0,575	0,600	0,724	0,808		0,563	0,654	0,750	0,864
	0,619	0,631	0,732	0,804		0,589	0,605	0,780	0,824
	0,588	0,657	0,772	0,870		0,541	0,657	0,728	0,892
	0,621	0,669	0,710	0,802		0,528	0,641	0,708	0,886
Rata-rata	0,604	0,650	0,724	0,823	Rata-rata	0,560	0,640	0,735	0,854
Standar Deviasi	0,020	0,029	0,027	0,028	Standar Deviasi	0,026	0,020	0,028	0,033
RSD	3,270	4,490	3,686	3,347	RSD	4,615	3,165	3,849	3,854
4	0,604	0,700	0,788	0,852	3	0,639	0,756	0,838	1,076
	0,582	0,641	0,736	0,866		0,662	0,694	0,750	0,966
	0,633	0,654	0,778	0,914		0,714	0,758	0,786	1,054
	0,573	0,649	0,824	0,912		0,663	0,702	0,760	1,010
	0,596	0,609	0,772	0,910		0,665	0,752	0,828	0,894
	0,598	0,612	0,776	0,912		0,602	0,744	0,812	1,026
Rata-rata	0,598	0,644	0,779	0,894	Rata-rata	0,648	0,734	0,796	0,996
Standar Deviasi	0,021	0,033	0,028	0,028	Standar Deviasi	0,040	0,032	0,039	0,062
RSD	3,466	5,158	3,637	3,103	RSD	5,147	4,304	4,962	6,267
2	0,750	0,816	0,896	0,936					
	0,712	0,844	0,826	1,044					
	0,698	0,772	0,874	1,105					
	0,680	0,792	0,856	1,016					
	0,766	0,782	0,926	1,085					
	0,706	0,730	0,856	1,034					
Rata-rata	0,719	0,789	0,872	1,037					
Standar Deviasi	0,033	0,039	0,035	0,059					
RSD	4,551	4,933	4,012	5,728					

Lampiran 13

Data Hasil Perhitungan Analisis Varian (ANOVA) *Two-Way*

1) Hasil Perhitungan Rata-rata untuk Penentuan S_A dan S_B

pH	Komposisi PAn-Epoksi				Jumlah
	1:50	2:50	3:50	4:50	
5	5,910E-01	6,280E-01	7,380E-01	8,100E-01	
	5,480E-01	6,540E-01	7,040E-01	8,500E-01	
	5,630E-01	6,540E-01	7,500E-01	8,640E-01	
	5,890E-01	6,050E-01	7,800E-01	8,240E-01	
	5,410E-01	6,570E-01	7,280E-01	8,920E-01	
	5,280E-01	6,410E-01	7,080E-01	8,860E-01	
Rerata	5,600E-01	6,398E-01	7,347E-01	8,543E-01	2,789E+00
4	6,040E-01	7,000E-01	7,80E-01	8,520E-01	
	5,820E-01	6,410E-01	7,360E-01	8,660E-01	
	5,330E-01	6,540E-01	7,80E-01	9,140E-01	
	5,730E-01	6,490E-01	8,240E-01	9,120E-01	
	5,960E-01	6,090E-01	7,720E-01	9,100E-01	
	5,980E-01	6,120E-01	7,760E-01	9,120E-01	
Rerata	5,977E-01	6,442E-01	7,790E-01	8,943E-01	2,915E+00
3	6,390E-01	7,560E-01	8,380E-01	1,026E-01	
	6,620E-01	6,940E-01	7,500E-01	9,660E-01	
	7,140E-01	7,580E-01	7,860E-01	1,054E+00	
	6,630E-01	7,020E-01	7,600E-01	1,010E+00	
	6,050E-01	7,520E-01	8,280E-01	8,940E-01	
	6,020E-01	7,440E-01	8,120E-01	1,026E+00	
Rerata	6,475E-01	7,343E-01	7,957E-01	8,421E-01	3,020E+00
2	7,500E-01	8,160E-01	8,960E-01	9,360E-01	
	7,120E-01	8,440E-01	8,260E-01	1,044E+00	
	6,980E-01	7,720E-01	8,740E-01	1,105E+00	
	6,800E-01	7,920E-01	8,560E-01	1,160E+00	
	7,660E-01	7,820E-01	9,260E-01	1,085E+00	
	7,060E-01	7,300E-01	8,560E-01	1,034E+00	
Rerata	7,187E-01	7,893E-01	8,723E-01	1,061E+00	3,441E+00
			Jumlah		1,216E+01
			Rata-rata ($\hat{\mu}$)		7,603E-01

Lanjutan Lampiran 13

2) Perhitungan untuk Menentukan S_A dan S_B

pH	Komposisi PAn-Epoksi				Rata-rata	$\hat{\alpha}_i^2$
	1:50	2:50	3:50	4:50	$\hat{\alpha}_i$	
5	-2,003E-01	-1,205E-01	-2,562E-02	9,405E-02	-6,308E-02	3,979E-03
4	-1,626E-01	-1,161E-01	1,871E-02	1,340E-01	-3,150E-02	9,920E-04
3	-1,128E-01	-2,595E-02	3,538E-02	8,181E-02	-5,388E-03	2,903E-05
2	-4,162E-02	2,905E-02	1,120E-01	3,004E-01	9,996E-02	9,993E-03
Rata-rata	-1,293E-01	-5,837E-02	3,513E-02	1,526E-01	Jumlah	1,499E-02
$\hat{\beta}_j^2$	1,673E-02	3,407E-03	1,234E-03	2,328E-02	S_A	3,598E-01
	Jumlah		4,465E-02			
	S_B		1,071E+00			

3) Penentuan S_{AB}

pH	Komposisi PAn-Epoksi			
	1:50	2:50	3:50	4:50
5	-1,539E-01	-6,078E-02	3,622E-02	1,338E-01
4	-1,796E-03	-2,625E-02	1,508E-02	1,297E-02
3	2,193E-02	3,780E-02	5,638E-03	-6,537E-02
2	-1,225E-02	-1,255E-02	-2,305E-02	4,785E-02

pH	Komposisi PAn-Epoksi				Jumlah
	1:50	2:50	3:50	4:50	
	Nilai Kuadrat				
5	2,370E-02	3,694E-03	1,312E-03	1,792E-02	4,662E-02
4	3,225E-06	6,893E-04	2,274E-04	1,682E-04	1,088E-03
3	4,809E-04	1,429E-03	3,178E-05	4,273E-03	6,215E-03
2	1,502E-04	1,574E-04	5,311E-04	2,289E-03	3,128E-03
	Jumlah				5,705E-02
	S_{AB}				3,423E-01

4) Penentuan Sr (Residu)

pH	Komposisi Pan-Epoksi				Hasil Kuadrat				Jumlah	
	1:50	2:50	3:50	4:50						
2	3,100E-02	-1,183E-02	3,333E-03	-4,433E-02	9,610E-04	1,400E-04	1,111E-05	1,965E-03	3,078E-07	
	-1,200E-02	1,417E-02	-3,067E-02	-4,333E-03	1,440E-04	2,007E-04	9,404E-04	1,878E-05	1,304E-03	
	3,000E-03	1,417E-02	1,533E-02	9,667E-03	9,000E-06	2,007E-04	2,351E-04	9,344E-05	5,382E-04	
	2,900E-02	-3,483E-02	4,533E-02	-3,033E-02	8,410E-04	1,213E-03	2,055E-03	9,201E-04	5,030E-03	
	-1,900E-02	1,717E-02	-6,667E-03	3,767E-02	3,610E-04	2,947E-04	4,444E-05	1,419E-03	2,119E-03	
	-3,200E-02	1,167E-03	-2,667E-02	3,167E-02	1,024E-03	1,361E-06	7,111E-04	1,003E-03	2,739E-03	
	6,333E-03	5,583E-02	9,000E-03	-4,233E-02	4,011E-05	3,117E-03	8,100E-05	1,792E-03	5,031E-03	
	-1,567E-02	-3,167E-03	-4,300E-02	-2,833E-02	2,454E-04	1,003E-05	1,849E-03	8,028E-04	2,907E-03	
	3,533E-02	9,833E-03	-1,000E-03	1,967E-02	1,248E-03	9,669E-05	1,000E-06	3,868E-04	1,733E-03	
	-2,467E-02	4,833E-03	4,500E-02	1,767E-02	6,084E-04	2,336E-05	2,025E-03	3,121E-04	2,969E-03	
4	-1,667E-03	-3,517E-02	-7,000E-03	1,567E-02	2,778E-06	1,237E-03	4,900E-05	2,454E-04	1,534E-03	
	3,333E-04	-3,217E-02	-3,000E-03	1,767E-02	1,111E-07	1,035E-03	9,000E-06	3,121E-04	1,356E-03	
	-8,500E-03	2,167E-02	4,233E-02	-7,395E-01	7,225E-05	4,694E-04	1,792E-03	5,459E-01	5,492E-01	
	1,450E-02	-4,033E-02	-4,567E-02	1,239E-01	2,103E-04	1,627E-03	2,085E-03	1,535E-02	1,927E-02	
	6,650E-02	2,367E-02	-9,667E-03	2,119E-01	4,422E-03	5,601E-04	9,344E-05	4,490E-02	4,998E-07	
	1,550E-02	-3,233E-02	-3,567E-02	1,679E-01	2,403E-04	1,045E-03	1,272E-03	2,819E-02	3,075E-02	
	-4,250E-02	1,767E-02	3,233E-02	5,190E-02	1,806E-03	3,121E-04	1,045E-03	2,694E-03	5,857E-03	
	-4,550E-02	9,667E-03	1,633E-02	1,839E-01	2,070E-03	9,344E-05	2,668E-04	3,382E-02	3,625E-02	
	3,133E-02	2,667E-02	2,367E-02	-1,247E-01	9,818E-04	7,111E-04	5,601E-04	1,554E-02	1,779E-02	
	-6,667E-03	5,467E-02	-4,633E-02	-1,667E-02	4,444E-05	2,988E-03	2,147E-03	2,778E-04	5,457E-03	
3	-2,067E-02	-1,733E-02	1,667E-03	4,433E-02	4,271E-04	3,004E-04	2,778E-05	1,965E-03	2,696E-03	
	-3,867E-02	2,667E-03	-1,633E-02	9,933E-02	1,495E-03	7,111E-06	2,668E-04	9,867E-03	1,164E-02	
	4,733E-02	-7,333E-03	5,367E-02	2,433E-02	2,240E-03	5,378E-05	2,880E-03	5,921E-04	5,766E-03	
	-1,267E-02	-5,933E-02	-1,633E-02	-2,657E-02	1,604E-04	3,520E-03	2,668E-04	7,111E-04	4,659E-03	
	Jumlah (Sr)									7,696E-01

Lanjutan Lampiran 13

Tabel Data untuk Menentukan Pengaruh *non-Additivity* Tukey

i,j	τ_{ij}	$\alpha_i \times \beta_j$
1,1	-1,559E-01	8,158E-03
1,2	-6,078E-02	3,682E-03
1,3	3,622E-02	-2,216E-03
1,4	1,338E-01	-9,624E-03
2,1	-1,796E-03	4,073E-03
2,2	-2,625E-02	1,838E-03
2,3	1,508E-02	-1,106E-03
2,4	1,297E-02	-4,805E-03
3,1	2,193E-02	6,968E-04
3,2	3,780E-02	3,145E-04
3,3	5,638E-03	-1,893E-04
3,4	-6,537E-02	-8,220E-04
4,1	-1,225E-02	-1,293E-02
4,2	-1,255E-02	-5,835E-03
4,3	-2,305E-02	3,512E-03
4,4	4,785E-02	1,525E-02

Lampiran 14

Data Absorban Hasil Regenerasi Membran PAn-Epoksi pada λ 400 nm

Massa PAn	Absorban Awal (A_0)						Rata-rata	%Regenerasi
	u1	u2	u3	u4	u5	u6		
2	0,587	0,609	0,608	0,609	0,610	0,611	0,606	100
4	0,655	0,674	0,665	0,668	0,669	0,658	0,665	100
6	0,743	0,770	0,750	0,738	0,771	0,740	0,752	100
8	0,834	0,839	0,841	0,840	0,821	0,849	0,837	100
	Absorban Regenerasi pH 5 (A_5)							
2	0,591	0,605	0,613	0,615	0,657	0,577	0,610	99,35
4	0,655	0,649	0,632	0,673	0,672	0,667	0,658	98,97
6	0,770	0,758	0,728	0,722	0,764	0,794	0,756	99,47
8	0,714	0,852	0,864	0,886	0,826	0,878	0,837	99,92
							Rata-rata	99,43

