



**MEMBRAN ELEKTROLIT DARI KOMPOSIT
PVA:LiOH DENGAN NANOPARTIKEL SILIKA**

TERDISPERSI

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains Program

Studi Fisika

Oleh

Ahmad Junaidi
4250405032

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2011

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul “**Membran Elektrolit Dari Komposit Pva:Lioh Dengan Nanopartikel Silika Terdispersi**” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi. Panitia ujian Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang Pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 28 September 2011

Semarang, 28 September 2011

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Agus Yulianto, M. Si.

Mahardika P A, S.Si., M.Si.

NIP. 196607051990031002

NIP.197201121999031003

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

MEMBRAN ELEKTROLIT DARI KOMPOSIT PVA:LiOH DENGAN
NANOPARTIKEL SILIKA TERDISPERSI

disusun oleh

Nama : Ahmad Junaidi

NIM : 4250405032

telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Universitas
Negeri Semarang pada tanggal 28 September 2011.

Panitia:

Ketua

Sekretaris

Dr. Kasmadi Imam S., M.S
NIP.195111151979031001

Dr. Putut Marwoto, M.Si
NIP.196308211988031004

Ketua Penguji

Dr. Sulhadi, M.Si
NIP.197108161998021001

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Dr. Agus Yulianto, M. Si.
198111102003121001

Mahardika P A, S.Si, M.SiNIP.
NIP.197201121999031003

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul,

Membran Elektrolit dari Komposit PVA:LiOH dengan Nanopartikel Silika
Terdispersi

ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, 28 September 2011

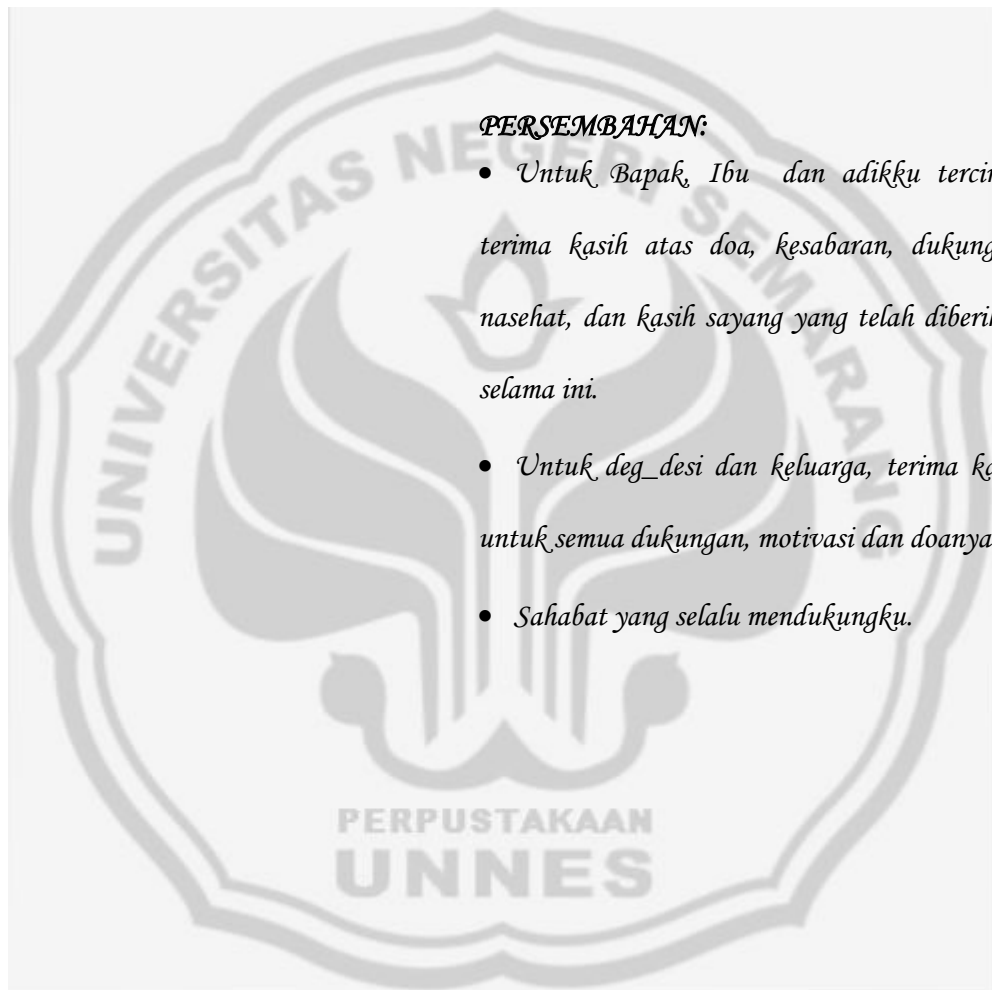
Ahmad Junaidi

NIM 4250405032



MOTTO

- *Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum hingga mereka mau mengubah nasib mereka sendiri (QS. Ar Ra'du:11)*
- *Setiap keikhlasan membutuhkan pengorbanan*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.

Skripsi ini adalah laporan penelitian yang mengambil judul “Membran Elektrolit dari Komposit PVA:LiOH dengan Nanopartikel Terdispersi”. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan berjalan lancar, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Kasmadi Imam S., M.S., Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang yang memberikan ijin dan kesempatan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
2. Dr. Putut Marwoto, M.S., Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang yang banyak membantu proses perijinan pelaksanaan skripsi.
3. Dr. Sugianto, M.Si., dosen wali yang telah memberikan arahan kepada penulis selama menempuh studi.
4. Dr. Agus Yulianto, M. Si., pembimbing 1 yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan selama pembuatan skripsi.
5. Mahardika Prasetya Aji, S.Si., M.Si., pembimbing 2 yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan selama pembuatan skripsi.
6. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Fisika yang telah banyak memberikan ilmu dan arahan kepada penulis.
7. Kedua orang tuaku, adik dan deg_desi tercinta yang tidak pernah lelah berdoa, mendukung dan bersabar untukku.
8. Teman-teman BC (Najib, Roni, Joni, Ulin, Dapit) dan teman kelas Fisika Murni '05 terkhusus Simbah Rus, Pimen, Wik, dan Wulan yang telah berjuang bersama.

Penulis sadar skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik membangun sangat diharapkan penulis sebagai pelajaran di masa depan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Semarang, 28 September 2011

Penulis

ABSTRAK

Junaidi, Ahmad. 2011. *Membran Elektrolit dari Komposit PVA:LiOH dengan Nanopartikel Silika Terdispersi*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Agus Yulianto, M. Si. dan Pembimbing Pendamping Mahardika Prasetya Aji, S.Si., M.Si.

Kata kunci: Membran Elektrolit, Konduktivitas, Silika, *Solution Casting*, X-Ray, dan SEM

Membran elektrolit telah digunakan secara efektif untuk menggantikan jenis elektrolit cair. Keunggulannya sebagai media transport ionik yang baik, sifat mekanik yang kuat serta menawarkan temperatur operasi lebih luas menjadikan membran elektrolit telah digunakan pada beberapa perangkat elektrokimia. Polimer *Poly(Vinyl Alcohol)* (PVA) tergolong jenis polimer yang dapat terbiodegradasi di alam sehingga dalam aplikasinya tidak membahayakan lingkungan. Ionik dengan massa atom rendah (ion Li^+) sebagai sumber muatan dalam polimer elektrolit. Fokus yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah mengkaji Membran Elektrolit dari Komposit Polimer PVA:LiOH dengan Nanopartikel Silika Terdispersi. Sintesis membran elektrolit dilakukan dengan teknik *solution casting*. Pembentukan membran elektrolit PVA:LiOH dengan nanopartikel silika terdispersi didapatkan dengan 2 tahap, yaitu mengoptimasi konsentrasi PVA:LiOH untuk mendapatkan konduktivitas tertinggi dan hasilnya digunakan untuk mengoptimasi konsentrasi SiO_2 . Hasil XRD menunjukkan PVA berstruktur amorf dan LiOH berstruktur kristalin, namun kehadiran ion Li^+ pada membran PVA tidak merubah struktur amorfnya. Untuk membran elektrolit PVA:LiOH didapatkan nilai konduktivitas tertinggi pada komposisi 91:9 dengan nilai konduktivitas sebesar $2,78 \times 10^{-4} \text{ S/cm}^2$. Konduktivitas membran elektrolit PVA:LiOH setelah didispersi nanopartikel silika semakin turun karena ukuran nanopartikel silika terlalu besar sekitar 70 nm . Morfologi serbuk PVA berbentuk butiran-butiran dengan ukuran yang relatif besar sedangkan membran PVA memiliki bentuk penampang yang sangat rata. Untuk membran elektrolit PVA:LiOH (91:9), butiran-butiran LiOH teramati pada permukaan membran begitu pula dengan nanopartikel silika SiO_2 .

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	
LANDASAN TEORI	6
2.1 Elektrolit.....	6
2.2 Polimer Elektrolit.....	8
2.3 Mekanisme Transport Muatan Dalam Membran Elektrolit.....	10
2.4 <i>Poly (Vinyl) Alcohol (PVA)</i>	12
2.5 Konduktivitas Listrik dan Impedansi.....	13
BAB III	
METODE PENELITIAN	18

3.1 Tempat Penelitian.....	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.2.1 Alat.....	18
3.2.2 Bahan	19
3.3 Langkah Kerja	19
3.3.1 Pembuatan Larutan Polimer	19
3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit.....	20
3.3.3 Pembentukan Membran Elektrolit dari Komposit PVA:LiOH	20
3.3.4 Nanopartikel SiO ₂	21
3.3.5 Pembentukan Membran Elektrolit PVA:LiOH:SiO ₂	21
3.4 Pengumpulan data	22
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Struktur Membran Elektrolit PVA:LiOH	27
4.2 Konduktivitas Listrik Membran Elektrolit PVA:LiOH.....	29
4.3 Morfologi Membran Elektrolit PVA:LiOH.....	37
4.4 Dispersi Nanopartikel SiO ₂ pada membran Elektrolit PVA:LiOH.	39
5. PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Perbedaan antara Elektrolit Kuat, Elektrolit Lemah, dan Non Elektrolit	7
4.1 Kondisi Fisik Membran Elektrolit Untuk Beberapa Komposisi PVA:LiOH	25
4.2 Data Ketebalan Membran Elektrolit.....	26
4.4 Konduktivitas Membran Elektrolit PVA:LiOH (91:9):SiO ₂	39



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Perpindahan Ion Akibat Getaran	10
2.2 Struktur Kristal dan Amorf Polimer	11
2.3 Struktur Kimia PVA	12
2.4 Plot Kurva Nyquist	14
2.5 Ekuivalen Sirkuit dari Kurva Nyquist	16
3.1 Skema Fabrikasi Membran Elektrolit dari Komposit PVA:LiOH dengan Nanopartikel Silika Terdispersi.....	16
4.1 Membran Elektrolit PVA:LiOH.....	26
4.2 Difraktogram XRD Serbuk PVA, LiOH, dan $(1-x)$ PVA: x LiOH	28
4.3 Kurva Nyquist Elektrolit $(1-x)$ PVA: x LiOH	31
4.4 Ekuivalen Sirkuit Membran Elektrolit PVA:LiOH.....	32
4.5 Estimasi Kurva Nyquist Membran Elektrolit untuk Komposisi $(1-x)$ PVA. x LiOH (a). $x=0$, (b). $x=1$, (c). $x=3$, (d). $x=5$, (e). $x=7$, (f). $x=8$, (g). $x=9$ dan (h). $x=10$	34
4.6 Estimasi Kurva Nyquist Membran Elektrolit PVA:LiOH:SiO ₂ a. SiO ₂ 1% b)SiO ₂ 2% dan c) SiO ₂ 3%.....	35
4.7 Profil Konduktivitas Membran Elektrolit $(1-x)$ PVA- x LiOH	36
4.8 Morfologi (a). Serbuk PVA, (b). Membran PVA dan (c). Membran Elektrolit PVA:LiOH (91:9).....	38
4.9 Citra SEM Nanopartikel Silica SiO ₂	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Tabel Ketebalan Membran Elektrolit PVA:LiOH	45
Tabel Ketebalan Membran Elektrolit PVA:LiOH (91:9):SiO ₂	47
Tabel Perhitungan Massa PVA, LiOH, dan SiO ₂	49
Perhitungan Konduktivitas.....	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Membran polimer elektrolit (membran elektrolit) telah digunakan secara efektif untuk menggantikan jenis elektrolit cair (Ahmad, 2009). Membran ini mampu mereduksi kebocoran larutan elektrolit yang sering terjadi pada perangkat dengan sistem elektrolit cair. Keunggulannya sebagai media transport ionik yang baik, sifat mekanik yang kuat serta menawarkan temperatur operasi lebih luas menjadikan membran elektrolit telah digunakan pada beberapa perangkat elektrokimia seperti sel bahan bakar (*fuel cell*), sensor, superkapasitor dan baterai (Ramesh dkk, 2010). Kemudahan pada proses fabrikasi, stabilitas struktur dan mekanik yang baik serta di dukung kerapatan energi (transport muatan) yang tinggi menjadikan bahan komposit polimer elektrolit memiliki sifat-sifat fisis dengan karakteristik yang unggul (Li dkk, 2008).

Membran elektrolit terbentuk dari matriks polimer yang memiliki ion-ion logam alkali sebagai sumber muatannya. Ion-ion dengan massa atom rendah seperti ion Lithium (Li^+) akan lebih mudah mengalami proses transport muatan. Transport muatan ini terjadi akibat relaksasi segmental dimana muatan berpindah dari satu segmen ke segmen lainnya dalam matriks polimer. Transport muatan lebih efektif bila matrik polimer berfasa amorf (Suthanthiraraj dkk, 2007). Satu pendekatan sederhana untuk meningkatkan fasa amorf adalah mendispersi

nanopartikel dalam matriks polimer. Keberadaan nanopartikel yang tersebar antar rantai polimer menghambat rekonstruksi rantai polimer ke dalam bentuk kristal (Abdullah, 2009).

Besarnya potensi dan nilai gunanya menjadikan membran elektrolit masih dikembangkan secara intensif. Optimasi sifat-sifat fisis seperti konduktivitas listrik, mekanik hingga aspek ramah lingkunganpun menjadi fokus penting yang masih berkembang hingga kini. Polimer *Poly(Vinyl Alcohol)* (PVA) tergolong jenis polimer yang dapat terbiodegradasi di alam sehingga dalam aplikasinya tidak membahayakan lingkungan (Solaro dkk, 2000). Hirankumar dkk (2006) menggunakan jenis polimer ini sebagai matriks ion-ion Ag^+ dari garam AgNO_3 . Konduktivitas listrik optimumnya dicapai pada orde 10^{-5} S/cm. Orde konduktivitas listrik tersebut dicapai pula oleh Bhargav dkk (2007) yang menggunakan garam NaI dan matrik polimer PVA. Namun, ionik dengan massa atom rendah seperti ion Lithium (Li^+) menjadi pilihan utama sebagai sumber muatan dalam polimer elektrolit. Massa atom Li memiliki nilai yang sangat kecil yaitu 6.94 amu, sehingga lebih mudah (ringan) untuk mobilitas dalam matrik polimer.

Garam Lithium seperti LiFePO_4 (Mohan dkk, 2010), LiCF_3SO_3 (Ramesh dkk, 2009), LiClO_4 (Pawlicka dkk, 2008), LiBF_4 (Akbulut dkk, 2007), dan LiMn_2O_4 (Subramania dkk, 2006) menjadi sumber-sumber elektrolit yang dikembangkan hingga kini sebagai sumber muatan ionik Li^+ dalam matriks polimer. Derajat ionisasi yang tinggi menjadi dasar larutan garam digunakan sebagai sumber elektrolit. Penggunaan larutan basa menjadi tidak lazim digunakan sebagai sumber elektrolit dalam matrik polimer. Namun, derajat

ionisasi yang tinggi dimiliki pula dari jenis larutan basa *Lithium Hidroxide* (LiOH). Larutan ini termasuk basa kuat dan memiliki derajat ionisasi = 1 atau mengalami ionisasi sempurna (Poopy dkk, 2007). Hal ini menjadi satu potensi yang dapat dikembangkan sebagai sumber muatan untuk polimer elektrolit.

Berdasar potensi di atas, fokus yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah mengkaji Membran Elektrolit dari Komposit Polimer PVA-LiOH dengan Nanopartikel Silika Terdispersi. Sintesis membran polimer elektrolit dengan teknik *solution casting*, karakterisasi sifat konduktivitas listrik dan strukturnya menjadi hal penting yang akan ditekankan dalam penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji pada penelitian ini menyangkut dua hal utama yaitu,

1. Metode pembuatan Membran Elektrolit dari Komposit Polimer PVA-LiOH dengan Nanopartikel Silika Terdispersi. Hal ini menyangkut optimasi komposisi PVA-LiOH dan nanopartikel silika.
2. Mengkaji sifat fisis dari membran yang dihasilkan termasuk konduktivitas listrik, struktur, dan morfologi membran.

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Memperoleh membran polimer elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan nanopartikel silika terdispersi.
2. Mengetahui nilai konduktivitas listrik dan struktur dari membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan nanopartikel silika terdispersi.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Bagi bidang fabrikasi, penelitian ini bermanfaat untuk mendapatkan bahan baru pengganti elektrolit cair dengan konduktivitas yang tinggi dengan biaya produksi yang lebih terjangkau dari bahan-bahan sebelumnya.
2. Bagi perkembangan ilmu pengetahuan, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Sistematika Penulisan Skripsi

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi.

Bagian pendahuluan skripsi, terdiri dari halaman judul, sari (abstrak), halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang tersusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I. Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika skripsi.

BAB II. Landasan Teori, berisi teori-teori pendukung penelitian.

BAB III. Metodologi Penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV. Hasil penelitian dan Pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V. Simpulan dan saran yang berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.

Bagian akhir skripsi memuat tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi dan lampiran-lampiran.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Elektrolit

Pada tahun 1884, Svante Arrhenius, ahli kimia terkenal dari Swedia mengemukakan teori elektrolit yang sampai saat ini teori tersebut tetap bertahan. Selain kita mengenal konduktor, semikonduktor dan isolator, kita juga mengenal elektrolit. Elektrolit adalah suatu zat atau bahan yang mempunyai sifat dapat menghantarkan muatan. Zat tersebut terurai dan mudah menjadi ion-ion bermuatan (terionisasi).

Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Elektrolit berdasarkan daya hantar listriknya dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit kuat adalah elektrolit yang mempunyai daya hantar listriknya besar meski konsentrasinya relatif rendah. Pada larutan elektrolit kuat, seluruh molekulnya terurai menjadi ion-ion atau sering disebut ionisasi sempurna. Karena banyak terdapat ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik, maka daya hantar listriknya kuat. Contoh elektrolit kuat antara lain asam, contohnya asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), asam klorida (HCl), Lithium klorida (LiCl), Natrium klorida (NaCl) dan Kalium klorida (KCl). Basa, contohnya natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), barium hidroksida ($\text{Ba}(\text{OH})_2$). Garam, hampir semua senyawa kecuali garam merkuri.

Elektrolit lemah adalah elektrolit yang mempunyai daya hantar kecil meski konsentrasinya besar. Hal ini disebabkan karena pada elektrolit lemah ionisasi terjadi secara tidak sempurna, sehingga pada larutan hanya sedikit terdapat ion-ion yang dapat menghantarkan listrik. Contoh dari elektrolit lemah antara lain : CH_3COOH , HCOOH , HF , $\text{Al}(\text{OH})_3$, dan NH_4OH (Azizah, 2004).

Tabel 2.1. Perbedaan antara larutan elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan non elektrolit.

Jenis larutan	Sifat dan pengamatan lain	Contoh senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit kuat	<ul style="list-style-type: none"> - Terionisasi sempurna - Menghantarkan arus listrik - Lampu menyala terang - Terdapat gelembung gas 	NaCl , HCl , LiOH , NaOH , H_2SO_4 , dan KCl	$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{LiOH} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{OH}^-$ $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$
Elektrolit lemah	<ul style="list-style-type: none"> - Terionisasi sebagian - Menghantarkan arus listrik - Lampu menyala redup - Terdapat gelembung gas 	CH_3COOH HCN $\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ $\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$ $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3 \text{OH}^-$
Non elektrolit	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak terionisasi - Tidak menghantarkan arus listrik - Lampu tidak menyala - Tidak ada gelembung gas 	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

2.2 Polimer Elektrolit

Polimer elektrolit dapat didefinisikan sebagai suatu larutan dari garam-garam logam alkali yang ada pada matriks polimer (Meyer, 1998). Akan tetapi pada perkembangannya, polimer elektrolit juga digunakan untuk menyebutkan suatu matriks padatan polimer yang mengandung garam-garam logam alkali (misal : garam lithium). Polimer elektrolit mempunyai kemampuan menghantarkan arus listrik dengan cara pergerakan ion. Prinsip dasar dari polimer elektrolit adalah meningkatkan daya hantar dari matriks polimer dengan menambahkan garam atau asam kuat.

Semua jenis polimer belum tentu bisa digunakan untuk dikembangkan menjadi membran polimer elektrolit. Ada beberapa syarat dari membran polimer elektrolit (Meyer, 1998; Arora dan Zhang, 2004), antara lain :

1. Mempunyai kekuatan mekanik yang cukup tinggi.
2. Mempunyai kestabilan kimia yang cukup besar. Membran harus tidak menghasilkan pengotor.
3. Memiliki konduktivitas ion yang tinggi ($> 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$), pada range suhu - 20°C sampai dengan 60°C .
4. Kemudahan untuk dibuat dalam ukuran tipis ($\sim 40 \mu\text{m}$). Semakin tipis membran, maka resistensinya semakin kecil.
5. Mempunyai kestabilan termal. Ketika dipanaskan membran tidak boleh menyusut dan mengkerut.

6. Mempunyai stabilitas dimensi atau ukuran. Ketika membran dalam kondisi tidak digulung, membran harus tetap bisa dalam kondisi datar dan ujung-ujungnya tidak melengkung.

Membran polimer elektrolit telah digunakan sebagai membran elektrolit (bahan dielektrik) menggantikan bahan elektrolit konvensional dalam bentuk cairan (Ahmad, 2009). Bahan ini memiliki keunggulan pada kemampuannya mereduksi kebocoran cairan elektrolit yang berbahaya, menawarkan temperatur operasi yang lebih luas, lebih lama, dan memiliki rentang aplikasi yang luas meliputi sumber daya (baterai) portable, sel bahan bakar (fuel cell), sensor, dan perangkat elektronika (Ramesh dkk, 2009).

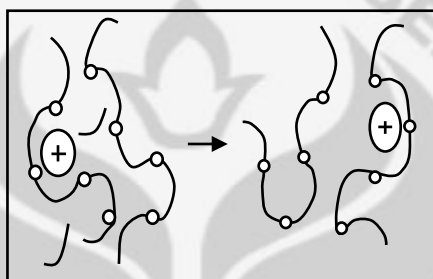
Membran polimer elektrolit dapat dihasilkan dengan teknik yang sangat sederhana melalui metode *Solution Casting*. Metode sintesis ini dilakukan dengan tahapan proses yang mampu menghasilkan membran elektrolit yang seragam secara komposisi kimia dan struktur fisik larutan polimer yang homogen (Abdullah dkk, 2004). Secara umum, tahapan pada proses metode solution casting untuk fabrikasi membran polimer elektrolit adalah :

1. Dispersi bahan nanopartikel ke dalam larutan garam.
2. Penambahan polimer dengan jumlah tertentu ke dalam larutan.
3. Pencampuran dengan cara pengadukan atau dengan peralatan ultrasonik untuk membubarkan partikel homogen pada matriks polimer.
4. Casting campuran pada substrat.
5. Pengeringan sampel.

Pembentukan membran polimer elektrolit terjadi ketika larutan diuapkan di atas temperatur uap pelarut sehingga pelarut seluruhnya menguap dan menyisakan polimer dalam bentuk lapisan tipis (membran).

2.3 Mekanisme Transport Muatan Dalam Membran Elektrolit

Mekanisme transport dalam membran elektrolit adalah perpindahan ion akibat getaran dari rantai polimer. Getaran ini menyebabkan terlepasnya ion dari satu segmen rantai polimer dan pindah ke segmen lainnya (Akbulut dkk, 2007).

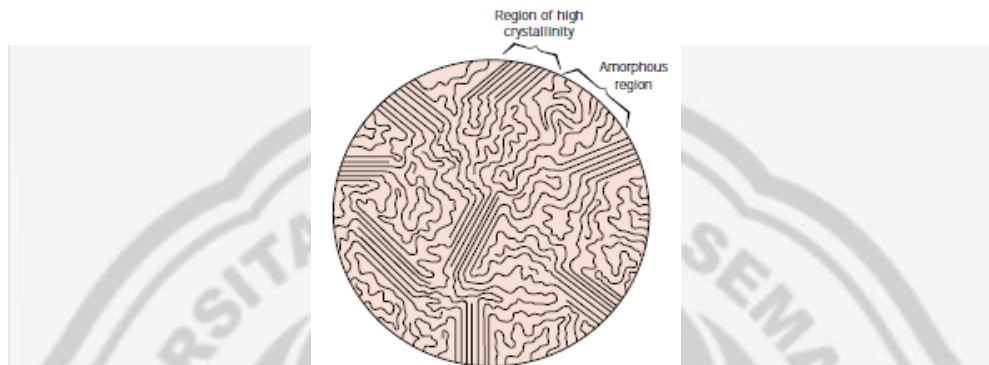


Gambar 2.1 Perpindahan ion akibat getaran

Perpindahan ion dari rantai polimer yang satu ke rantai polimer yang lain dapat di lihat pada Gambar 2.1. Tampak bahwa ion berpindah yang berarti terjadi aliran muatan, hal ini yang menentukan konduktivitas. Konduktivitas ini bergantung pada pergerakan dari ion pada antar rantai polimer. Semakin banyak pergerakan ion yang berpindah dari rantai polimer ke rantai polimer yang lain, maka konduktivitasnya akan semakin meningkat (Chew, 2005).

Gerak perpindahan ion terjadi dengan efektif jika polimer berada pada fase cair dan dapat juga terjadi dengan baik jika polimer berada pada fase amorf. Pada matriks polimer berfase amorf terdapat lebih banyak ruang kosong yang memungkinkan lebih banyak pergerakan ion jika dibandingkan dengan matriks polimer berfase kristal.

Dalam fase padatan kristal, penyusunan teratur rantai-rantai polimer mengurangi peluangnya perpindahan ion sehingga konduktivitas ionik menjadi sangat rendah. Dengan demikian, untuk mendapatkan konduktivitas ionik yang tinggi maka matriks polimer yang dibuat harus mengandung fase amorf.



Gambar 2.2. Struktur kristal dan amorf polimer.

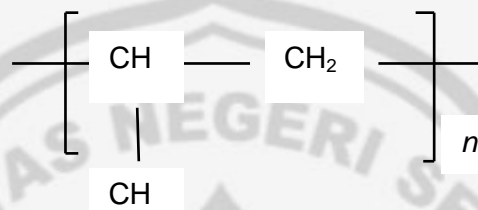
Pendekatan yang dilakukan untuk meningkatkan fase amorf pada suhu kamar adalah mendispersi nanopartikel dalam matriks polimer (Suthanthiraraj dkk, 2007). Nanopartikel didispersi secara homogen ke dalam matriks polimer. Kemudian polimer dipanaskan sampai suhu sekitar titik leleh sehingga berada pada fase amorf. Polimer tersebut kemudian didinginkan lagi pada suhu kamar. Keberadaan nanopartikel yang tersebar antar rantai polimer menghambat rekonstruksi rantai antar polimer ke dalam bentuk kristal. Ketika suhu kembali ke suhu kamar, rantai polimer tetap berada pada susunan acak atau fase amorf. Dengan bertahannya keadaan amorf pada suhu rendah, maka konduktivitas polimer akan tetap tinggi pada suhu rendah (Abdullah, 2009).

2.4 Poly(Vinyl) Alcohol (PVA)

Polyvinyl Alcohol (PVA) adalah suatu polimer sintesis yang dibuat dari polimerisasi vinyl asetat, artinya PVA ini tersusun dari unit berulang vinyl

alcohol. PVA merupakan jenis polimer yang bersifat hidrofilik, artinya polimer ini dapat larut dalam air. PVA memiliki temperatur transisi glass (T_g) 85°C dan temperatur leleh (T_m) $228^{\circ}\text{C} - 230^{\circ}\text{C}$.

PVA mempunyai rumus empiris $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ dan struktur kimia yang dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 2.3. Struktur kimia PVA

Sifat-sifat fisis yang dimiliki polimer PVA antara lain :

1. Bersifat transparan (tidak berwarna) atau berwarna putih jika dalam bentuk bubuk.
2. PVA banyak digunakan sebagai material plastik.
3. Bersifat hidrofilik serta mempunyai temperatur glass (T_g) 85°C .
4. Serat PVA mempunyai sifat mekanik yang tinggi.
5. PVA merupakan polimer yang dapat dibiodegradasi oleh mikroorganisme.

2.5 Konduktivitas Listrik Dan Impedansi

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik pada sebuah ujung-ujung konduktor, muatan-muatannya akan bergerak berpindah menghasilkan arus listrik. Larutan asam, basa dan garam dikenal sebagai elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik ditentukan oleh sifat elektrolit suatu larutan, konsentrasi dan suhu larutan. Secara umum konduktivitas listrik

membran elektrolit dipengaruhi oleh dua hal, yakni konsentrasi dari ion sebagai pembawa muatan dan mobilitas ion-ion tersebut (Ratna, dkk, 2007), sesuai dengan persamaan :

$$\sigma = \sum n_i z_i \mu_i \quad \dots (2.5.1)$$

n_i adalah jumlah pembawa muatan, z_i adalah muatan dari ion-ion, μ_i adalah mobilitas dari ion-ion.

Impedansi adalah jumlah hambatan total yang terjadi selama adanya aliran arus di dalam suatu sirkuit yang terdiri atas resistor, kapasitor, induktor, atau kombinasi dari dua atau ketiga komponen tersebut (Park dan Yoo, 2003).

Impedansi dapat diukur menggunakan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS). Analisis menggunakan EIS menyatakan total hambatan pada rentang frekuensi yang telah ditentukan. Hasil analisis EIS dinyatakan dalam suatu vektor yang mempunyai sumbu nyata (Z') dan sumbu imajiner (Z'') sesuai dengan persamaan :

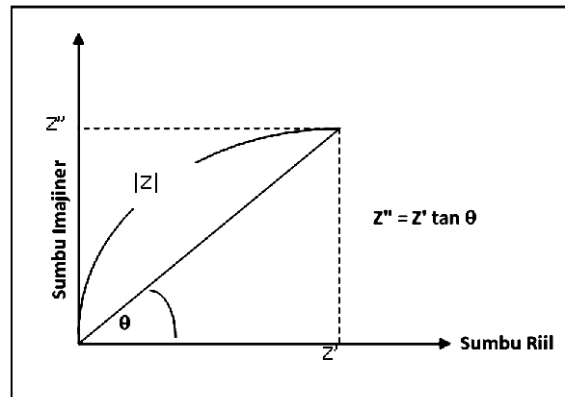
$$Z(\omega) = Z' + iZ'' \quad \dots (2.5.2)$$

Dengan $i = \sqrt{-1}$

dalam koordinat polar

$$Z(\theta) = |Z| \cos \theta + i |Z| \sin \theta \quad \dots (2.5.3)$$

maka $\text{Re}(Z) = Z' = |Z| \cos \theta$ dan $\text{Im}(Z) = Z'' = |Z| \sin \theta$



Gambar 2.4. Plot kurva niquist

$$|Z| = \{(Z')^2 + (Z'')^2\}^{1/2} \quad \dots (2.5.4)$$

maka

$$\tan \theta = \frac{Z''}{Z'} \quad \text{dan} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{Z''}{Z'} \right) \quad \dots (2.5.5)$$

Untuk sirkuit RC



maka

$$Z_{RC} = Z_R + Z_C \quad \dots (2.5.6)$$

dengan

$$Z_R = R \quad \text{dan} \quad Z_C = \frac{1}{i\omega C} = -\frac{1}{\omega C} \quad \dots (2.7.7)$$

maka persamaan (2.7) menjadi

$$Z_{RC} = Z_R - \frac{1}{\omega C} \quad \dots (2.5.8)$$

dengan

$$\text{Re}(Z) = Z_R = R \quad \text{dan} \quad \text{Im}(Z) = -\frac{1}{\omega C} \quad \dots (2.5.9)$$

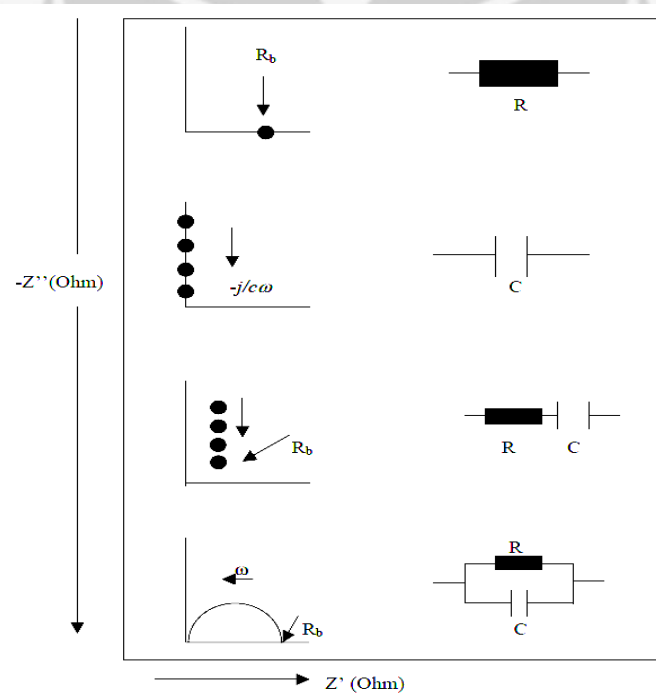
Dari data pengukuran EIS diperoleh Z' dan θ , untuk mencari $\text{Im}(Z) = Z''$ dari

$$\tan \theta = \frac{Z''}{Z'}$$

Maka Z imajiner dapat dituliskan dengan persamaan

$$Z'' = Z' \tan \theta \quad \dots (2.5.10)$$

Hasil dari plot impedansi dapat digambarkan dengan rangkaian yang ekuivalen. Rangkaian-rangkaian yang setara ini disebut ekuivalen sirkuit. Di dalam ekuivalen sirkuit ini terdapat hambatan R dan kapasitor C , dimana R adalah hambatan elektrolit dan biasa dilambangkan dengan R_b dan C adalah kapasitor (Chew, 2005). Susunan ekuivalen sirkuit dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.5. Ekuivalen sirkuit dari plot niquist

Nilai konduktivitas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{1}{R_b} \frac{l}{A} \quad \dots (2.5.11)$$

Dengan:

σ = konduktivitas listrik (S/cm)

R_b = Resistansi membran polimer (Ohm)

l = Ketebalan membran polimer (cm)

A = Luas penampang elektroda (cm²) (Marfuatun, 2010).



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian akan lebih banyak dilakukan di 2 tempat, yaitu :

1. Laboratorium Kemagnetan Bahan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Semarang.
2. Laboratorium Sintesis dan Fungsionalisasi Nanomaterial Fisika ITB.

Pengukuran konduktivitas listrik membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan nanopartikel silika terdispersi dilakukan dengan menggunakan perangkat Impedancemeter di laboratorium kimia organik, kimia-ITB. Sedangkan untuk mengetahui struktur dari matriks polimer diamati dari hasil pengukuran X-Ray Diffraction (XRD) di Laboratorium, teknik sipil-ITB.

3.2 Alat Dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Hot stirrer | 5. Gelas ukur 50 ml |
| 2. Magnetic stirrer | 6. Cawan petri disc |
| 3. Statif | 7. Timbangan digital |
| 4. Gelas kimia 100 ml | 8. Spatula |

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah PVA (Polyvinyl Alcohol) sebagai polimer. Ion-ion Li^+ digunakan sebagai sumber elektrolit pembawa muatan. Ion-ion elektrolit lithium ini akan dioptimasi dari jenis basa kuat lithium hidroksida (LiOH) karena mempunyai sifat yang mudah larut dalam air. Untuk mendapatkan fase amorf polimer maka ditambahkan nanopartikel silika (SiO_2) yang telah umum digunakan dalam polimer elektrolit.

3.3 Langkah Kerja

3.3.1 Pembuatan Larutan Polimer

Larutan polimer merupakan lautan dasar yang diperlukan sebagai matriks untuk komponen ion-ion elektrolit Li^+ dan nanopartikel SiO_2 . Penelitian ini akan menggunakan jenis polimer Polyvinyl Alcohol (PVA) karena sifatnya yang mudah larut dalam air. Larutan polimer didapatkan dengan cara mencampurkan polimer PVA ke dalam aquades, kemudian dilakukan pengadukan dengan menggunakan perangkat hot-stirrer untuk mendapatkan larutan polimer yang homogen. Massa polimer PVA divariasikan mulai dari komposisi 100%, 99%, 97%, 95%, 93%, 92%, 91%, dan 90% dari massa total.

3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan lithium diperlukan sebagai sumber ion elektrolit pembawa muatan. Larutan lithium ini dihasilkan dengan cara melarutkan sejumlah LiOH ke dalam aquades kemudian diaduk dengan menggunakan perangkat magnetic stirrer untuk

mendapatkan larutan yang homogen. Massa LiOH divariasikan dari mulai komposisi 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 8%, 9%, dan 10% dari massa total.

3.3.3 Pembentukan Membran Elektrolit dari Komposit PVA-LiOH

Pembentukan membran dari komposit PVA-LiOH ini dilakukan dengan mencampurkan antara larutan polimer dengan larutan elektrolit. Pencampuran ini menggunakan peralatan hot-stirrer dan diaduk untuk menghasilkan larutan yang homogen. Kemudian larutan ini didiamkan supaya mengalami proses pengeringan pada temperatur kamar.

3.3.4 Nanopartikel SiO₂

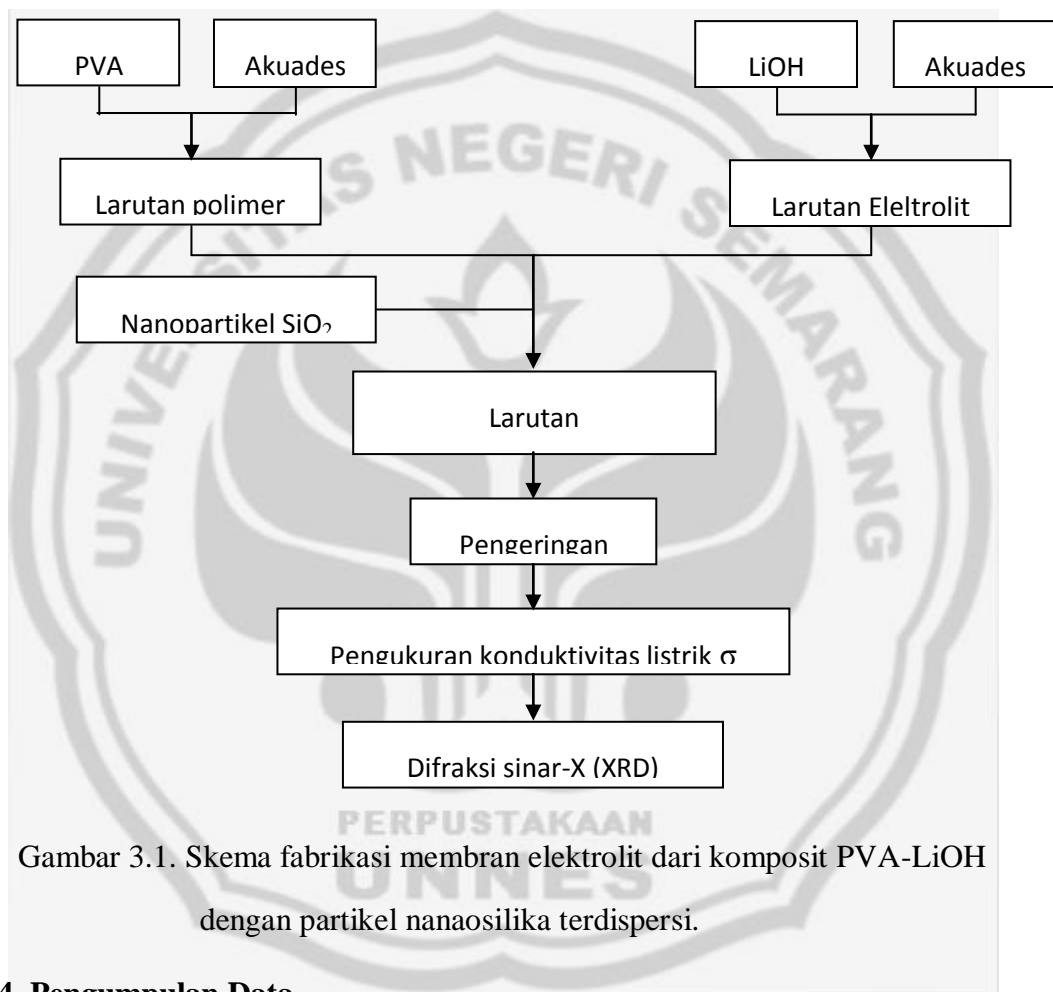
Komposisi optimum membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH digunakan sebagai dasar sintesis membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan partikel nanosilika terdispersi. Penambahan nanopartikel SiO₂ dalam larutan polimer elektrolit, berfungsi untuk membuat fase amorf polimer. Sejumlah nanopartikel SiO₂ dicampurkan ke dalam polimer setelah pengadukan. Variasi massa nanopartikel SiO₂ menjadi parameter yang akan dikaji untuk memperoleh polimer elektrolit dengan konduktivitas terbaik.

3.3.5 Pembentukan Membran Elektrolit PVA-LiOH-SiO₂

Pembentukan membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan partikel nanosilika terdispersi dilakukan dengan memadukan larutan polimer, larutan elektrolit serta penambahan nanopartikel SiO₂. Koloid nanokomposit yang homogen terbentuk melalui proses pengadukan dengan perangkat hot-stirrer.

Proses evaporasi sederhana pada temperatur kamar akan dihasilkan selaput membran elektrolit tipis.

Skema sintesis membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dan PVA-LiOH dengan partikel nanosilika terdispersi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1. Skema fabrikasi membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan partikel nanaosilika terdispersi.

3.4 Pengumpulan Data

Data penelitian yang akan diambil meliputi :

1. Komposisi perbandingan bahan penyusun yang digunakan untuk fabrikasi membran elektrolit dari komposit PVA-LiOH dengan partikiel nanosilika terdispersi seperti massa polimer Polyvinyl Alcohol (PVA), LiOH, dan

nanopartikel SiO_2 . Data ini diperoleh saat menyiapkan bahan-bahan untuk proses fabrikasi.

2. Konduktivitas listrik membran elektrolit diperoleh dari hasil pengukuran Impedancemeter.
3. Struktur membran elektrolit dianalisis dari difraktogram hasil pengukuran difraksi sinar-X (XRD).
4. Morfologi membran elektrolit dianalisis dari hasil pencitraan Scanning Electron Microscope (SEM).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan pertama terhadap membran elektrolit yang telah dihasilkan dengan teknik *Solution-Casting* adalah analisis kondisi fisik membran. Membran elektrolit dikatakan memiliki kondisi fisik baik jika membran bersifat transparan (bening), tipis, dan kuat. Hal ini diasumsikan bahwa bahan-bahan penyusun membran berupa polimer dan logam alkali telah terlarut sempurna hingga proses pembentukan membran (*casting*). Sedangkan, membran elektrolit memiliki kondisi fisik yang buruk bila terdapat bintik-bintik pada membran. Keberadaan bintik ini dikarenakan lepasnya ikatan bahan penyusun membran pada proses pembentukan membran. Secara sederhana, analisis ini dapat memberi gambaran mengenai kondisi fisik membran elektrolit yang telah dihasilkan. Hasil analisis kondisi fisik membran elektrolit dengan komposisi $(1-x)\text{PVA}-x\text{LiOH}$ ($x = 0, 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10$ wt%) ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Kondisi fisik membran elektrolit untuk beberapa komposisi PVA-LiOH

No.	Jenis Komposisi	PVA		LiOH		Keterangan
		massa (gr)	wt%	massa (gr)	wt%	
1.	Komposisi 1	1.00	100	0.00	0	Baik
2.	Komposisi 2	0.99	99	0.01	1	Baik
3.	Komposisi 3	0.97	97	0.03	3	Baik
4.	Komposisi 4	0.95	95	0.05	5	Baik
5.	Komposisi 5	0.93	93	0.07	7	Baik
6.	Komposisi 6	0.92	92	0.08	8	Baik
7.	Komposisi 7	0.91	91	0.09	9	Baik
8.	Komposisi 8	0.90	90	0.10	10	Baik

Ketebalan membran elektrolit menjadi parameter penting yang diamati selanjutnya. Membran elektrolit dengan beragam komposisi memiliki ketebalan yang semakin menurun seiring bertambahnya konsentrasi LiOH. Ini dikarenakan semakin banyak konsentrasi LiOH maka matriks polimer semakin berkurang yang menyebabkan ketebalan semakin tipis. Ketebalan membran elektrolit dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data ketebalan membran elektrolit

No.	PVA (%)	LiOH (%)	d (mm)
1.	100	0	0.190
2.	99	1	0.170
3.	97	3	0.168
4.	95	5	0.164
5.	93	7	0.126
6.	92	8	0.110
7.	91	9	0.072
8.	90	10	0.062

Ketebalan membran yang relatif sama karena seluruh komposisi memiliki massa totalnya yang sama yaitu 1 gram. Bentuk membran elektrolit yang telah dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.1.

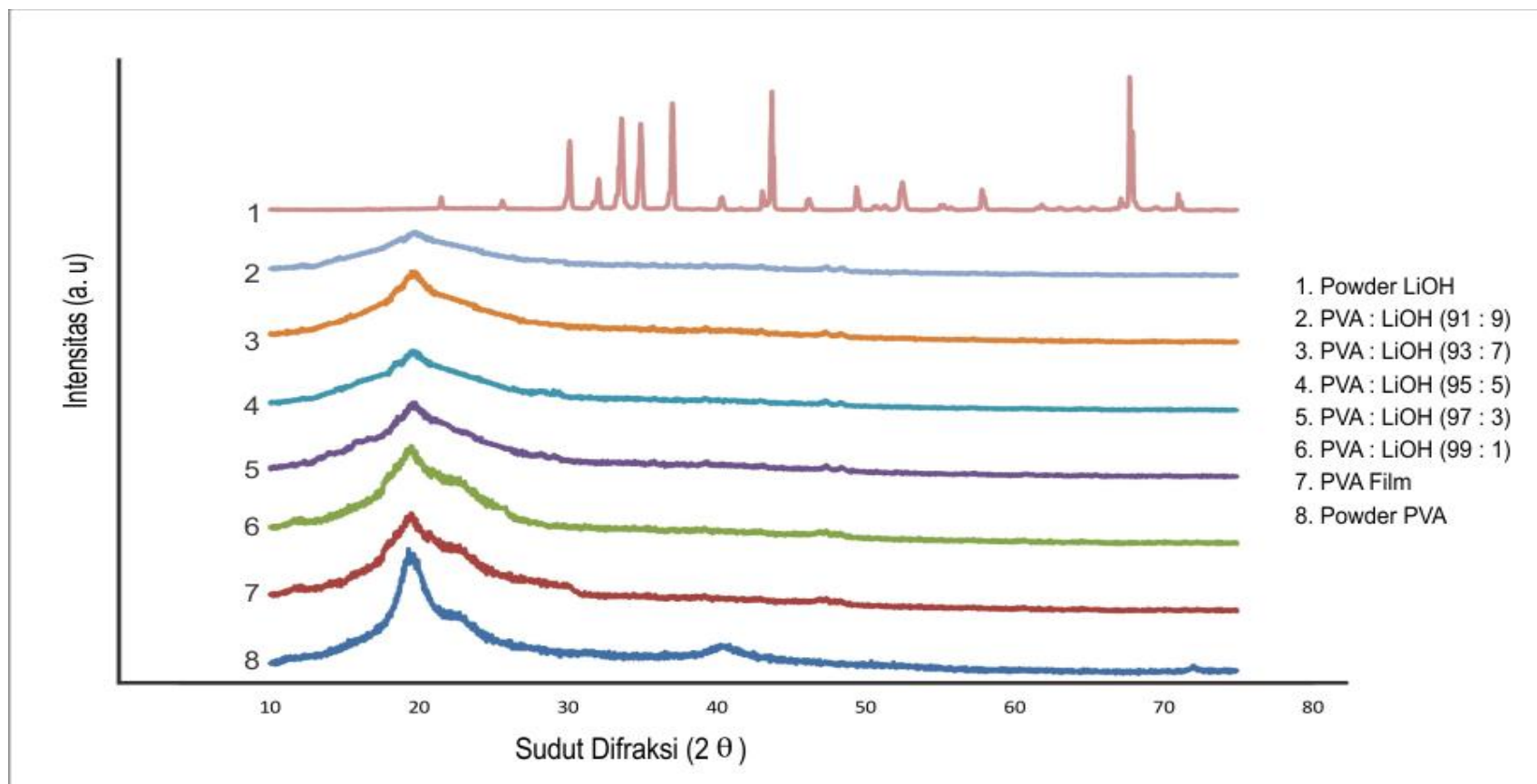


Gambar 4.1. Membran polimer elektrolit PVA-LiOH

4.1 Struktur Membran Elektrolit PVA:LiOH

Struktur membran elektrolit dianalisis dari difraksi XRD. Analisis ini diperlukan untuk mengamati perubahan kristalinitas akibat keberadaan ionik logam alkali Li^+ dalam matrik polimer. Difraktogram sumber ionik Li^+ dari LiOH, serbuk PVA dan polimer elektrolit $(1-x)\text{PVA}-x\text{LiOH}$ untuk berbagai komposisi ditunjukkan pada Gambar 4.2. Intensitas maksimum teramati pada sudut difraksi (2θ) 19.28° . Puncak ini menjadi ciri khas yang dimiliki oleh bahan polimer PVA. Pola difraksi serbuk dan membran PVA cenderung memiliki struktur amorf (Bhargav, 2009).

Kehadiran ion logam alkali Li^+ dalam matrik polimer merubah susunan struktur kristal membran elektrolit. Dari gambar teramati bahwa intensitas maksimum cenderung turun dengan meningkatnya konsentrasi ion Li^+ dalam matrik polimer. Hodge dkk (1996) mengamati adanya korelasi antara intensitas difraksi XRD dengan derajat kristalinitas. Intensitas difraksi XRD yang menurun mengindikasikan meningkatnya fasa amorf dalam membran elektrolit saat konsentrasi ion Li^+ ditingkatkan. Keberadaan fasa amorf dalam membran elektrolit menunjang relaksasi segmental polimer yang efektif. Dalam fase padatan kristal, penyusunan teratur rantai-rantai polimer mengurangi peluangnya relaksasi segmental sehingga transport ionik (konduktivitas) menjadi sangat rendah (Abdullah dkk, 2004). Dengan demikian, keberadaan fasa amorf menjadi satu hal yang penting untuk meningkatkan konduktivitas ionik dalam membran elektrolit.



Gambar 4.2. Difraktogram XRD serbuk PVA, LiOH dan membran elektrolit $(1-x)\text{PVA} \cdot x\text{LiOH}$

Pola difraksi LiOH tidak tampak pada semua komposisi membran elektrolit. Hal ini mengindikasikan bahwa LiOH terlarut sempurna dalam matrik polimer. Pada proses pencampuran LiOH ke dalam aquades, OH⁻ lepas dan bergabung dengan air sehingga di dalam membran hanya polimer dan ion Li⁺. Hasil ini dapat menjadi dasar untuk memahami menurunnya intensitas difraksi saat konsentrasi ion Li⁺ ditingkatkan. Ketika konsentrasi ion Li⁺ ditingkatkan menyebabkan adanya proses rekristalisasi dalam matrik polimer. Dengan konsentrasi ion Li⁺ yang semakin tinggi, keberadaan ion-ion tersebut akan semakin mengisi ruang dalam matrik polimer dan menyebabkan kristalinitas sistem tersebut semakin menurun. Dengan demikian, penurunan intensitas difraksi akibat penambahan konsentrasi ion Li⁺ yang semakin tinggi akan menghasilkan membran elektrolit yang lebih berfasa amorf.

4.2 Konduktivitas Listrik Membran Elektrolit PVA:LiOH

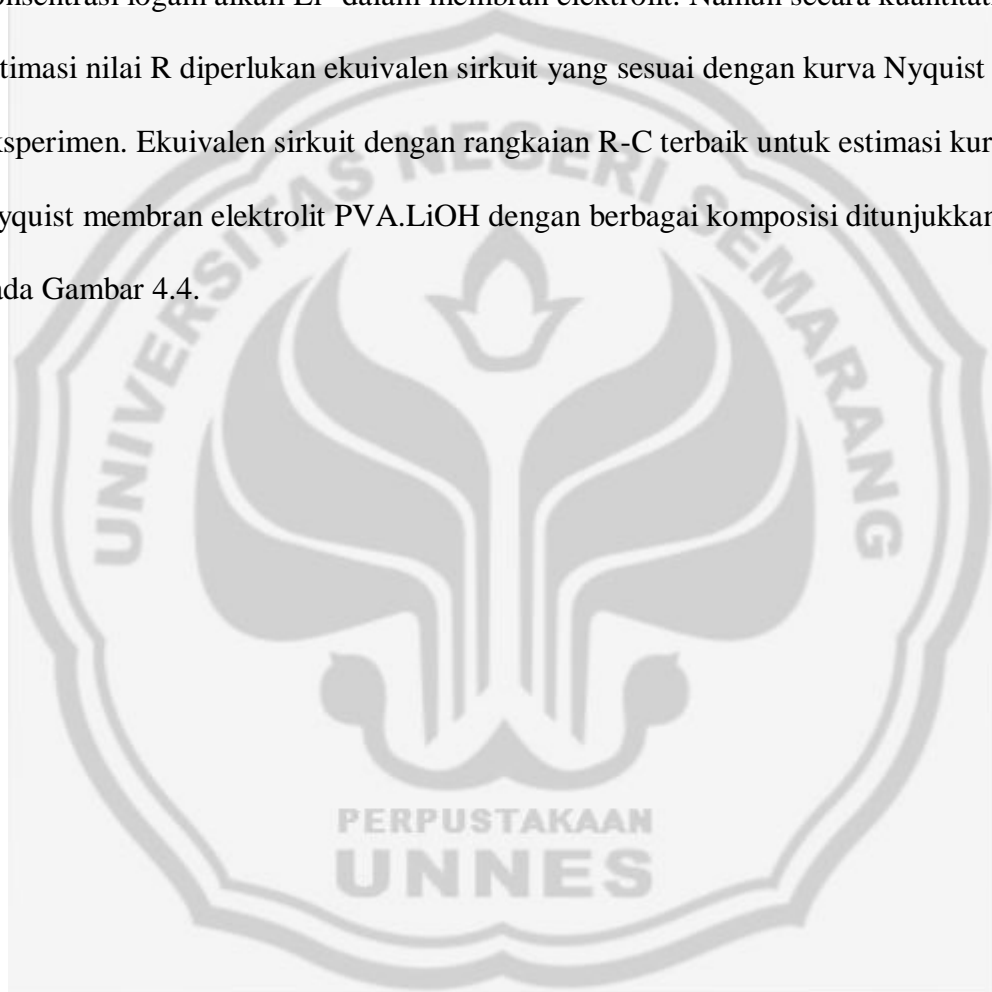
Konduktivitas membran elektrolit diperoleh dengan menganalisis nilai impedansi hasil pengukuran dengan perangkat *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Pengukuran impedansi dilakukan pada rentang frekuensi 20 Hz – 2 MHz. Data hasil pengukuran berupa impedansi real (Z') dan sudut fasa (θ_r). Sedangkan impedansi imajiner (Z'') diperoleh dari persamaan berikut :

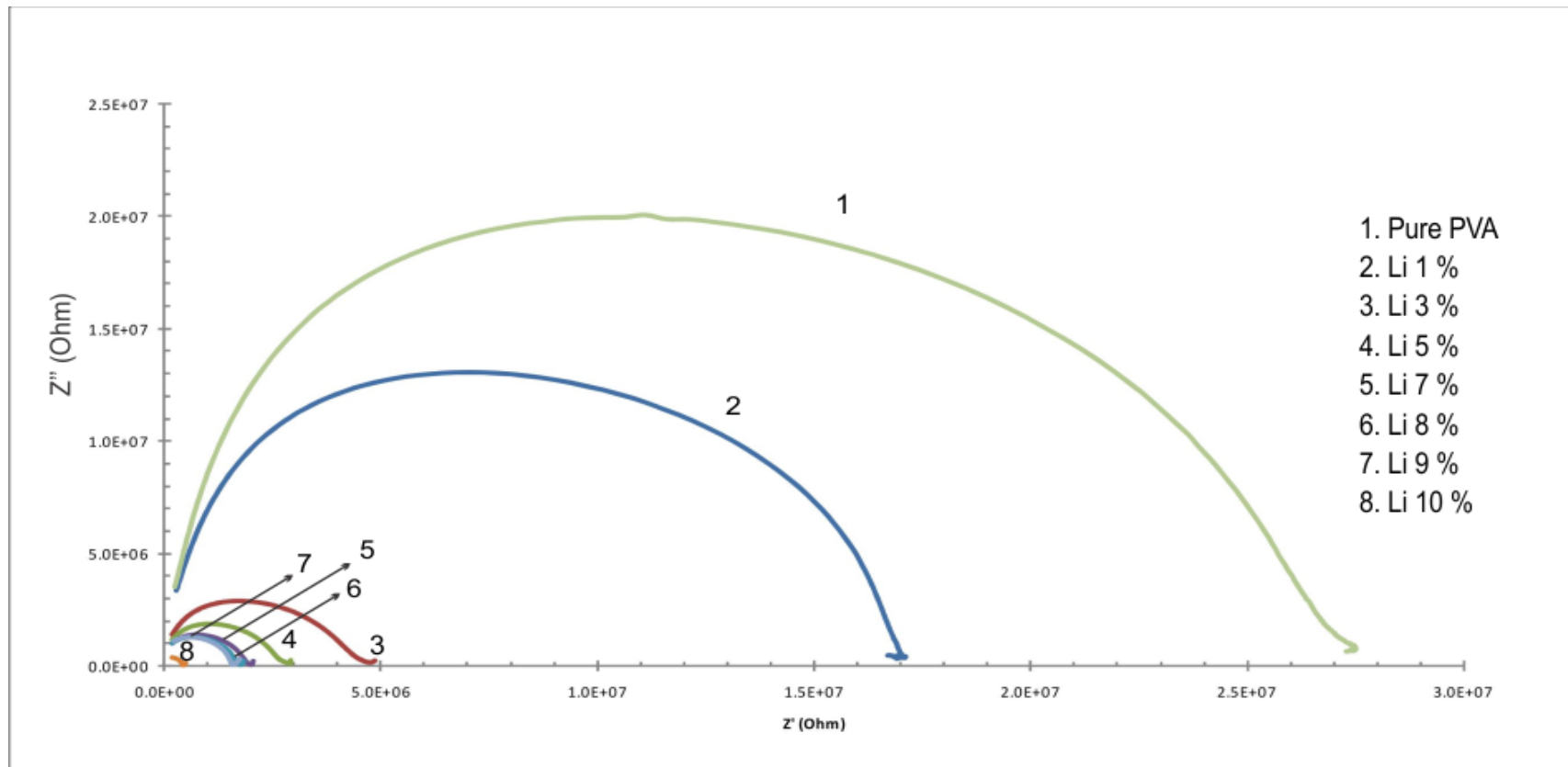
$$Z'' = Z' \tan(\theta_r)$$

Hubungan antara Z' dan Z'' dikenal sebagai kurva Nyquist. Kurva Nyquist diperlukan untuk menentukan nilai hambatan (R). Kurva Nyquist

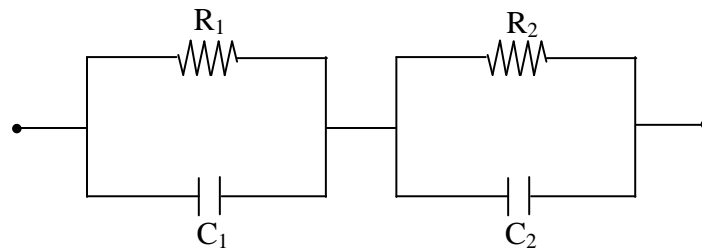
membran elektrolit dengan berbagai komposisi PVA:LiOH ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Impedansi dalam kurva Nyquist merepresentasikan hambatan (R) dalam sistem membran elektrolit. Pada gambar, nilai R menurun dengan meningkatnya konsentrasi logam alkali Li^+ dalam membran elektrolit. Namun secara kuantitatif, estimasi nilai R diperlukan ekuivalen sirkuit yang sesuai dengan kurva Nyquist eksperimen. Ekuivalen sirkuit dengan rangkaian R-C terbaik untuk estimasi kurva Nyquist membran elektrolit PVA:LiOH dengan berbagai komposisi ditunjukkan pada Gambar 4.4.



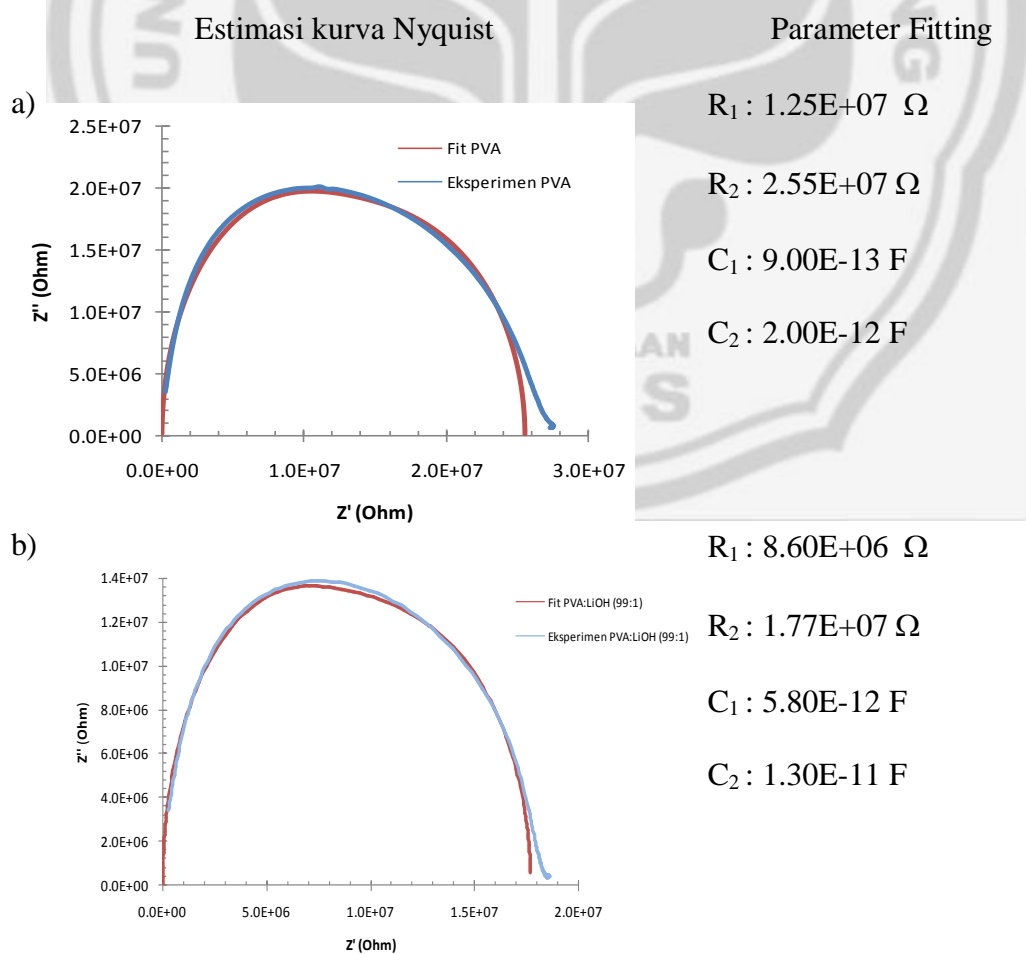


Gambar 4.3. Kurva Nyquist elektrolit (1-x)PVA-xLiOH

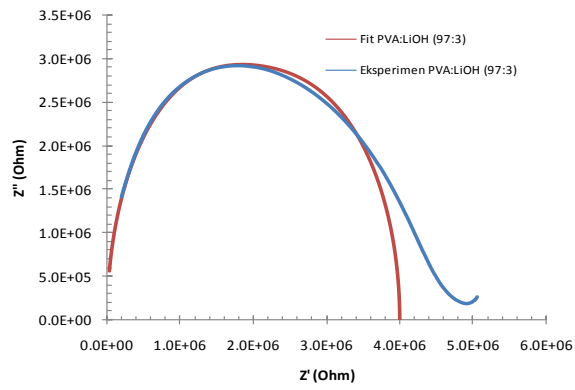


Gambar 4.4. Ekuivalen sirkuit membran elektrolit PVA-LiOH

Hasil estimasi kurva Nyquist membran elektrolit PVA:LiOH untuk beberapa komposisi ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan estimasi kurva Nyquist membran elektrolit PVA:LiOH:SiO₂ ditunjukkan pada Gambar 4.6. Hasil estimasi ini bersesuaian dengan data eksperimen. Dengan demikian, rangkaian R-C pada Gambar 4.4 dapat menjadi gambaran sederhana sistem membran elektrolit.



c)



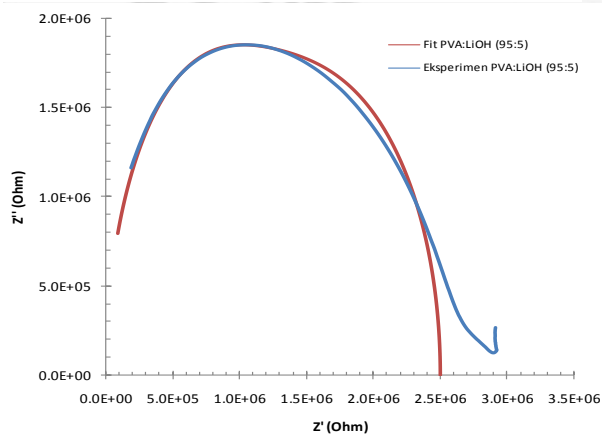
$$R_1 : 1.90E+06 \ \Omega$$

$$R_2 : 4.00E+06 \ \Omega$$

$$C_1 : 3.50E-13 \ \text{F}$$

$$C_2 : 7.00E-13 \ \text{F}$$

d)



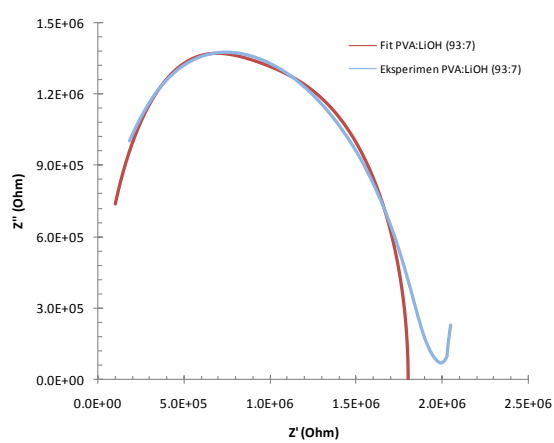
$$R_1 : 1.25E+06 \ \Omega$$

$$R_2 : 2.75E+06 \ \Omega$$

$$C_1 : 2.50E-13 \ \text{F}$$

$$C_2 : 5.50E-13 \ \text{F}$$

e)

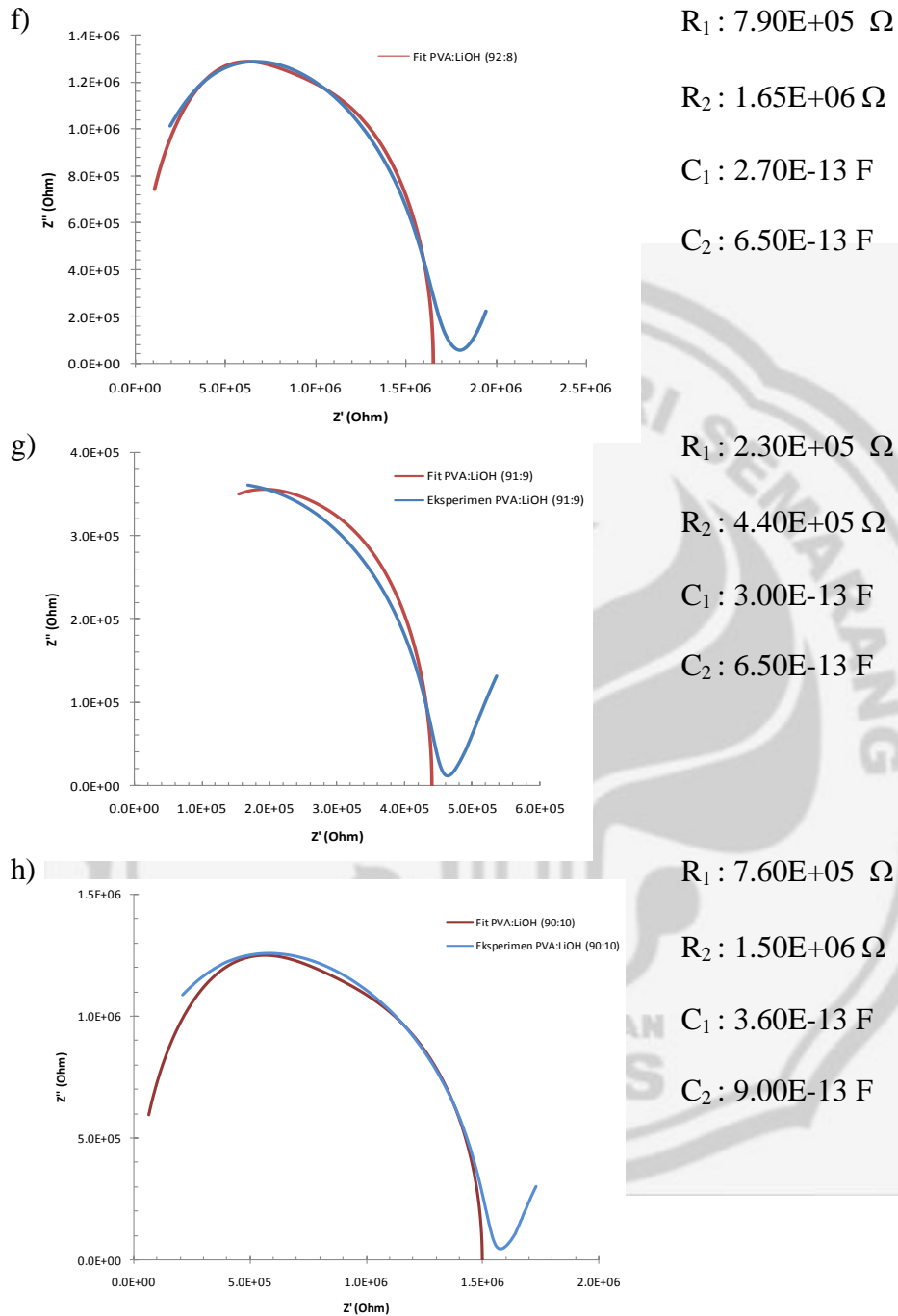


$$R_1 : 8.50E+05 \ \Omega$$

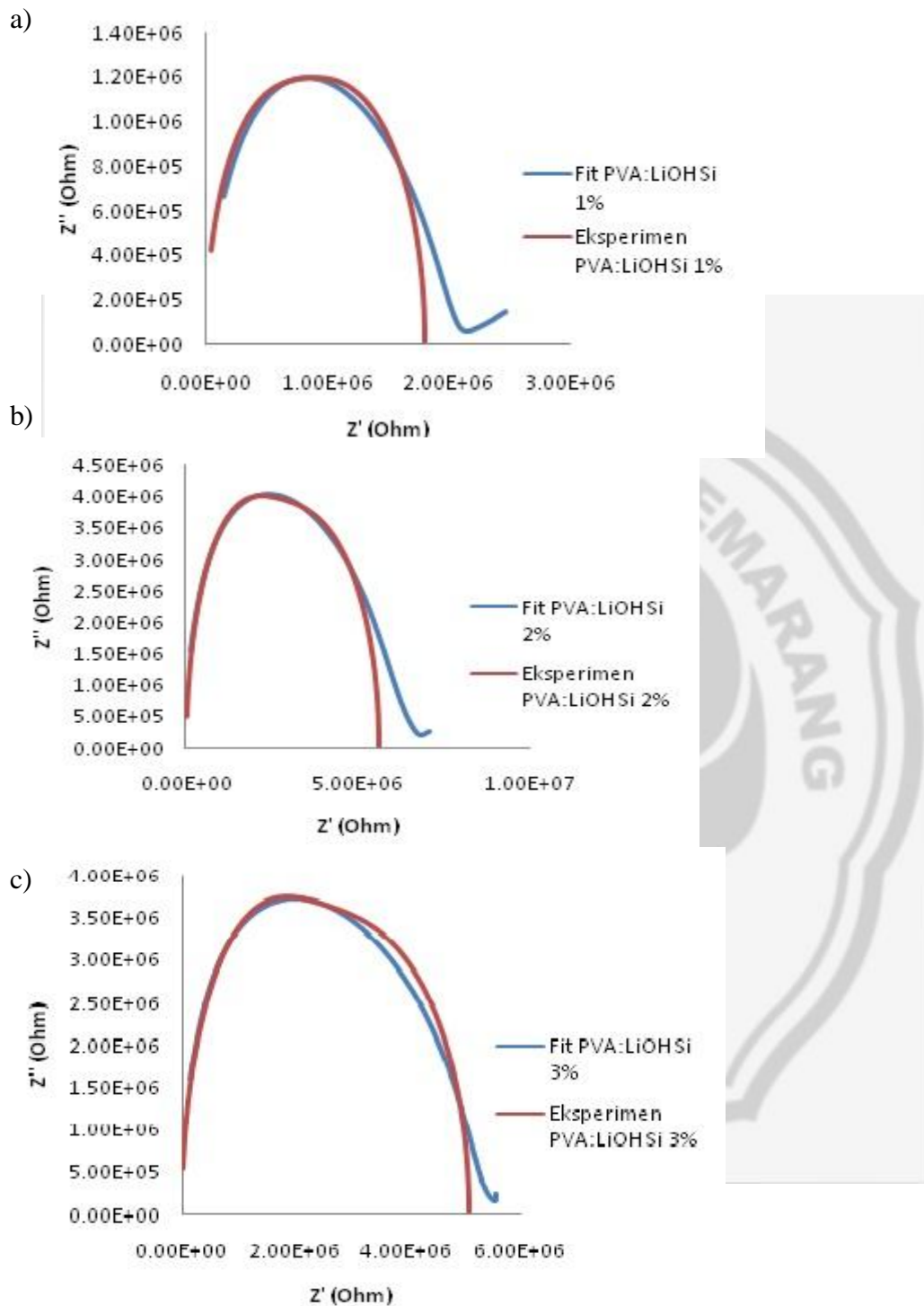
$$R_2 : 1.80E+06 \ \Omega$$

$$C_1 : 2.70E-13 \ \text{F}$$

$$C_2 : 6.30E-13 \ \text{F}$$



Gambar 4.5. Estimasi kurva Nyquist membran elektrolit untuk komposisi (1-x)PVA.xLiOH (a). $x=0$, (b). $x=1$, (c). $x=3$, (d). $x=5$, (e). $x=7$, (f). $x=8$, (g). $x=9$ dan (h). $x=10$.



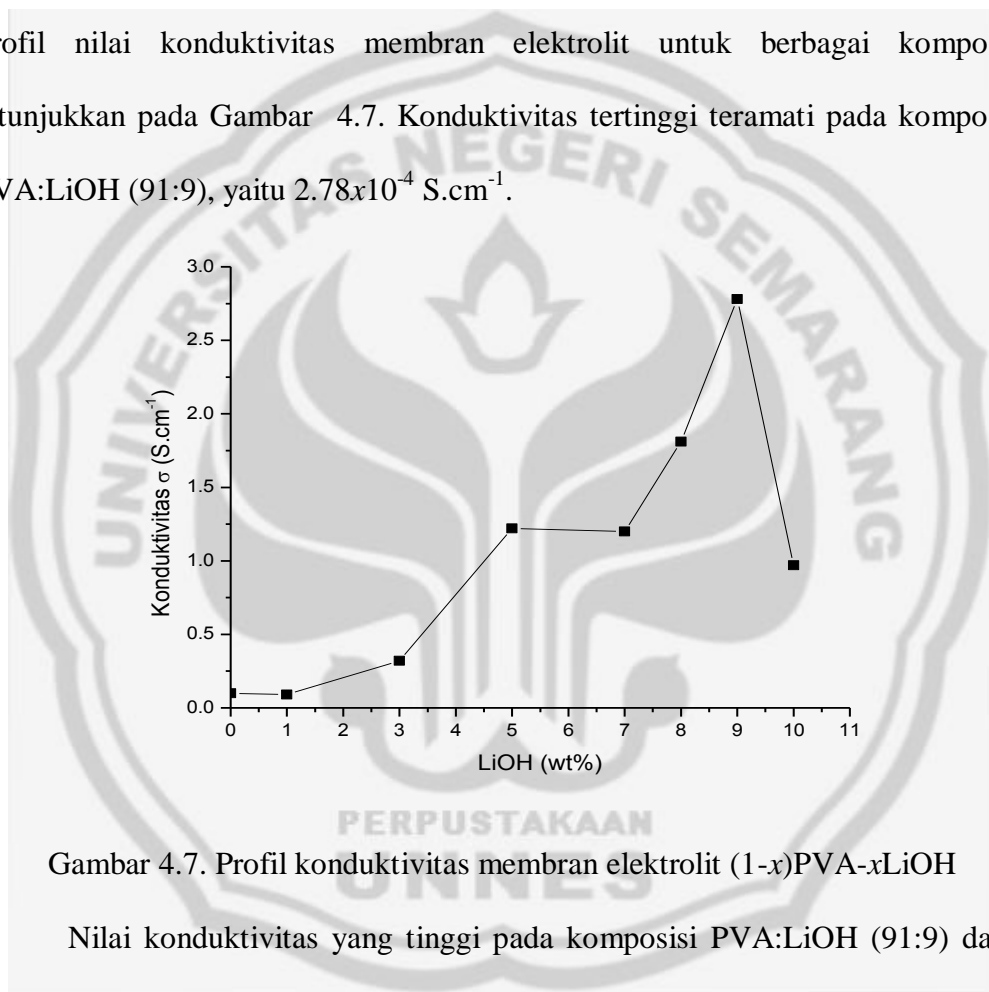
Gambar 4.6. Estimasi kurva nyquist membran elektrolit PVA:LiOH:SiO₂ a. SiO₂ 1% b) SiO₂ 2% dan c) SiO₂ 3%

Dari nilai R yang telah diperoleh, konduktivitas (σ) membran elektrolit dapat ditentukan dari persamaan :

$$\sigma = \frac{l}{R A}$$

dengan R (hambatan), l (panjang membran) dan A (luas penampang membran).

Profil nilai konduktivitas membran elektrolit untuk berbagai komposisi ditunjukkan pada Gambar 4.7. Konduktivitas tertinggi teramati pada komposisi PVA:LiOH (91:9), yaitu $2.78 \times 10^{-4} \text{ S.cm}^{-1}$.



Gambar 4.7. Profil konduktivitas membran elektrolit (1-x)PVA-xLiOH

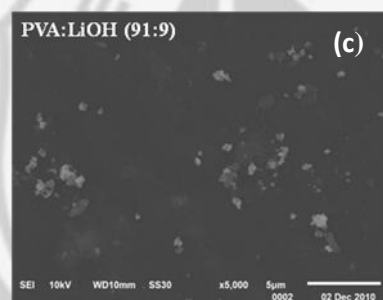
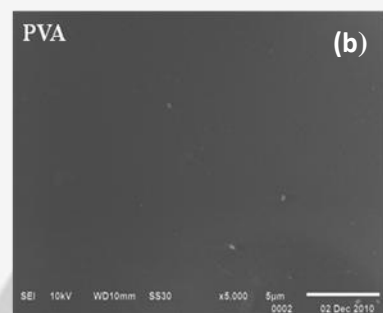
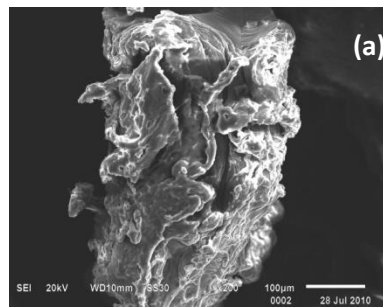
Nilai konduktivitas yang tinggi pada komposisi PVA:LiOH (91:9) dapat dihubungkan dengan hasil interpretasi difraksi XRD. Struktur amorf yang dimiliki membran elektrolit pada komposisi ini menjadi media yang efektif untuk transport ion Li^+ . Pada fasa amorf, fraksi volume bebas (*free volume fraction*) semakin besar dalam polimer. Fraksi volume bebas polimer dipahami sebagai volume yang tidak ditempati oleh molekul-molekul polimer. Semakin besar volume bebasnya,

transport ion logam alkali Li^+ dalam matrik polimer semakin lebih efektif. Dengan demikian, membran elektrolit berfasa amorf memiliki volume bebas polimer besar yang menunjang transport ionik yang lebih baik.

Keberadaan ion logam alkali Li^+ dalam matrik polimer mampu menciptakan fasa amorf. Semakin tinggi konsentrasinya dalam matrik polimer, konduktivitas membran elektrolit semakin besar. Namun, kenaikan konsentrasi ion logam alkali Li^+ tidak selalu memperbaiki konduktivitas membran elektrolit. Pada komposisi $x=10$ wt% LiOH , konduktivitas membran elektrolit justru menurun. Pendekatan sederhana untuk dapat menjelaskan fenomena ini adalah transport ion Li^+ akibat relaksasi segmental polimer tidak selamanya meningkat seiring bertambahnya jumlah ion Li^+ . Pada konsentrasi ion Li^+ rendah, transport ion Li^+ dapat terjadi secara maksimal. Akan tetapi konduktivitasnya masih kecil karena jumlah ion Li^+ kecil dan konduktivitas akan terus meningkat sampai batas tertentu seiring bertambahnya konsentrasi ion Li^+ . Penambahan ion Li^+ yang berlebihan akan memperkecil ruang-ruang kosong dalam matriks polimer, sehingga transport ion Li^+ akan terhambat oleh ion-ion Li^+ yang lain dalam matriks polimer.

4.3 Morfologi Membran Elektrolit PVA:LiOH

Analisis morfologi permukaan serbuk PVA, membran PVA dan membran polimer elektrolit PVA:LiOH (91:9) dilakukan dengan pencitraan *Scanning Electron Microscope* (SEM), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Morfologi (a). serbuk PVA, (b). membran PVA dan (c). membran elektrolit PVA:LiOH (91:9)

Serbuk PVA berbentuk butiran-butiran dengan ukuran yang relatif besar. Sedangkan, membran PVA memiliki bentuk penampang yang sangat rata. Hasil ini mengindikasikan bahwa proses pembuatan membran yang dilakukan dalam penelitian ini sangat baik dimana matrik polimer PVA terlarut sempurna. Untuk membran elektrolit PVA:LiOH (91:9), butiran-butiran LiOH teramati pada permukaan membran.

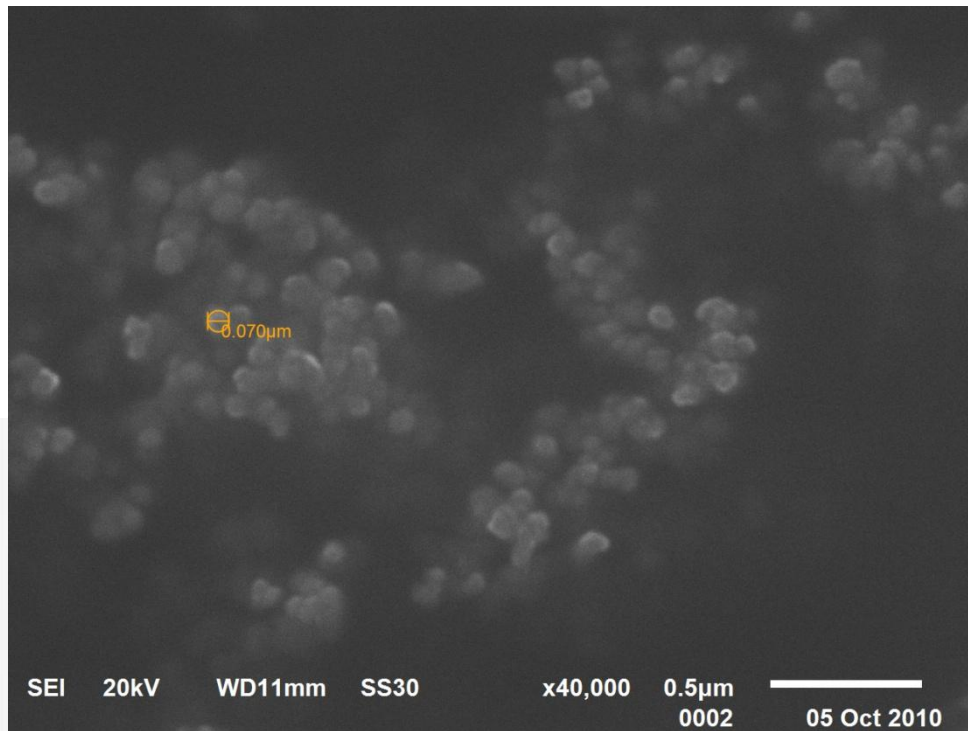
4.4 Dispersi Nanopartikel SiO₂ pada Membran Elektrolit PVA:LiOH

Penambahan nanopartikel SiO₂ dilakukan pada komposisi PVA:LiOH dengan konduktivitas tertinggi yaitu pada PVA:LiOH (91:9). Penambahan nanopartikel yang sekiranya diprediksi akan menambah nilai konduktivitas ternyata sebaliknya yaitu nilai konduktivitasnya semakin menurun. Ini dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Konduktivitas elektrolit PVA:LiOH (91:9) :SiO₂

No	SiO ₂ (%)	σ (S/cm ²)
1	1	1,06 x 10 ⁻⁴
2	2	3,07 x 10 ⁻⁵
3	3	3,60 x 10 ⁻⁵

Penurunan nilai konduktivitas ini diakibatkan karena keberadaan nanopartikel SiO₂ yang semula diprediksikan bisa meningkatkan nilai konduktivitas justru menghambat laju perpindahan ion Li⁺. Ukuran nanopartikel SiO₂ yang digunakan masih terlalu besar yaitu sekitar 70 nm diduga sebagai penyebab peristiwa ini. Ukuran nanopartikel SiO₂ yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.9..



Gambar 4.9. Citra SEM nanopartikel silica SiO_2 .



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan karakterisasi dan hasil-hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode solution casting efektif digunakan dalam pembuatan membrane polimer elektrolit PVA-LiOH.
2. Konduktivitas maksimum dicapai pada komposisi PVA:LiOH (91:9) dengan nilai σ sebesar $2.78 \times 10^{-4} \text{ S.cm}^{-1}$.
3. Kehadiran nanopartikel SiO_2 tidak mampu memperbesar konduktivitas listrik karena ukurannya yang terlalu besar.

5.2 Saran

Saran yang bisa penulis berikan adalah diperlukan nanopartikel silika SiO_2 yang memiliki ukuran lebih kecil agar bisa meningkatkan konduktivitas membran elektrolit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Lenggono, W., Okuyama, K., (2004), Polymer Electrolyte Nanocomposites, *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology* 8 : 731-762.
- Abdullah, M., (2009), *Pengantar Nanosains*, Bandung : Penerbit ITB Bandung.
- Ahmad, S., (2009), Polymer electrolytes: characteristics and peculiarities, *Ionics* 15 : 309-321.
- Anis, A., Banthia, A.K., (2007), Preparation, Electrical, and Dielectric Characterization of Crosslinked Polyvinyl Alcohol-Phosphotungstic Acid Nanocomposites, *Materials and Manufacturing Processes* 22 : 6, 737-740.
- Arora, P., Zhang Z.J.,(2004), Battery Separators, *Chem. Rev.* 104 : 4419-4462.
- Azizah, U., Sukarmin., (2004), *Larutan Asam dan Basa*. Departemen Pendidikan Nasional : Jakarta.
- Bhargav, P.B., Mohan, V.M., Sharma, A.K., (2007), Structural and electrical properties of pure and NaBr doped poly (vinyl alcohol) (PVA) polymer electrolyte films for solid state battery applications, *Ionics* 13 : 441-446.
- Chew C.L., (2005), *Kajian Kekonduksian Ionik Terhadap Adunan Elektrolit Polimer PVC-Getah Asli Terepoksi dan PVDF-Getah Asli Terepoksi*. Universiti Teknologi Malaysia : Malaysia.
- Hirankumar, G., Selvasekarapandian, S., Bhuvanewari, M.S., Baskaran, R., Vijayakumar, M.,(2006), Ag⁺ ion transport studies in a polyvinyl alcohol-based polymer electrolyte system, *J Solid State Electrochem* 10: 193-197.
- Li, N., Wang, L., He, X., Wan, C., Jiang, C., (2008), Synthesis of star macromolecules for solid polymer electrolytes, *Ionics* 14 : 463-467.
- Marfuatun., (2010), *Membran Polimer Elektrolit dari Poli(vinil alkohol) untuk Aplikasi Baterai Ion-Lithium*, Kimia ITB : Bandung.

- Meyer, W.H., (1998), Polymer Electrolytes for Lithium-Ion Batteries, *Advance Materials* 10 : No. 6.
- Mohan, V.M., Qiu, W., Shen, J., Chen, W., (1998), Electrical Properties of Poly(vinyl alcohol) (PVA) Based on LiFePO_4 Complex Polymer Electrolyte Films, *J. Polym. Res.* 17 : 143-150.
- Pawlicka, A., Sabadini, A.C., Raphael, E., Dragunski, D.C., (2008), Ionic Conductivity Thermogravimetry Measurements of Starch-Based Polymeric Electrolytes, *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 485 : 1, 804-816.
- Poppy, K., Setiasih, S., dan Sidharta, A., (2007), *Larutan asam, basa, dan garam*. Departemen Pendidikan Nasional : Bandung.
- Ramesh, S., Arof, A.K., (2009), A study incorporating nano-sized silica into PVC-blend-based polymer electrolytes for lithium batteries, *J. Mater. Sci.* 44 : 6404-6407.
- Ramesh, S., Wen, C.L., (2010), Investigation on the effects of addition of SiO_2 nanoparticles on ionic conductivity, FTIR, and thermal properties of nanocomposite $\text{PMMA-LiCF}_3\text{SO}_3\text{-SiO}_2$, *Ionics* 16 : 255-262.
- Solaro, R., Corti, A., Chiellini, E., (2000), Biodegradation of Poly(vinyl alcohol) with Different Molecular Weights and Degree of Hydrolysis, *Polym. Adv. Technol.* 11 : 878-878.
- Subramania, A., Angayarkanni, N., Gangadharan, R. Vasudevan, T., (2006), Synthesis of Nanocrystalline $\text{LiCd}_x\text{Mn}_{2-x}\text{O}_4$ Cathode Materials by Using a New Combustion Fuel for Li-ion Polymer Battery, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 36 : 2, 203-207.
- Suthanthiraraj S.A., Sheeba D.J., (2007), Structural investigation on PEO-based polymer electrolytes dispersed with Al_2O_3 nanoparticles, *Ionics* 13 : 447-450.

Lampiran 1

Tabel Ketebalan Membran PVA:LiOH

No	PVA (%)	LiOH (%)	d (mm)	d rata-rata (mm)
1	100	0	0,19	0,19
			0,18	
			0,19	
			0,2	
			0,19	
2	99	1	0,16	0,17
			0,16	
			0,19	
			0,16	
			0,18	
3	97	3	0,18	0,168
			0,16	
			0,16	
			0,15	
			0,19	
4	95	5	0,18	0,164
			0,17	

			0,16	
			0,15	
			0,16	
5	93	7	0,12	0,126
			0,11	
			0,14	
			0,12	
			0,14	
6	92	8	0,12	0,11
			0,11	
			0,11	
			0,1	
			0,11	
7	91	9	0,08	0,072
			0,06	
			0,06	
			0,07	
			0,09	
			0,07	
			0,05	
			0,05	
			0,06	

Lampiran 2

Tabel Ketebalan Membran PVA:LiOH (91:9) SiO₂

No	SiO ₂ (%)	d (mm)	d rata-rata (mm)
1	1	0,8	0,139
		0,1	
		0,16	
		0,21	
		0,23	
		0,14	
		0,09	
		0,08	
		0,07	
		0,13	
		0,14	
		0,18	
		2	
0,3			
0,32			
0,12			
0,10			
0,09			
		0,11	
		0,12	

		0,13	
		0,16	
		0,11	
		0,10	
		0,14	
		0,14	
		0,13	
		0,14	
		0,15	
3	3	0,13	0,141
		0,14	
		0,14	
		0,13	
		0,15	
		0,16	
		0,14	

Lampiran 3

Tabel Perhitungan massa PVA:LiOH

Massa total = 1 gram

No	PVA (%)	LiOH (%)	PVA (gram)	LiOH (gram)
1	100	0	1	0
2	99	1	0,99	0,01
3	98	2	0,98	0,02
4	97	3	0,97	0,03
5	95	5	0,95	0,05
6	93	7	0,93	0,07
7	92	8	0,92	0,08
8	91	9	0,91	0,09
9	90	10	0,90	0,10

Tabel Perhitungan massa PVA:LiOH (91:9) :SiO₂

Massa total = 1 gram

No	PVA 91% (gram)	LiOH 9% (gram)	SiO ₂ (%)	SiO ₂ (gram)
1	0,9009	0,0891	1	0,01
2	0,8918	0,0882	2	0,02
3	0,8827	0,0873	3	0,03

Lampiran 4.

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

Perhitungan Konduktivitas PVA-LiOH

$$X = 1,5 \text{ cm}$$

$$Y = 0,4 \text{ cm}$$

1) PVA

$$d = 0,019 \text{ cm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,019)^2}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000361}$$

$$= \sqrt{2,250361}$$

$$= 1,50012 \text{ cm}$$

$$A = Y \times d$$

$$= 0,4 \times 0,019$$

$$= 0,0076 \text{ cm}^2$$

a. Pengukuran 1

$$R = 3,80 \times 10^{+7} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{3,8 \times 10^{+7}} \times \frac{1,5001}{0,0076}$$

$$= 2,63 \times 10^{-8} \times 197,3843$$

$$= 5,19 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 3,80 \times 10^{+7} \text{ Oh}$$

$$= \frac{1}{3,8 \times 10^{+7}} \times \frac{1,5001}{0,0076}$$

$$= 2,63 \times 10^{-8} \times 197,3843$$

$$= 5,19 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

Jadi

$$\sigma_r = \frac{\sigma_a + \sigma_b}{2}$$

$$= \frac{(5,19 + 5,19) \times 10^{-6}}{2}$$

$$= 5,19 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

2) PVA:LiOH (99:1)

$$d = 0,017 \text{ cm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(1,5)^2 + (0,017)^2} \\
 &= \sqrt{2,25 + 0,000289} \\
 &= \sqrt{2,250289} \\
 &= 1,500096 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$A = Yxd$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,4 \times 0,017 \\
 &= 0,0068 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

a. Pengukuran 1

$$R = 2,46 \times 10^{+7} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2,46 \times 10^{+7}} \times \frac{1,50009}{0,0068} \\
 &= 4,06 \times 10^{-8} \times 220,6024 \\
 &= 8,96 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 2,63 \times 10^{+7} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2,63 \times 10^{+7}} \times \frac{1,50009}{0,0068} \\
 &= 3,80 \times 10^{-8} \times 220,6024 \\
 &= 8,38 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

c. Pengukuran 3

$$R = 2,63 \times 10^{+7} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2,63 \times 10^{+7}} \times \frac{1,50009}{0,0068} \\
 &= 3,80 \times 10^{-8} \times 220,6024 \\
 &= 8,38 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

Jadi

$$\begin{aligned}
 \sigma_r &= \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3} \\
 &= \frac{(8,96 + 8,38 + 8,38) \times 10^{-6}}{3} \\
 &= 8,58 \times 10^{-6} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

PVA:LiOH(97:3)

$$d = 0,0168 \text{ cm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0168)^2} \\
 &= \sqrt{2,25 + 0,000282} \\
 &= \sqrt{2,250282} \\
 &= 1,500094 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$A = Yxd$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,4 \times 0,0168 \\
 &= 0,00672 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

a. Pengukuran 1

$$R = 7,30 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{7,30 \times 10^{+7}} \times \frac{1,500094}{0,00672} \\ &= 1,37 \times 10^{-7} \times 223,2283 \\ &= 3,06 \times 10^{-5} \text{ (S / cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 7,85 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{7,85 \times 10^{+7}} \times \frac{1,500094}{0,00672} \\ &= 1,27 \times 10^{-7} \times 223,2283 \\ &= 2,84 \times 10^{-5} \text{ (S / cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

c. Pengukuran 3

$$R = 8,10 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8,10 \times 10^{+7}} \times \frac{1,500094}{0,00672} \\ &= 1,23 \times 10^{-7} \times 223,2283 \\ &= 2,75 \times 10^{-5} \text{ (S / cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3}$$

$$= \frac{(3,06 + 2,84 + 2,75) \times 10^{-5}}{3}$$

$$= 2,89 \times 10^{-5} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

3) PVA:LiOH (95:5)

$$d = 0,0164 \text{ cm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0164)^2}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000268}$$

$$= \sqrt{2,250269}$$

$$= 1,50009 \text{ cm}$$

$$A = Y \times d$$

$$= 0,4 \times 0,0164$$

$$= 0,00656 \text{ cm}^2$$

a. Pengukuran 1

$$R = 1,76 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{1,76 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500094}{0,00672}$$

$$= 5,68 \times 10^{-7} \times 228,6722$$

$$= 1,30 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 1,91 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{1}{R} \times \frac{l}{A} \\ &= \frac{1}{1,91 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500094}{0,00672} \\ &= 5,23 \times 10^{-7} \times 228,6722 \\ &= 1,20 \times 10^{-4} (S/cm^2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= Y \times d \\ &= 0,4 \times 0,0126 \\ &= 0,00504 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

a. Pengukuran 1

$$R = 1,79 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

c. Pengukuran 3

$$R = 1,96 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{1}{R} \times \frac{l}{A} \\ &= \frac{1}{1,96 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500094}{0,00672} \\ &= 5,10 \times 10^{-7} \times 228,6722 \\ &= 1,17 \times 10^{-4} (S/cm^2)\end{aligned}$$

Jadi

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3} \\ &= \frac{(1,30 + 1,20 + 1,17) \times 10^{-6}}{3} \\ &= 1,22 \times 10^{-6} (S/cm^2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{1}{R} \times \frac{l}{A} \\ &= \frac{1}{1,79 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500053}{0,00504} \\ &= 5,58 \times 10^{-7} \times 297,6295 \\ &= 1,66 \times 10^{-4} (S/cm^2)\end{aligned}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 1,88 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{1}{R} \times \frac{l}{A} \\ &= \frac{1}{1,88 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500053}{0,00504} \\ &= 5,31 \times 10^{-7} \times 297,6295 \\ &= 1,58 \times 10^{-4} (S/cm^2)\end{aligned}$$

4) PVA:LiOH (93:7)

$$d = 0,0126 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}l &= \sqrt{X^2 + d^2} \\ &= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0126)^2} \\ &= \sqrt{2,25 + 0,000158} \\ &= \sqrt{2,250159} \\ &= 1,500053 \text{ cm}\end{aligned}$$

c. Pengukuran 3

$$R = 1,86 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{1,86 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500053}{0,00504} \\
 &= 5,37 \times 10^{-7} \times 297,6295 \\
 &= 1,60 \times 10^{-4} (S / cm^2)
 \end{aligned}$$

Jadi

$$\begin{aligned}
 \sigma_r &= \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3} \\
 &= \frac{(1,66 + 1,58 + 1,60) \times 10^{-4}}{3} \\
 &= 1,62 \times 10^{-4} (S / cm^2)
 \end{aligned}$$

5) PVA:LiOH (92:8)

$$d = 0,011 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 l &= \sqrt{X^2 + d^2} \\
 &= \sqrt{(1,5)^2 + (0,011)^2} \\
 &= \sqrt{2,25 + 0,000121} \\
 &= \sqrt{2,250121} \\
 &= 1,50004 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= Y \times d \\
 &= 0,4 \times 0,011 \\
 &= 0,0044 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

a. Pengukuran 1

$$R = 1,17 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 1,24 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{1,24 \times 10^{+6}} \times \frac{1,50004}{0,0044} \\
 &= 8,06 \times 10^{-7} \times 340,9183 \\
 &= 2,75 \times 10^{-4} (S / cm^2)
 \end{aligned}$$

c. Pengukuran 3

$$R = 1,25 \times 10^{+6}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{1,25 \times 10^{+6}} \times \frac{1,50004}{0,0044} \\
 &= 8,00 \times 10^{-7} \times 340,9183 \\
 &= 2,73 \times 10^{-4} (S / cm^2)
 \end{aligned}$$

Jadi

$$\sigma_r = \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(2,91 + 2,75 + 2,73) \times 10^{-4}}{3} \\
 &= 2,80 \times 10^{-4} (S / cm^2)
 \end{aligned}$$

6) PVA:LiOH (91:9)

$$d = 0,0072 \text{ cm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0072)^2}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000052}$$

$$= \sqrt{2,250052}$$

$$= 1,500017 \text{ cm}$$

$$A = Yxd$$

$$= 0,4 \times 0,0072$$

$$= 0,00288 \text{ cm}^2$$

a. Pengukuran 1

$$R = 7,60 \times 10^{+5} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{7,60 \times 10^{+5}} \times \frac{1,500017}{0,00288}$$

$$= 1,31 \times 10^{-6} \times 520,8393$$

$$= 6,85 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

b. Pengukuran 2

$$R = 8,05 \times 10^{+5} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{8,05 \times 10^{+5}} \times \frac{1,500017}{0,00288}$$

$$= 1,24 \times 10^{-6} \times 520,8393$$

$$= 6,47 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

c. Pengukuran 3

$$R = 8,05 \times 10^{+5} \text{ Ohm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{8,15 \times 10^{+5}} \times \frac{1,500017}{0,00288}$$

$$= 1,22 \times 10^{-6} \times 520,8393$$

$$= 6,39 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

Jadi

$$\sigma_r = \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3}$$

$$= \frac{(6,85 + 6,47 + 6,39) \times 10^{-4}}{3}$$

$$= 6,57 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

7) PVA:LiOH (90:10)

$$d = 0,0076 \text{ cm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0076)^2}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000058}$$

$$= \sqrt{2,250058}$$

$$= 1,500019 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 A &= Yxd \\
 &= 0,4 \times 0,0076 \\
 &= 0,00304 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2,27 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500019}{0,00304} \\
 &= 2,26 \times 10^{-7} \times 493,4274 \\
 &= 1,12 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

a. Pengukuran 1

Jadi

$$R = 2,26 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_a + \sigma_b + \sigma_c}{3}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{(1,12 + 1,12 + 1,12) \times 10^{-4}}{3}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2,26 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500019}{0,00304} \\
 &= 2,26 \times 10^{-7} \times 493,4274 \\
 &= 1,12 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

$$= 1,12 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}$$

Perhitungan Konduktivitas.

PVA:LiOH:SiO₂

b. Pengukuran 2

$$X = 1,5 \text{ cm}$$

$$R = 2,28 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$Y = 0,4 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

1) PVA:LiOH (91:9) SiO₂ = 1%

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2,28 \times 10^{+6}} \times \frac{1,500019}{0,00304} \\
 &= 2,27 \times 10^{-7} \times 493,4274 \\
 &= 1,12 \times 10^{-4} \text{ (S / cm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

$$d = 0,0139 \text{ cm}$$

$$R = 2,55 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

c. Pengukuran 3

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0139)^2}$$

$$R = 2,27 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000193}$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \sqrt{2,250193}$$

$$= 1,50064 \text{ cm}$$

$$A = Yxd$$

$$= 0,4 \times 0,0139$$

$$= 0,00556 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{2,25 \times 10^{+6}} \times \frac{1,5000139}{0,00556}$$

$$= 3,92 \times 10^{-7} \times 269,619$$

$$= 1,06 \times 10^{-4} (S / cm^2)$$

$$R = 7,40 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0141)^2}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000199}$$

$$= \sqrt{2,250199}$$

$$= 1,50007 \text{ cm}$$

2) PVA:LiOH (91:9) SiO₂ = 2%

$$d = 0,0150 \text{ cm}$$

$$R = 8,10 \times 10^{+6} \text{ Ohm}$$

$$l = \sqrt{X^2 + d^2}$$

$$= \sqrt{(1,5)^2 + (0,0150)^2}$$

$$= \sqrt{2,25 + 0,000228}$$

$$= \sqrt{2,250228}$$

$$= 1,50008 \text{ cm}$$

$$A = Y \times d$$

$$= 0,4 \times 0,0150$$

$$= 0,00604 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{8,10 \times 10^{+6}} \times \frac{1,50008}{0,00604}$$

$$= 1,27 \times 10^{-7} \times 248,507$$

$$= 3,07 \times 10^{-5} (S / cm^2)$$

$$A = Y \times d$$

$$= 0,4 \times 0,0141$$

$$= 0,00564 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$$

$$= \frac{1}{7,40 \times 10^{+6}} \times \frac{1,50007}{0,00564}$$

$$= 1,27 \times 10^{-7} \times 266,141$$

$$= 3,60 \times 10^{-5} (S / cm^2)$$

3) PVA:LiOH (91:9) SiO₂ = 3%

$$d = 0,0141 \text{ cm}$$