



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS SIFAT KONDUKTIVITAS LISTRIK SELULOSA
MIKROBIAL DARI LIMBAH TAHU (WHEY) DENGAN
DOPING KALIUM (K)**

SKRIPSI

**ELLY NURLAILY
0304020248**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM FISIKA
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS SIFAT KONDUKTIVITAS LISTRIK SELULOSA
MIKROBIAL DARI LIMBAH TAHU (WHEY) DENGAN
DOPING KALIUM (K)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

**ELLY NURLAILY
0304020248**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
KEKHUSUSAN FISIKA MEDIS
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Elly Nurlaily

NPM : 0304020248

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Elly Nurlaily
NPM : 0304020248
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Analisis Sifat Konduktivitas Listrik Selulosa Mikrobial
dari Limbah Tahu (Whey) dengan Doping Kalium (K)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Drs Djonaedi S M.Si (.....)

Penguji I : Dr.Musaddiq Musbach (.....)

Penguji II : Dr. Budhy Kurniawan (.....)

Penguji III : Dr. Ariadne L Juwono (.....)

Ditetapkan di : Kampus UI Depok

Tanggal : 17 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi. Skripsi ini berjudul **“Analisis Sifat Konduktivitas Listrik Selulosa Mikrobal dari Limbah Tahu (Whey) dengan Doping Kalium (K)”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan pada program sarjana strata satu di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan baik moral maupun materiel dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs Djonaedi S M.Si, selaku pembimbing yang telah banyak memberi banyak bimbingan dan arahan dalam penelitian dan penyusunan hingga selesainya skripsi ini.
2. Ibu Nurul Asni, yang telah membimbing dan mengarahkan selama penelitian selulosa di Laboratorium Caraka Nusantara.
3. Mas Zay, yang telah membantu dalam proses pembuatan selulosa limbah tahu di Laboratorium Caraka Nusantara.
4. Pak Parno yang telah membantu dalam pembuatan alat kapasitor plat sejajar.
5. Ibu Yani, dosen Kimia yang telah banyak memberi pengetahuan tentang selulosa selama kuliah Biokimia.
6. Bapak Dr. Santoso Sukirno, selaku Ketua Departemen Fisika Universitas Indonesia.
7. Ibu Prof. Dr. Dra Djarwani S, selaku Ketua Peminatan Fisika Medis, Departemen Fisika Universitas Indonesia.
8. Bapak Dr. Azwar Manaf, selaku Ketua Sidang Tugas Akhir .
9. Bapak Dr.Musaddiq Musbach, selaku Penguji I. Terima kasih atas semua diskusi dan pembelajaran selama perkuliahan.

10. Bapak Dr. Budhy Kurniawan, selaku Penguji II. Terima kasih atas semua diskusi dan pembelajaran selama perkuliahan.
11. Ibu Dr. Ariadne L Juwono, selaku Penguji III. Terima kasih atas semua diskusi dan pembelajaran selama perkuliahan.
12. Seluruh dosen Departemen Fisika Universitas Indonesia.
13. Ibu Ratna, selaku Sekretariat Departemen Fisika Universitas Indonesia serta seluruh karyawan Departemen Fisika Universitas Indonesia.
14. Orang Tua yang selalu sayang dan mendoakan yang terbaik untuk Elly.
15. Kakak-kakakku : K-Ida, K-Iya, K-Ema, K-Evi, K-Eva, K-Lia, K-nazar, dan K-Olil, terima kasih banyak telah memberi dukungan untuk jangan pernah menyerah dalam belajar.
16. cewe-cewe Fisika 2004 (nidya, ira, ais, saad, neni, tere, dewi, ratu), yang memberi warna indah fisika.
17. Teman-teman peminatan fisika material (Agung, Nidya, Juju, Cenmi, Ali, K-Aziz, K-Witha), telah banyak membantu dan menjelaskan pelajaran material.
18. Teman-teman Fisika 2004, yang selalu kompak selama perkuliahan, jalan-jalan, dan kegiatan-kegiatan bersama.
19. Pihak-pihak yang tidak dapat disebut satu-persatu, yang telah memberi dukungan baik moril dan material selama penelitian.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat, baik bagi penulis maupun para pembaca.

Depok, 17 Juni 2009

Elly Nurlaily

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elly Nurlaily

NPM : 0304020248

Program Studi : Fisika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Pengetahuan Alam

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS SIFAT KONDUKTIVITAS LISTRIK SELULOSA
MIKROBIAL DARI LIMBAH TAHU (WHEY) DENGAN DOPING
KALIUM (K)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Kampus UI Depok

Pada tanggal : 17 Juni 2009

Yang menyatakan

(Elly Nurlaily)

ABSTRAK

Nama : Elly Nurlaily
Program Studi : Fisika
Judul : Analisis Sifat Konduktivitas Listrik Selulosa Mikrobial dari Limbah Tahu (Whey) dengan Doping Kalium (K)

Limbah tahu (whey) yang difermentasi dengan bakteri *Acetobacter xylinum* menghasilkan membran selulosa Nata de Soya. Pendopongan membran selulosa Nata de Soya dengan beberapa variasi konsentrasi Kalium terbukti meningkatkan nilai konduktivitas listrik dari membran selulosa Nata de Soya. Hasil Uji XRD menunjukkan terjadinya perubahan jarak antar bidang kisi yang mengidentifikasi adanya penumbuhan kristal baru pada selulosa Nata de Soya yang telah didoping Kalium. Uji konduktivitas listrik dengan menggunakan listrik arus searah diperoleh karakteristik I-V yang menjelaskan selulosa Nata de Soya setelah didoping Kalium merupakan semikonduktor tipe-n. Penambahan konsentrasi Kalium paling baik terjadi pada 1,5% w/w, yang memperlihatkan kestabilan nilai konduktivitas listrik pada range 0.7 sampai 1.8 volt tegangan dc sebesar $4,7 \times 10^{-3} (\text{Ohm.meter})^{-1}$. Penggunaan listrik arus bolak-balik pada selulosa Nata de Soya setelah didoping Kalium menunjukkan hambatan listrik tidak begitu terpengaruh oleh frekuensi.

Kata Kunci : Nata de Soya, Konduktivitas , Semikonduktor.

ABSTRACT

Name : Elly Nurlaily
Program Studi : Fisika
Judul : Analysis of The Electrical Conductivity of a Microbial Cellulose from Whey with Potassium Doping

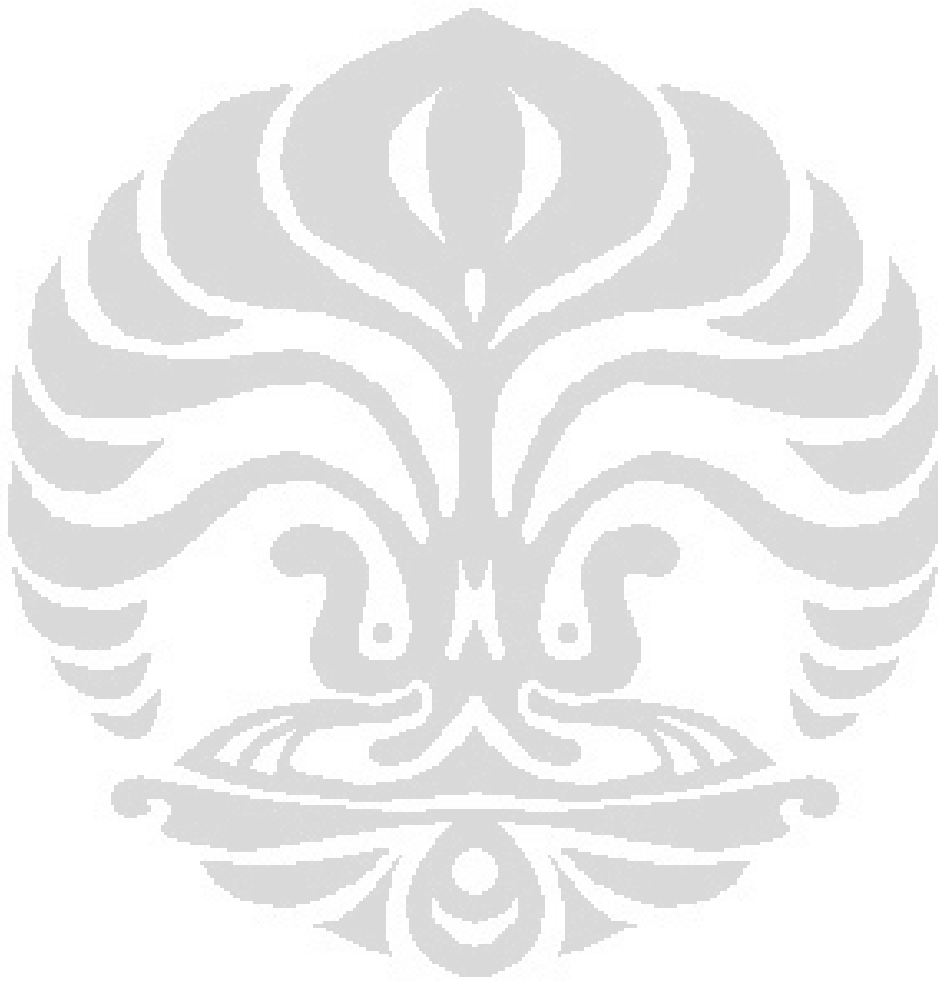
Waste tofu (whey) is fermented with the *Acetobacter Xylinum* bacteria produces a Nata de Soya cellulose membrane. The doping of the cellulose membrane with various concentration of potassium proves that potassium could increase the electrical conductivity of the Nata de Soya cellulose membrane. XRD results showed a change in distance between lattice which means new crystal after potassium doping. Electrical conductivity test using direct current (DC) shows characteristics of I-V that explains a post potassium doped Nata de Soya resulted in a n-type semiconductor. The addition of potassium concentration was best happened to 1.5% w/w, that showed the stability the value of electrical conductivity in range 0.7 -1.8 Volt of $4,7 \times 10^{-3}$ (Ohm.meter)⁻¹. The use of alternating current (AC) on the Nata de Soya cellulose after potassium doping shows that electrical resistance is not dependent of frequency.

Keywords: Nata de Soya, Conductivity, Semiconductor

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Metode Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Air Limbah Tahu (Whey).....	5
2.2. Selulosa Mikrobial.....	5
2.3. Elektrolit Polimer	10
2.4. Konduktivitas Listrik	11
2.5. Kalium (K)	13
2.6. Mekanisme Transfer Ion	13
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Alat dan Bahan	16
3.2. Pembuatan Membran Selulosa Nata de Soya	16
3.3. Pendopingan dengan Kalium (K)	16
3.4. Tahapan Pengujian	
3.4.1 Uji XRD	17
3.4.2 Uji Konduktivitas Listrik	17
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pendopingan Selulosa Nata de Soya dengan Kalium (K)	19
4.2. Hasil Uji XRD	19
4.3. Hasil Uji Konduktivitas Listrik	
4.4.1 Tegangan DC	21
4.4.2 Tegangan AC	25

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	30
5.2. Saran.....	30
DAFTAR REFERENSI	31
LAMPIRAN	34



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Struktur molekul selulosa	1
Gambar 1.2. Diagram Penelitian	3
Gambar 2.1. Struktur unit selulosa	6
Gambar 2.2. Morfologi selulosa nata de soya dengan perbesaran dengan SEM 3500X	7
Gambar 2.3. Pola XRD, selulosa (a) dan nata de soya (b)	7
Gambar 2.4. Daerah amorphous dan mikrokristal pada selulosa	8
Gambar 2.5. Ikatan Hidrogen di struktur selulosa	9
Gambar 2.6. Struktur Selulosa 3 dimensi. Selulosa I α (a) dan selulosa I β (b)	9
Gambar 2.7. Plot Impedansi kompleks	12
Gambar 2.8. Karakteristik I-V MEH-PPV dengan doping PF $_6^-$	12
Gambar 2.9. Mekanisme perpindahan ion dalam kisi kristal	14
Gambar 2.10. Perpindahan kation ke dalam koordinat ikatan polimer secara loncatan bagi elektrolit polimer yang dibantu oleh pergerakan ikatan polimer.....	15
Gambar 3.1. (a) pelat sejajar tembaga. (b) Alat ukur RLC.	17
Gambar 4.1. Grafik Hasil XRD	20
Gambar 4.2. Grafik karakteristik I-V pada Selulosa Nata de Soya. (a) Selulosa Nata de Soya sebelum didoping Kalium. (b) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1%. (c) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1,5 %. (d) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2 %. (e) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2,5 %.	22
Gambar 4.3. Grafik karakteristik I-V selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping Kalium	23
Gambar 4.4. Grafik nilai konduktivitas listrik selulosa Nata de Soya	24
Gambar 4.5. Grafik impedansi Selulosa Nata de Soya. (a) Selulosa Nata de Soya sebelum didoping Kalium. (b) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1%. (c) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1,5 %. (d) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2 %. (e) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2,5 %.	27
Gambar 4.6 Grafik pengaruh frekuensi terhadap Hambatan selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping Kalium	28

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan gizi nata de soya dan air limbah tahu dalam 100 gram	5
Tabel 2.2. Sifat fisik Kalium	13
Tabel 4.2. Pengaruh Konsentrasi Doping Kalium Terhadap Jarak Antar Bidang Kisi (d-layer) pada Selulosa Nata de Soya	20



BAB I

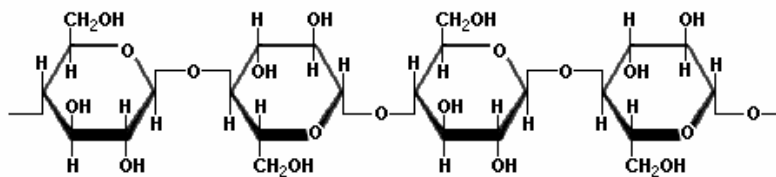
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian tentang selulosa mikrobial sedang banyak diminati oleh para peneliti, karena mempunyai prospek yang cerah, antara lain di bidang elektronika. Menurut hasil penelitian di Jepang bahwa selulosa mikrobial telah dikembangkan untuk keperluan peralatan-peralatan yang berteknologi tinggi, misalnya untuk membran sound system ("Selulosa¹", n.d.).

Selulosa mikrobial adalah selulosa yang diproduksi oleh mikroorganisme terutama genus *Acetobacter*, mempunyai sifat kemurnian yang lebih unggul dibandingkan selulosa kayu, antara lain bersifat sangat hidrofilik, sifat fisik mekanik yang tinggi dalam keadaan basah dan kering, berbentuk anyaman halus yang unik dan kuat serta diproduksi dari berbagai macam substrat yang relatif murah. Berdasarkan keunggulan sifat ini maka selulosa mikrobial dapat digunakan sebagai diafragma speaker bermutu tinggi, bahan baku pembuatan kertas yang lebih kuat dan bahan *microcrystallin cellulose* (Suryani et al., 2000). Selulosa mikrobial terbentuk dari suatu media yang mengandung gula yang difermentasi oleh bakteri *Acetobacter xylinum*.

Whey merupakan air buangan sisa proses penggumpalan pada waktu pembuatan tahu (Djoenadi, Budhy, & Nurul, 2008). Whey ini mengandung nitrogen yang cukup tinggi sekitar 1,5 % protein terlarut. Selain mengandung protein juga mengandung vitamin B terlarut dalam air, lestin dan oligosakarida. Whey ini juga mempunyai prospek untuk dimanfaatkan sebagai media fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum*. *Acetobacter xylinum* dapat mengubah gula substrat menjadi gel/membran selulosa yang disebut nata ("Selulosa¹", n.d.).



Gambar 1.1 Struktur molekul selulosa (Zamora, 2005)1

Suatu penelitian telah dilakukan dengan menggunakan whey sebagai bahan dasar semikonduktor organik. Dengan hasil yang diperoleh mempunyai karakteristik fisis dengan kuat tarik berkisar antara 281,6 sampai 487,6 kgf/cm² dan resistivitas listrik berkisar antara 6,28 sampai 20,47 ohm-m. Doping Iodium pada selulosa Nata de Soya menghasilkan semikonduktor type-p (Djoenadi, Budhy, & Nurul, 2008).

Supaya membran selulosa dapat menghantarkan arus listrik dengan baik maka diperlukan sifat konduktivitas listrik yang tinggi. Sifat konduktivitas listrik pada membran selulosa dapat diubah-ubah dengan menambahkan materi lain (biasa disebut materi doping). Penambahan materi doping tersebut dapat meningkatkan pembawa mayoritas elektron atau lubang (hole) pada suatu material tergantung pada materi doping yang ditambah.

Pada penelitian ini, penulis lebih memfokuskan untuk memperoleh elektrolit polimer selulosa Nata de Soya tipe-n. Yaitu dengan melakukan pendopingan pada selulosa Nata de Soya dengan materi doping dari golongan alkali yaitu Kalium (K). Dengan demikian, diharapkan dapat menghasilkan elektrolit polimer selulosa tipe-n.

1.2 Identifikasi Masalah

Penambahan materi doping pada selulosa Nata de Soya akan meningkatkan nilai konduktivitas listrik. Permasalahan yang timbul antara lain:

20. Materi doping apa yang akan digunakan untuk mendoping selulosa Nata de Soya?
21. Berapa konduktivitas listrik selulosa Nata de Soya akibat dari penambahan materi doping tersebut?
22. Pembawa mayoritas apa yang berlaku pada selulosa Nata de Soya setelah didoping oleh materi doping?

1.3 Pembatasan Masalah

Penulis membatasi tugas akhir ini hanya untuk mendapatkan sifat konduktivitas listrik selulosa Nata de Soya dari hasil pendopingan dengan Kalium (K).

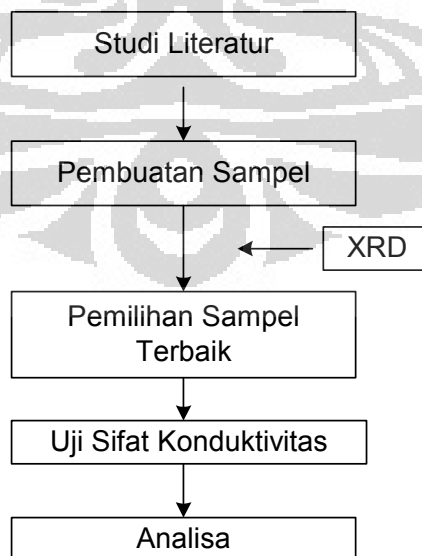
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini secara umum yaitu memanfaatkan whey sebagai bahan dasar elektrolit polimer. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat konduktivitas listrik selulosa selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium (K).

1.5 Metode Penelitian

Tahapan awal penelitian yang dilakukan penulis dimulai dengan memahami dan mempelajari parameter-parameter fisis dari selulosa mikrobial dan elektrolit polimer dengan cara studi literatur. Kemudian membuat membran selulosa mikrobial dari whey dan didoping Kalium (K) dengan variasi konsentrasi, melakukan pengujian XRD dan konduktivitas listrik sampel. Tahap selanjutnya adalah mengolah dan menganalisis data yang diperoleh.

Secara garis besar metodologi penelitian digambarkan dalam diagram penelitian pada Gambar 2.



Gambar 1.2 Diagram Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab, yang masing-masing bab tersebut mempunyai karakteristik pembahasan tertentu secara sistematis sebagai berikut, yaitu:

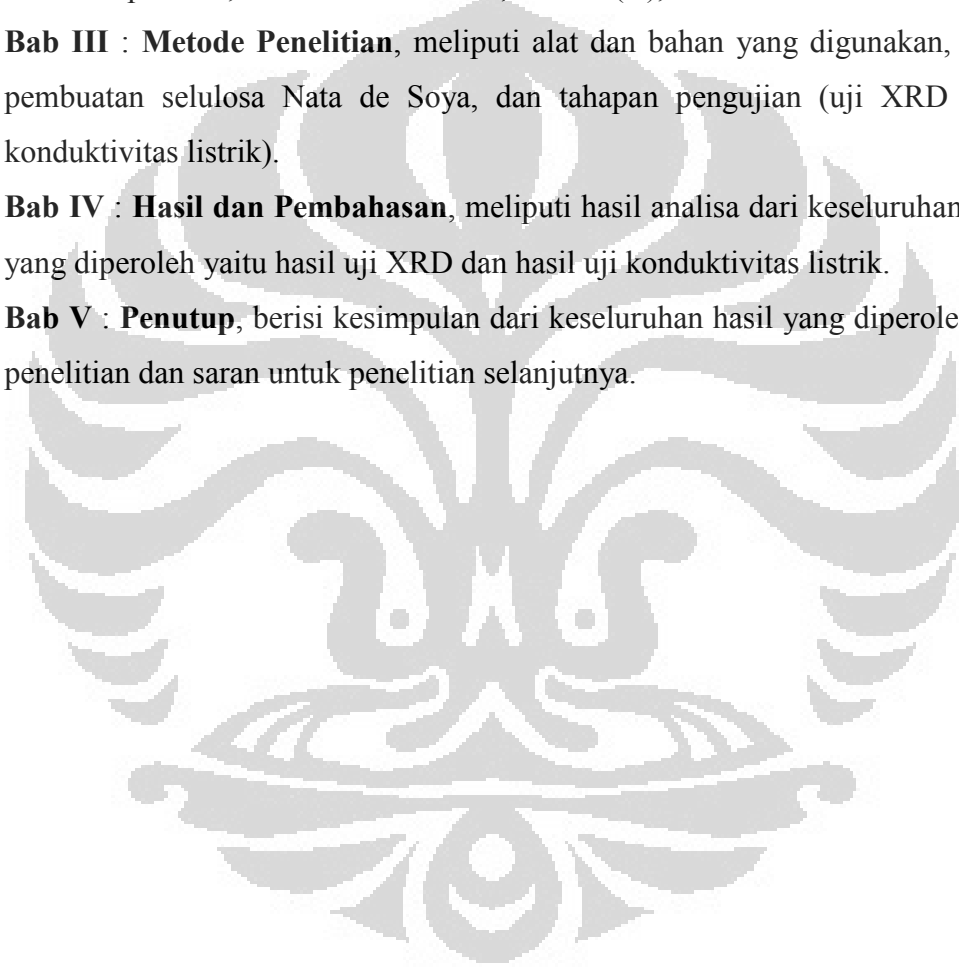
Bab I : Pendahuluan, meliputi latar belakang, identifikasi masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penelitian.

Bab II : Tinjauan Pustaka, meliputi air limbah tahu (whey), selulosa mikrobial, elektrolit polimer, konduktivitas listrik, kalium (K), dan mekanisme transfer ion.

Bab III : Metode Penelitian, meliputi alat dan bahan yang digunakan, tahapan pembuatan selulosa Nata de Soya, dan tahapan pengujian (uji XRD dan uji konduktivitas listrik).

Bab IV : Hasil dan Pembahasan, meliputi hasil analisa dari keseluruhan sampel yang diperoleh yaitu hasil uji XRD dan hasil uji konduktivitas listrik.

Bab V : Penutup, berisi kesimpulan dari keseluruhan hasil yang diperoleh dalam penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Tahu (Whey)

Air limbah tahu adalah air sisa penggumpalan tahu (*whey tofu*) yang dihasilkan selama proses pembuatan tahu (Lestari, 1994). Jika ditinjau dari komposisi kimianya, ternyata air limbah tahu mengandung nutrisi-nutrisi (protein, karbohidrat, dan bahan-bahan lainnya) yang jika dibiarkan dibuang begitu saja ke sungai justru dapat menimbulkan pencemaran. Whey tahu selain mengandung protein juga mengandung vitamin B terlarut dalam air, laktosa dan oligosakarida. Whey tahu mempunyai prospek untuk dimanfaatkan sebagai media fermentasi bakteri, diantaranya bakteri *Acetobacter xylinum*. *Acetobacter xylinum* dapat mengubah gula substrat menjadi gel selulosa yang biasa dikenal dengan nata ("Selulosa¹", n.d.). Nata de soya merupakan sumber selulosa yang diproduksi sebagai hasil fermentasi *Acetobacter xylinum* dalam substrat whey.

Tabel 2.1. Kandungan gizi nata de soya dan air limbah tahu dalam 100 gram (Handayani, Prawito, & Bustaman, 1999)

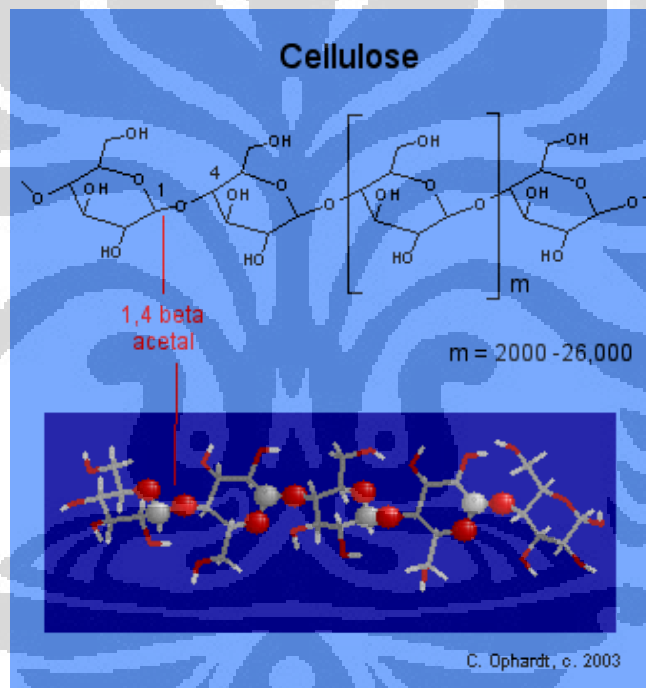
Zat Gizi (satuan)	Nata de Soya	Air Limbah Tahu
Karbohidrat (g)	20	2
Protein (g)	2,35	1,75
Lemak (g)	1,68	1,25
Serat Kasar (g)	3,2	0,001
Kalsium (mg)	4,6	4,5

2.2 Selulosa Mikrobial

Selulosa mikrobial adalah selulosa yang diproduksi oleh mikroorganisme terutama genus *Acetobacter*, mempunyai sifat kemurnian yang lebih unggul dibandingkan selulosa kayu, antara lain bersifat sangat hidrofilik, sifat fisik mekanik yang tinggi dalam keadaan basah dan kering, berbentuk anyaman halus yang unik dan kuat serta diproduksi dari berbagai macam substrat yang relatif murah. Berdasarkan keunggulan sifat ini maka selulosa mikrobial dapat

digunakan sebagai diafragma speaker bermutu tinggi, bahan baku pembuatan kertas yang lebih kuat dan bahan *microcrystallin cellulose* (Suryani et al., 2000).

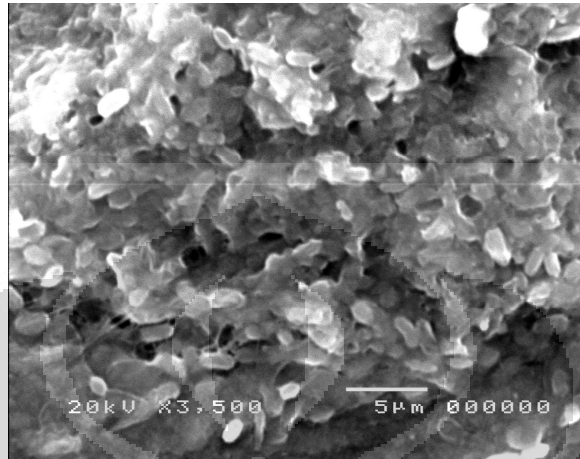
Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ adalah polimer berantai panjang polisakarida karbohidrat, dari beta-glukosa (“Selulosa²”, n.d.). Bobot molekulnya tinggi, strukturnya teratur berupa polimer yang linear terdiri dari unit ulangan β -D-Glukopiranos. Karakteristik selulosa antara lain muncul karena adanya struktur kristalin dan amorf serta pembentukan *micro fibril* dan *fibril* yang pada akhirnya menjadi serat selulosa. Sifat selulosa sebagai polimer tercermin dari bobot molekul rata-rata, polidispersitas dan konfigurasi rantainya (Tim Puslitbang Indhan Balitbang Dephan, n.d.).



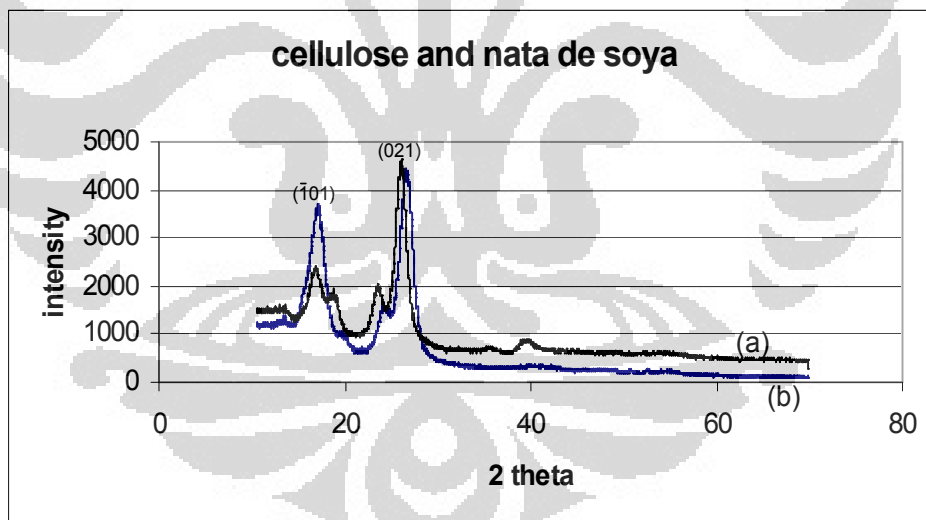
Gambar 2.1. Struktur unit selulosa (“Cellulose”, n.d.)

Selulosa yang biasa kita kenal adalah komponen pembentuk dinding sel tanaman sebagai hasil fotosintesis yang jumlahnya cukup dominan. Selulosa hampir tidak dijumpai dalam keadaan murni di alam, tetapi berikatan dengan bahan lain, yaitu lignin dan hemiselulosa (Gunawan, 2004). Selulosa mikrobial identik dengan selulosa yang berasal dari tumbuhan (Arry, Iman, & Iskandarsyah, 2006; Wojciech Czaja, et al., 2005). Kelebihan selulosa mikrobial antara lain

relatif murni tidak bercampur dengan lignin dan hemiselulosa (Kristina Gelin, et al., n.d. ; *Ilmuwan IPB Rancang Membran Ultrafiltrasi dari Selulose Asetat Mikrobial*, n.d.), sehingga nata de soya merupakan selulosa murni (gambar 2.3).



Gambar 2.2. Morfologi selulosa nata de soya dengan perbesaran dengan SEM 3500X (Djonaedi dan Budhy, 2007).



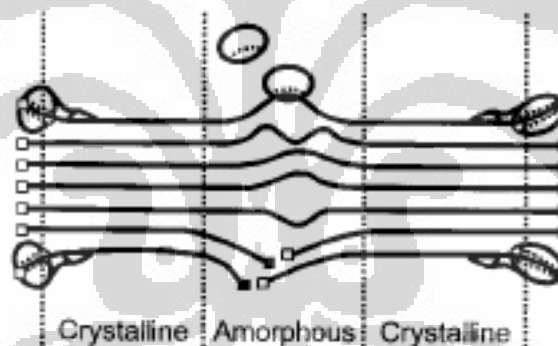
Gambar 2.3. Pola XRD, selulosa (a) dan nata de soya (b) (Djonaedi dan Budhy, 2007).

Analisis membran nata de soya fermentasi 10 hari dari limbah tahu dengan SEM (gambar.2.2) dan XRD (gambar.2.3) menghasilkan selulosa murni dan menggambarkan mikrofibril yang mempunyai struktur kristal triklinik dan selulosa 1 α . Dari perbesaran 3500X terlihat bentuk morfologi fiber yang saling terikat

bersama-sama dan keberadaan potongan bentuk silinder putih dari mikrofibril menunjukkan satu molekul polimer dari nata de soya (Djonaedi dan Budhy, 2007). Gambar 2.2 memperlihatkan bahwa potongan bentuk silinder putih adalah bagian kristalin dan bulatan hitam adalah lubang/porositas dari morfologi selulosa Nata de Soya.

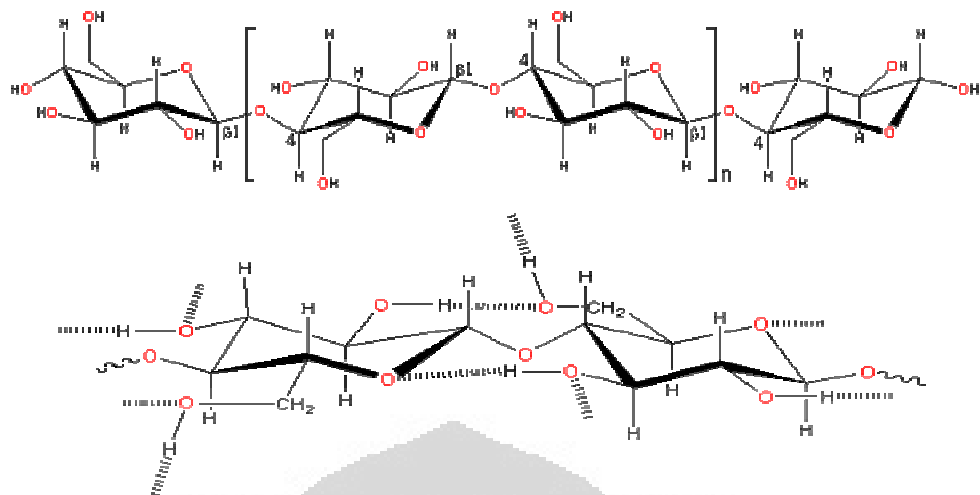
Karakteristik fisis yang dimiliki oleh selulosa Nata de Soya yaitu kuat tarik nata de soya berkisar antara 281,6 sampai dengan 487,6 kgf/cm² dan resistivitas listrik berkisar antara 6,28 sampai dengan 20,47 ohm-m. Doping Iodium pada selulosa nata de soya menghasilkan semikonduktor type-p (Djonaedi, Budhy, & Nurul, 2007).

Serat selulosa tidak sepenuhnya adalah kristalin (MacGregor dan Greenwood, n.d.). Serat selulosa terdiri dari daerah amorphous dan kristal, dimana daerah amorphous berada di antara daerah kristal (gambar 2.4).

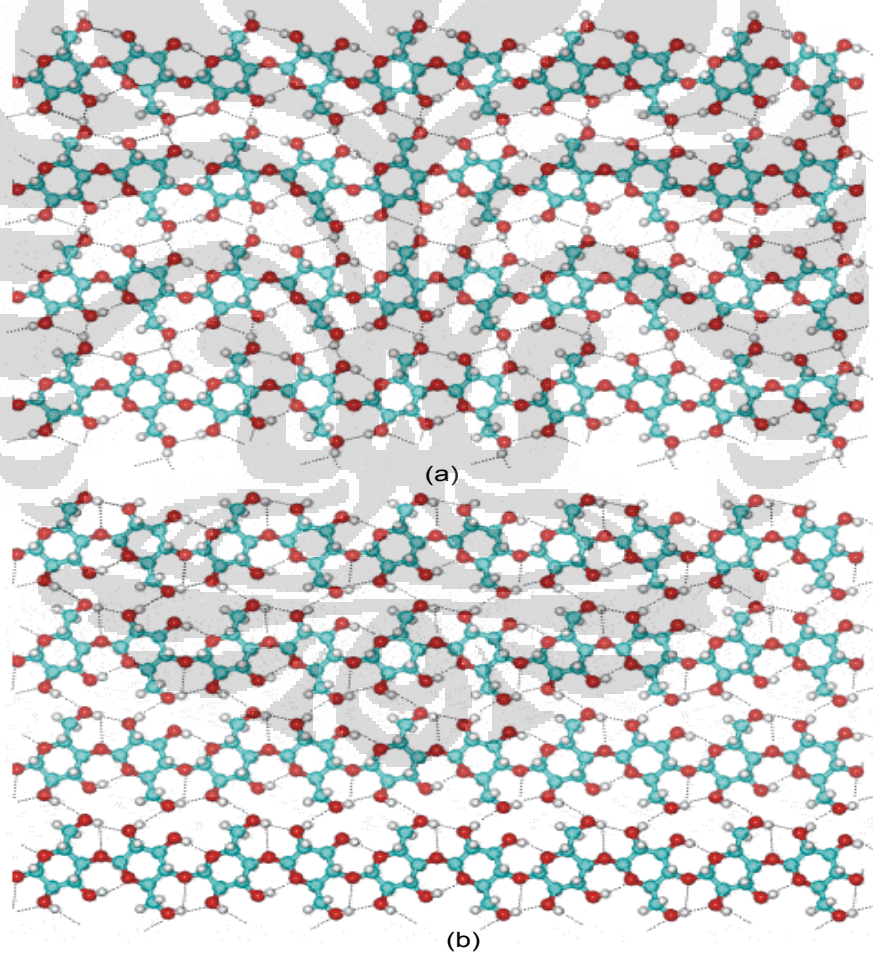


Gambar 2.4. Daerah amorphous dan mikrokristal pada selulosa
(Lee R. Lynd, et al., 2002).

Kristal alami terbentuk dari metastable selulosa I (selulosa alami) dengan semua strand paralel selulosa dan bukan pada ikatan hidrogen. Selulosa I berisi dua fase yaitu selulosa I α (triklinik) dan selulosa I β (monoklinik). I α lebih banyak ditemukan pada algae dan bakteri, sedangkan I β lebih banyak di tanaman besar.



Gambar 2.5. Ikatan Hidrogen di struktur selulosa (Chaplin, 2008).



Gambar 2.6. Struktur Selulosa 3 dimensi. Selulosa I α (a) dan selulosa I β (b) (Chaplin, 2008).

Selulosa I α dan selulosa I β mempunyai jarak serat yang sama (1,043 nm untuk pengulangan dimer dalam ke kristal, 1,029 nm di atas permukaan), yang membedakan adalah pola ikatan hidrogen pada lembaran-lembaran. Lembaran-lembaran terdekatan pada selulosa I α secara teratur mempunyai arah yang sama, sedangkan lembaran-lembaran selulosa I β di mana group 2-OH dan 6-OH berganti arah sehingga mengubah pola ikatan hidrogen.

Air tidak bisa menembus bagian kristal selulosa tetapi bagian amorpous dapat menyerap air sehingga menjadikan selulosa halus dan fleksibel. Jika selulosa mempunyai tingkat kekristalan tinggi, hanya sedikit air yang terikat langsung oleh ikatan hidrogen, tetapi beberapa serat selulosa dapat cukup banyak menahan air di pori dan rongganya. Kemampuan menahan air berhubungan dengan amorpous (efek bidang permukaan) dan kekosongan bagian (porositas) (Chaplin, 2008).

2.3 Elektrolit Polimer

Elektrolit polimer disebut juga elektrolit padat. Elektrolit padat adalah konduktor listrik padat yang menghantar perpindahan ion melalui kekosongan (atau posisi kristalografik yang kosong) pada kisi kristal . Elektrolit padat berada diantara kristal padat yang memiliki struktur teratur dan ion-ion tak mudah bergerak , dengan elektrolit cair yang tidak memiliki struktur teratur dan ion-ion yang bebas bergerak ("Fast ion conductor ", 2009).

Elektrolit polimer mengandung kation atau anion yang bebas bergerak dan bertindak sebagai pembawa muatan. Konduktivitas ion suatu polimer bergantung pada konsentrasi/kepekatan dan mobilitas suatu ion. Suatu polimer menjadi konduksi ion apabila ditambahkan bahan tak organik atau bahan organik ke dalam polimer tersebut (Gray,1987).

Penggunaan elektrolit polimer yaitu sebagai salah satu alternatif pengganti elektrolit cair yang sering menimbulkan masalah. Elektrolit polimer bisa digunakan sebagai pemisah dalam komponen elektronik dalam sistem baterai. Di samping itu, elektrolit polimer dapat beroperasi pada suhu yang tinggi yaitu antara 60° - 100°C dan mempunyai sifat yang fleksibel dimana dapat dibentuk sesuai kebutuhan. (David Linden, 1995)

Ciri-ciri suatu polimer yang dapat didoping dan berfungsi sebagai induk ion (host ion) yaitu:

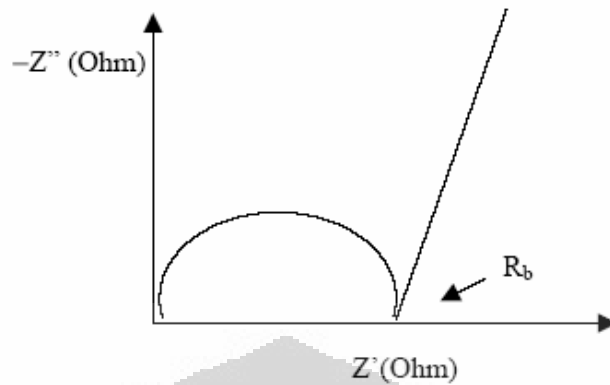
3. Polimer mempunyai gugus yang mampu untuk menyumbang elektron guna membentuk ikatan koordinasi dengan kation garam dopan. Interaksi ini terjadi bila polimer mempunyai pasangan elektron bebas yang disediakan oleh atom nitrogen, oksigen, sulfur atau klor.
4. Polimer yang mempunyai rantai fleksibel sehingga atom doping dengan mudah terikat dengan polimer aktif.
5. Mempunyai temperatur peralihan kaca (T_g) yang rendah supaya pergerakan ion mudah (Chee Lip Chew, 2005 ; Saharman, Andriyani, & Sovia., 2005).

2.4 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik (“Konduktivitas Listrik”, 2009). Satuan konduktivitas adalah $(\text{ohm meter})^{-1}$. Logam atau material yang dapat menghantar listrik yang baik, memiliki nilai konduktivitas listrik dengan orde 10^7 $(\text{ohm.meter})^{-1}$ dan sebaliknya material isolator memiliki nilai konduktivitas listrik yang sangat rendah, yaitu lebih kecil dari 10^{-10} $(\text{ohm.meter})^{-1}$. Diantara kedua sifat ekstrim tersebut, ada material semikonduktor yang nilai konduktivitasnya berkisar antara 10^{-6} sampai dengan 10^4 $(\text{ohm.meter})^{-1}$ (Guntoro, n.d.).

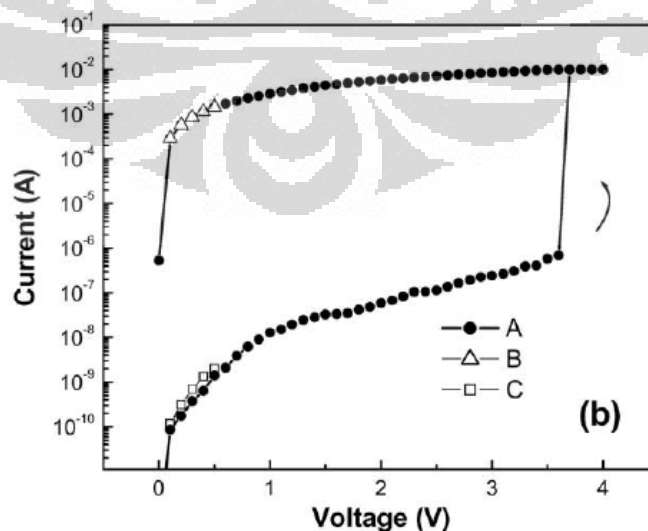
Sifat konduktivitas listrik pada suatu material dapat diubah-ubah dengan menambahkan materi lain (biasa disebut materi doping). Penambahan materi doping tersebut dapat meningkatkan pembawa mayoritas elektron atau lubang (hole) pada suatu material tergantung pada materi doping yang ditambah.

Metode pengukuran konduktivitas terbagi dua yaitu metode DC dan metode AC. Metode DC adalah metode yang memakai tegangan dc. Idealnya, pengukuran dilakukan dengan metode dc, karena hasil dari imigrasi ion dan tidak ada kehilangan dielektrik. Metode AC adalah metode yang memakai tegangan ac dan diukur dengan variasi frekuensi (West,1984). Pada metode AC , hasil yang terukur adalah impedansi dari sampel, dan sering ditampilkan seperti pada gambar 2.7. Menurut Chee Lip Chew (2005), plot impedansi kompleks untuk suatu elektrolit polimer sering tidak menunjukkan semibulat seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7 . Plot Impedansi kompleks (Chee Lip Chew, 2005).

Pendopongan kation atau anion pada polimer mempunyai kurva karakteristik I-V yang berlawanan. Pada polimer Poly[2-methoxy-5(2'-ethylhexyloxy)-p-phenylene vnylene] (MEH-PPV) yang didoping dengan anion hexafluorophosphate (PF_6^-) menghasilkan tipe-p (Leger, 2005) dan kurva karakteristik I-V seperti gambar 2.8. Pada gambar 2.8 memperlihatkan pendopongan (PF_6^-) pada MEH-PPV yang diukur pada tegangan 0-4 volt dan 4-0 Volt, dengan kurva karakteristik I-V yang membuka ke bawah. Sehingga sebagaimana mestinya, pendopongan kation pada polimer untuk menghasilkan tipe-n, akan mempunyai kurva karakteristik I-V yang berlawanan dengan kurva karakteristik I-V doping anion yaitu kurva yang membuka ke atas.



Gambar 2.8. Karakteristik I-V MEH-PPV dengan doping PF_6^- (Patil, Satish., et al.,2006)

2.5 Kalium (K)

Kalium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang **K** dan nomor atom 19. Kalium berbentuk logam lunak berwarna putih keperakan dan termasuk golongan alkali tanah. Secara alami, kalium ditemukan sebagai senyawa dengan unsur lain dalam air laut atau mineral lainnya. Kalium teroksidasi dengan sangat cepat dengan udara, sangat reaktif terutama dalam air, dan secara kimiawi memiliki sifat yang mirip dengan natrium. Dalam bahasa Inggris, Kalium sering disebut **Potassium** ("Kalium", 2009).

Tabel 2.1 Sifat fisik Kalium ("Kalium", 2009)

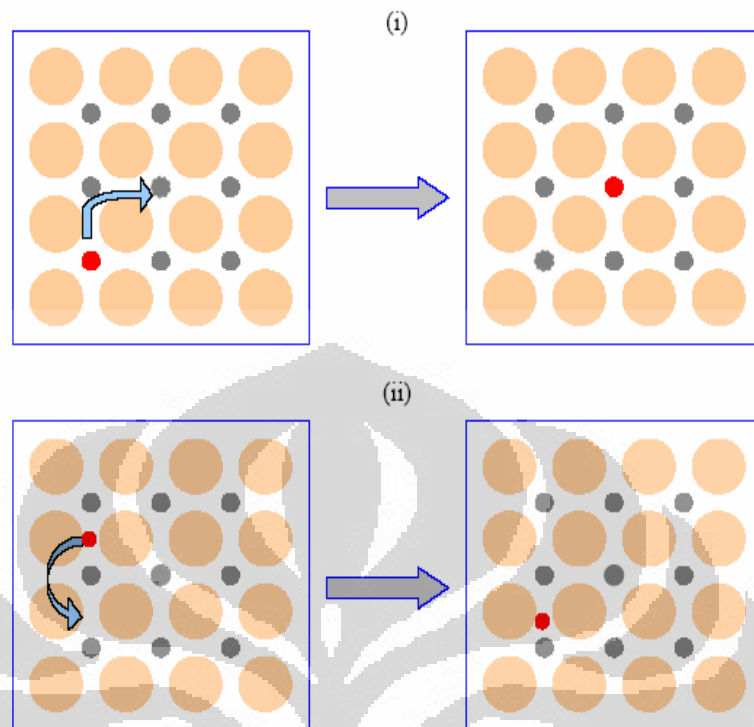
Sifat	Nilai
Berat atom	39,0983 g·mol ⁻¹
Densitas (mendekati suhu kamar)	0,89 g·cm ⁻³
Densitas cairan pada titik didih	0,828 g·cm ⁻³
Titik didih	1032 K (759 °C, 1398 °F)
Titik leleh	336,53 K (63,38 °C, 146,08 °F)

2.6 Mekanisme Transfer Ion

Ketidakteraturan posisi atom atau adanya cacat dalam struktur menyebabkan tersedianya posisi kosong pada tempat-tempat tertentu dalam kristal. Posisi yang kosong ini dapat diisi oleh atom lain di sekitarnya dan meninggalkan posisi kosong yang baru, demikian seterusnya sehingga ion dalam kristal tersebut dapat berpindah-pindah. Inilah yang berperan dalam tingginya konduktivitas ionik (Basar, 2007). Mekanisme difusi ion dalam polimer sama seperti mekanisme kristal ion, dimana terdapat kekosongan dalam susunan kisi (Chee Lip Chew, 2005). Gambar 2.9 menggambarkan cara perpindahan ion yang terjadi dalam kristal ion.

Mekanisme perpindahan ion dalam kisi kristal, yaitu :

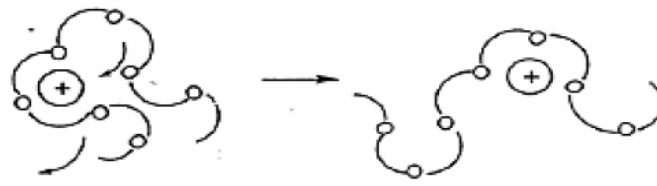
5. Perpindahan ion dengan mengisi bagian kisi kristal yang kosong.
6. Perpindahan ion ke bagian sempit di antara kisi-kisi kristal.



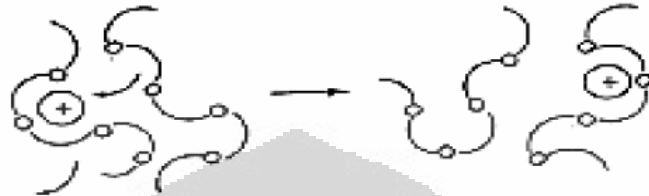
Gambar 2.9. Mekanisme perpindahan ion dalam kisi kristal
(Chee Lip Chew, 2005)

Model volume bebas merupakan solusi yang mudah untuk memahami perpindahan ion melalui konduksi ionik dalam sistem cair dimana terjadi penyebaran awal (redistribution) dengan sistem. Sementara itu, peningkatan suhu juga memberi pengaruh terhadap pemuaiannya suatu material dan selanjutnya menciptakan kekosongan tempat yang memperbolehkan pergerakan segmen bagi ion yang datang dalam suatu polimer. Mekanisme pergerakan ion yang fleksibel dalam matriks polimer tergantung kepada kepekatan/konsentrasi garam yang terkandung dalam matriks polimer tersebut (Chee Lip Chew, 2005).

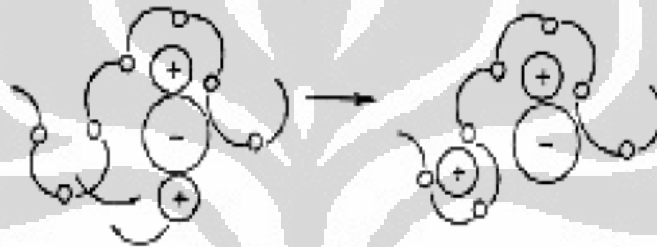
Kelemahan utama model volume bebas adalah tidak melibatkan pengaruh kinetik yang berkaitan dengan makromolekul dan pengaruh mikroskopi seperti ukuran ion, pasangan ion, polarisasi ion, konsentrasi ion, ataupun struktur polimer yang memberi pengaruh terhadap proses konduksi ionik (Chee Lip Chew, 2005). Gambar 2.10 menunjukkan perpindahan kation secara loncatan (hopping).



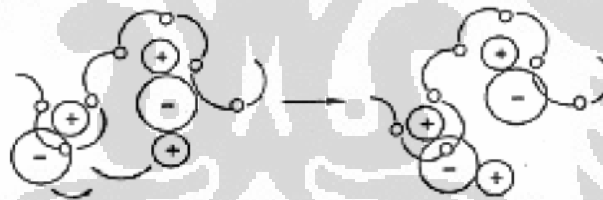
a) Perpindahan kation dalam ikatan polimer yang sama secara loncatan



b) Perpindahan kation kepada ikatan polimer tetangga secara loncatan



c) Perpindahan ion berkelompok dalam ikatan polimer yang sama secara loncatan



d) Perpindahan ion secara loncatan bagi ion berkelompok

Gambar 2.8 Perpindahan kation ke dalam koordinat ikatan polimer secara loncatan bagi elektrolit polimer yang dibantu oleh pergerakan ikatan polimer (Chee Lip Chew, 2005).

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah air limbah tahu (whey), urea, gula pasir, Asam cuka glasial, aquades dan bakteri *Acetobacter xylinum* yang diperoleh dari laboratorium mikrobiologi Jurusan Biologi IPB. Kalium Hidroksida (KOH) yang ditambahkan sebagai material doping .

Alat yang digunakan adalah nampan plastik, neraca analitik, peralatan gelas, magnetic stirrer, oven, XRD, dan Kapasitor plat paralel.

3.2 Pembuatan Membran Selulosa Nata de Soya

Prosedur pembuatan Nata de Soya pada penelitian ini diambil dari rujukan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Djonaedi, Budhy, dan Nurul (2007). Whey tahu diendapkan dan disaring dengan kain kassa, kemudian dididihkan. Setelah mendidih, ditambahkan urea dan gula, diaduk sampai gula larut. Kemudian, memasukkan asam cuka glasial sampai larutan mempunyai pH 4 dan didinginkan. Larutan yang diperoleh disebut media nata.

Media nata dituangkan dalam wadah dan ditambahkan starter dari bakteri *Acetobacter xylinum* 10%. Setelah itu, difermentasi selama 10 hari hingga terbentuk gel nata , dan dicuci beberapa kali dengan air biasa. Kemudian, gel nata dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 2 jam untuk diperoleh membran selulosa. Membran selulosa yang telah kering dihaluskan menjadi serbuk.

3.3 Pendopingan dengan Kalium (K)

Pertama-tama serbuk selulosa dicampur dengan larutan Kalium Hidroksida (KOH) yang mengandung Kalium 1 % (w/w) terhadap berat selulosa. Untuk sampel selulosa tanpa Kalium hanya dilakukan dengan melarutkan serbuk selulosa dengan aquades . Kemudian larutan-larutan tersebut di stirrer magnetik dengan heater. Setelah itu, dioven selama 2 jam pada suhu 80°C. Pada penelitian ini diambil beberapa variasi konsentrasi yaitu 1%; 1,5% ; 2,0% dan 2,5%, dengan prosedur yang digunakan sama seperti yang telah dijelaskan di atas.

3.4 Tahapan Pengujian

3.4.1 Uji XRD

Uji XRD menggunakan alat XRD tipe PW 3710 memakai anoda cobalt dengan panjang gelombang 1.78896 Å. Pengujian sampel dengan XRD bertujuan untuk menganalisa struktur dari membran selulosa sebelum dan sesudah didoping. Di samping itu, untuk mengetahui apakah ada perubahan stuktur membran setelah mengalami pendopingan.

3.4.2 Uji Konduktivitas Listrik

Uji konduktivitas listrik menggunakan kapasitor pelat sejajar dengan luas pelat tembaga $2.207 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Alat ukur yang digunakan adalah RLC Fluke tipe PM6306.



(a)



(b)

Gambar 3.1. (a) pelat sejajar tembaga. (b) Alat ukur RLC.

Pengujian sampel dengan alat RLC memakai tegangan dc dan tegangan ac pada suhu ruang (25 °C). Tegangan dc digunakan untuk mengetahui nilai hambatan sampel dengan variasi beda tegangan. Tegangan ac digunakan untuk mengetahui pengaruh frekuensi terhadap sampel.

Pada pengukuran dengan tegangan dc, sampel diberi beda tegangan tertentu sehingga diperoleh arus yang melalui sampel. Dengan demikian nilai konduktivitas listrik sampel akan diperoleh melalui persamaan dibawah ini :

$$V = IR \quad (3.1)$$

$$R = \frac{\rho d}{A} \quad (3.2)$$

$$\frac{I}{V} \cdot \frac{d}{A} = \frac{1}{\rho} = \sigma \quad (3.3)$$

dengan:

V = beda potensial (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

A = luas permukaan (m²)

ρ = koefisien hambatan listrik material (ohm.meter)

d = tebal sampel (meter)

σ = konduktivitas listrik (1/ohm.meter)

Pada pengukuran dengan tegangan ac, sampel diberi frekuensi dari 50Hz hingga 1MHz. Data yang diperoleh adalah sudut fase ϕ dan nilai impedansi Z (ohm). Impedansi yang ditampilkan dalam plot -Z'' terhadap Z' (gambar 3.2). Z'' adalah impedansi imajiner dan Z' adalah impedansi real. Dari plot impedansi kompleks, nilai hambatan bulk (Rb) dapat ditentukan dari semibulat dan garis lurus yang diperoleh.

$$Z = Z' - iZ'' \quad (3.4)$$

$$Z' = Z \cos \phi = R \quad (3.5)$$

$$Z'' = Z \sin \phi = \frac{1}{\omega C} \quad (3.6)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

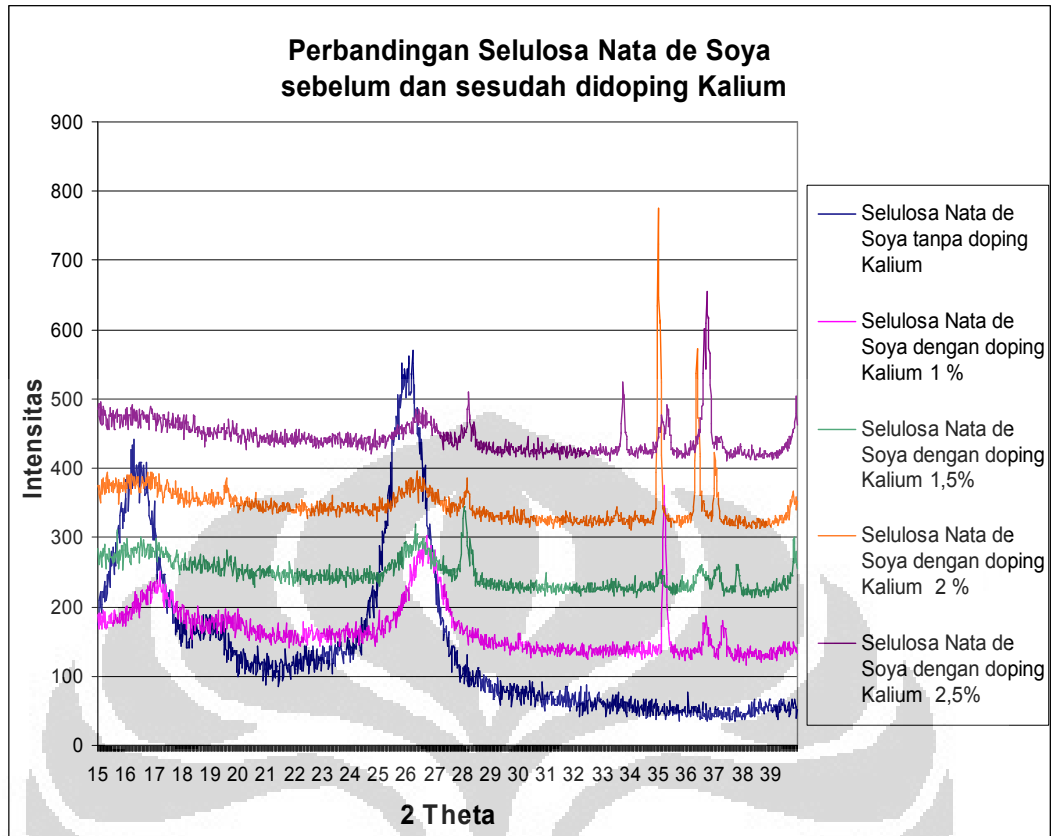
4.1 Pendopongan Selulosa Nata de Soya dengan Kalium (K)

Pada proses pendopongan serbuk selulosa Nata de Soya diaduk dengan hot stirer magnetik dalam larutan KOH pada temperatur 80°C. Proses pendopongan selulosa Nata de Soya dengan larutan KOH tidak mengalami reaksi kimia. KOH dalam eksperimen ini hanya berfungsi sebagai katalis, sehingga tidak terdapat persamaan reaksi. Temperatur 80°C merupakan temperatur gelas (T_g) selulosa Nata de Soya. Pada temperatur ini, kondisi rantai dan cincin dari selulosa Nata de Soya mengembang sehingga mempermudah untuk ion Kalium masuk dan menyisip pada bagian selulosa Nata de Soya.

4.2 Hasil Uji XRD

Gambar 4.1 merupakan grafik difraksi sinar-x dari selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping dengan Kalium. Dari grafik XRD menunjukkan adanya pergeseran puncak. Ini berarti adanya perubahan pada jarak antar bidang kisi (d-layer) pada struktur kristalin selulosa sebelum dengan sesudah didoping. Timbulnya puncak-puncak baru pada grafik sebelah kanan pada selulosa Nata de Soya yang telah didoping menunjukkan adanya penumbuhan kristal baru.

Pada selulosa Nata de Soya doping Kalium 1 % masih memperlihatkan puncak dari selulosa tanpa kalium dan puncak-puncak baru pada $2\theta = 35^\circ, 36^\circ$ dan 37° . Selulosa Nata de Soya dengan doping 1.5 %, 2 %, dan 2.5 % memperlihatkan puncak selulosa tanpa kalium $2\theta = 16.34^\circ$ menghilang dan intensitas puncak $2\theta = 26^\circ$ semakin kecil. Selulosa Nata de Soya dengan doping 1.5 % dan 2 % memperlihatkan timbul puncak-puncak baru pada $2\theta = 28^\circ, 35^\circ, 36^\circ, 37^\circ$. Selulosa Nata de Soya dengan doping 2.5 % memperlihatkan timbul puncak-puncak baru pada $2\theta = 28^\circ, 33^\circ, 35^\circ, 36^\circ, 37^\circ$.



Gambar 4.1 Grafik Hasil XRD

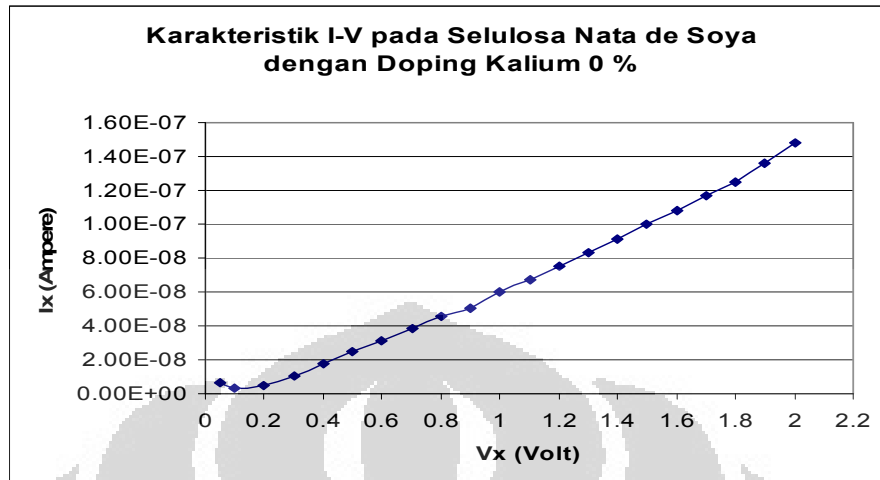
Tabel 4.1 Pengaruh Konsentrasi Doping Kalium Terhadap Jarak Antar Bidang Kisi (d-layer) pada Selulosa Nata de Soya

No.	Konsentrasi Doping Kalium	Sudut 2θ	Jarak Antar Bidang Kisi (m)
1	0% (tanpa doping)	26.06	3.96577E-10
2	1%	26.68	3.87522E-10
3	1.50%	26.4	3.91558E-10
4	2%	26.36	3.92142E-10
5	2.50%	26.48	3.90396E-10

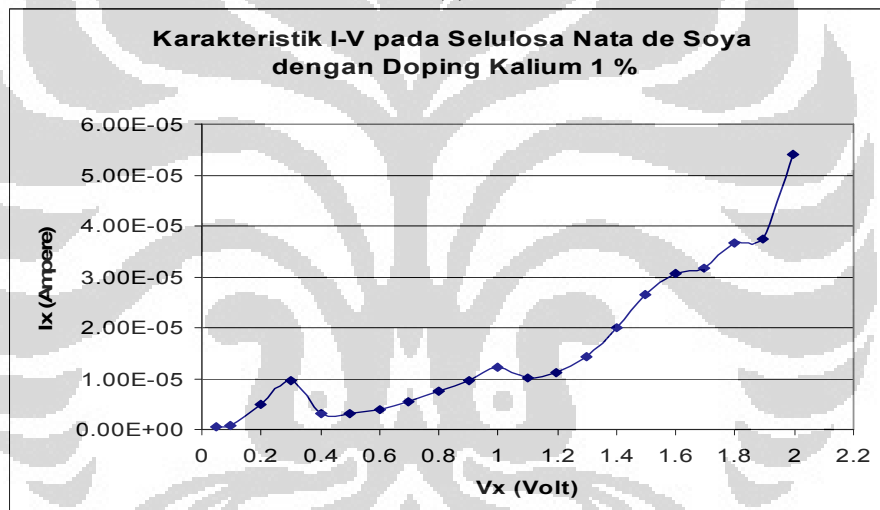
Tabel 4.1 menunjukkan pengaruh konsentrasi Kalium terhadap jarak antar bidang kisi. Dengan adanya penambahan kalium pada selulosa Nata de Soya menyebabkan terjadi pergeseran sudut 2θ lebih besar dibandingkan dengan selulosa Nata de Soya sebelum didoping dengan kalium. Akibat pergeseran sudut 2θ tersebut membuat jarak antar bidang kisi menjadi lebih kecil. Hal ini akan mempermudah ion untuk melakukan proses mekanisme transfer ion dalam selulosa Nata de Soya.

4.2 Hasil Uji Konduktivitas Listrik

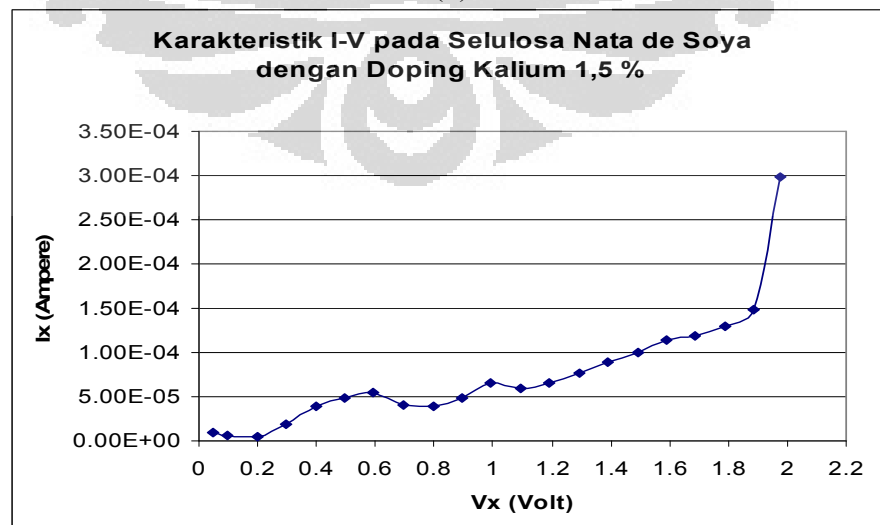
4.2.1 Tegangan DC



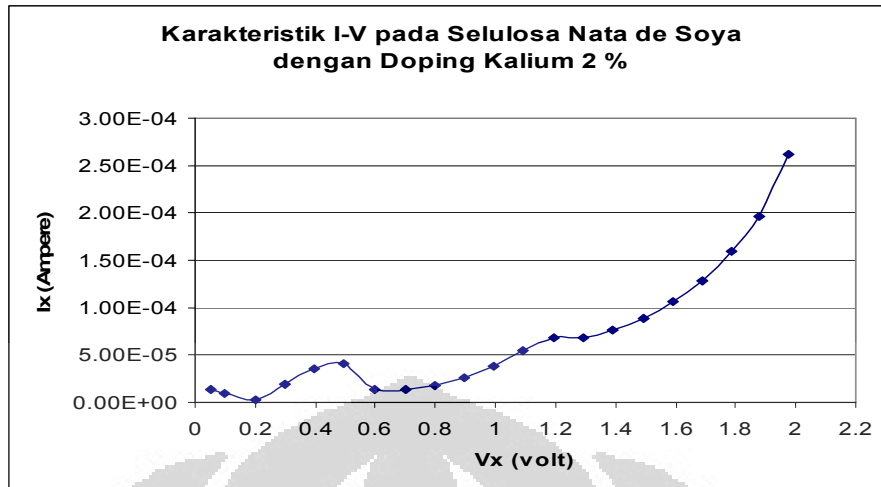
(a)



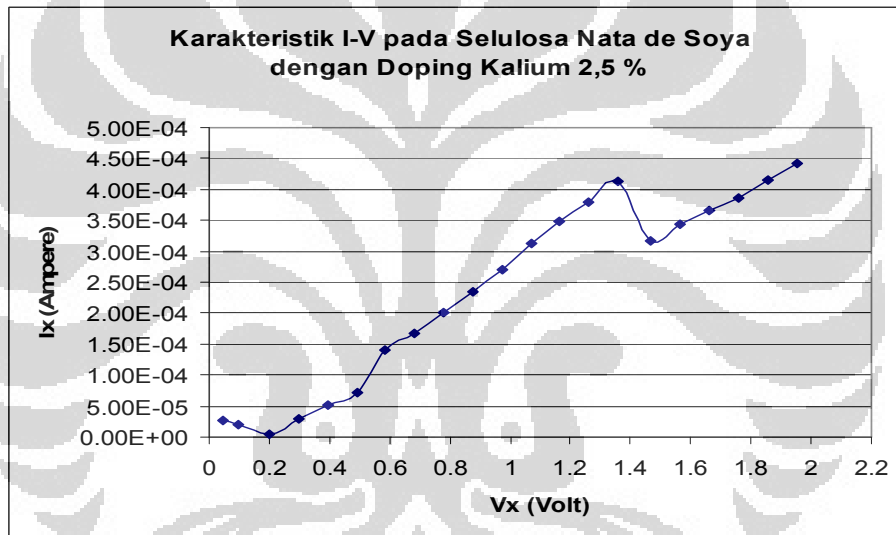
(b)



(c)

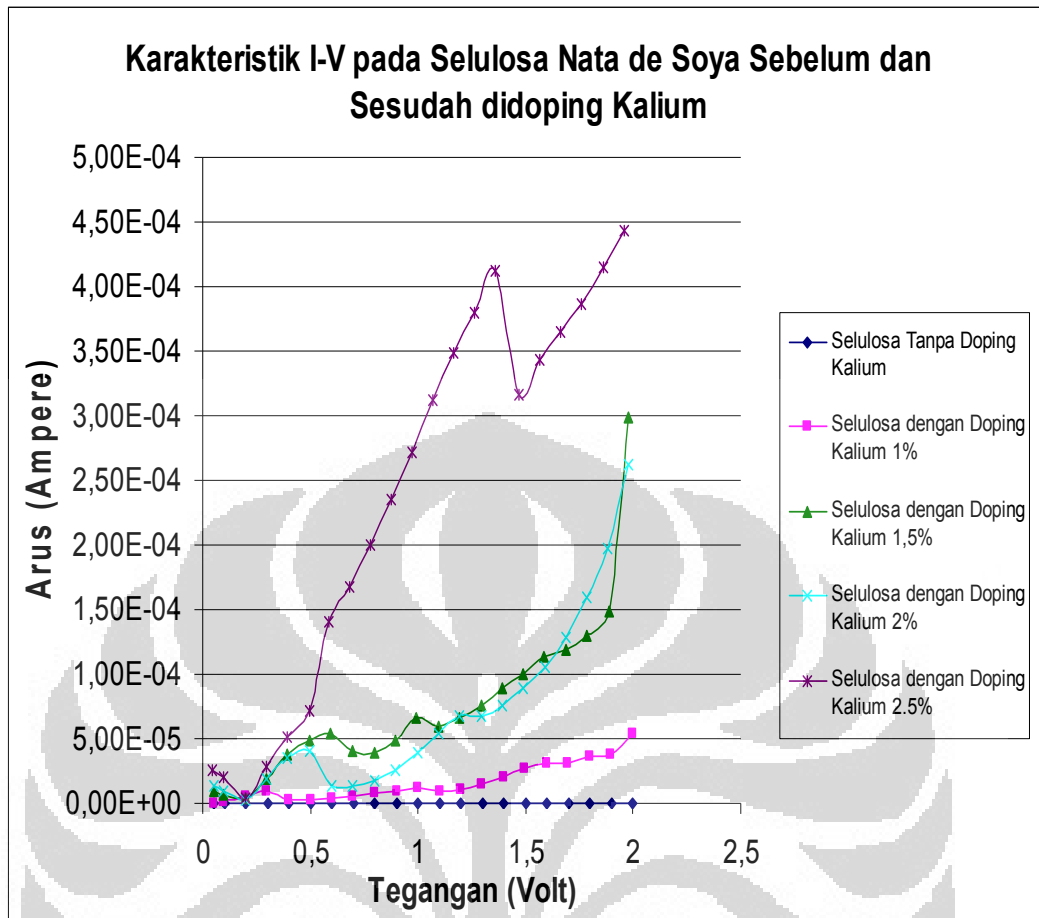


(d)



(e)

Gambar 4.2. Grafik karakteristik I-V pada Selulosa Nata de Soya. (a) Selulosa Nata de Soya sebelum didoping Kalium. (b) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1%. (c) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1,5 %. (d) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2 %. (e) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2,5 %.

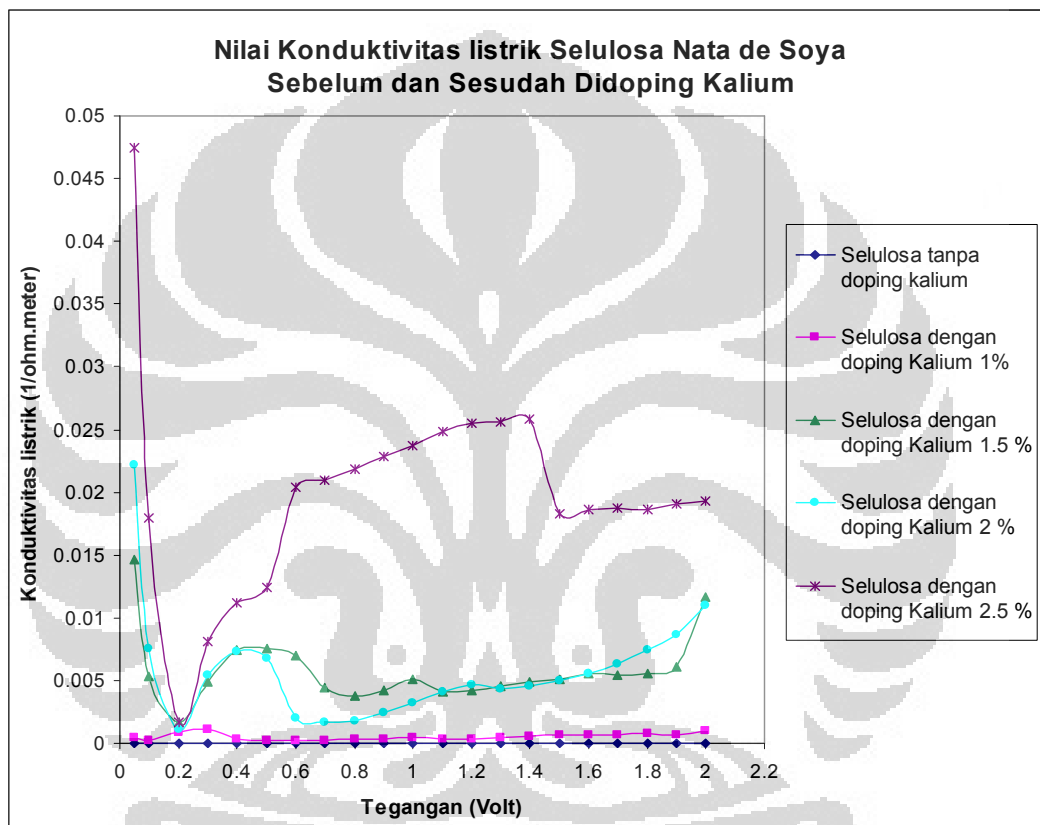


Gambar 4.3 Grafik karakteristik I-V selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping Kalium

Gambar 4.3 adalah kurva karakteristik I-V pada selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping Kalium. Pengukuran sampel dilakukan dengan memberikan variasi beda tegangan dc dari 0.05 hingga 2.0 Volt. Terlihat bahwa pada range 0.05 hingga 0.2 Volt arus cenderung menurun dengan naiknya tegangan. Pada daerah range tersebut disebut negatif diferensial resisten.

Ketika diberi beda tegangan dc antara 0.05 sampai 0.2 Volt, arus yang terukur merupakan arus permukaan. Karena pada saat ini, arus permukaan lebih dominan dibandingkan arus yang mengalir di dalam sampel. Pada tegangan 0.2 volt merupakan titik dimana arus permukaan sama dengan arus di dalam sampel. Dengan meningkatnya tegangan dc yang diberikan, membuat besar arus permukaan tidak dapat naik lagi dan besar arus yang mengalir di dalam sampel menjadi lebih dominan.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa karakteristik I-V selulosa Nata de Soya doping Kalium tidak mematuhi hukum ohm yaitu hubungan arus terhadap tegangan tidak membentuk garis linear. Ini mencirikan bahwa selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium mempunyai karakteristik seperti semikonduktor. Di samping itu, kurva yang membuka ke atas menunjukkan selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium sebagai tipe-n.



Gambar 4.4. Grafik nilai konduktivitas listrik selulosa Nata de Soya

Gambar 4.4 merupakan grafik yang membandingkan nilai konduktivitas listrik selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping dengan Kalium. Dengan menggunakan persamaan (3.3) nilai konduktivitas listrik Selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping diperoleh sekitar 10^{-6} - 10^{-2} (Ω .meter) $^{-1}$ dan masih termasuk range nilai konduktivitas listrik untuk semikonduktor. Dengan demikian, bisa dikatakan selulosa Nata de Soya sebagai semikonduktor tipe-n.

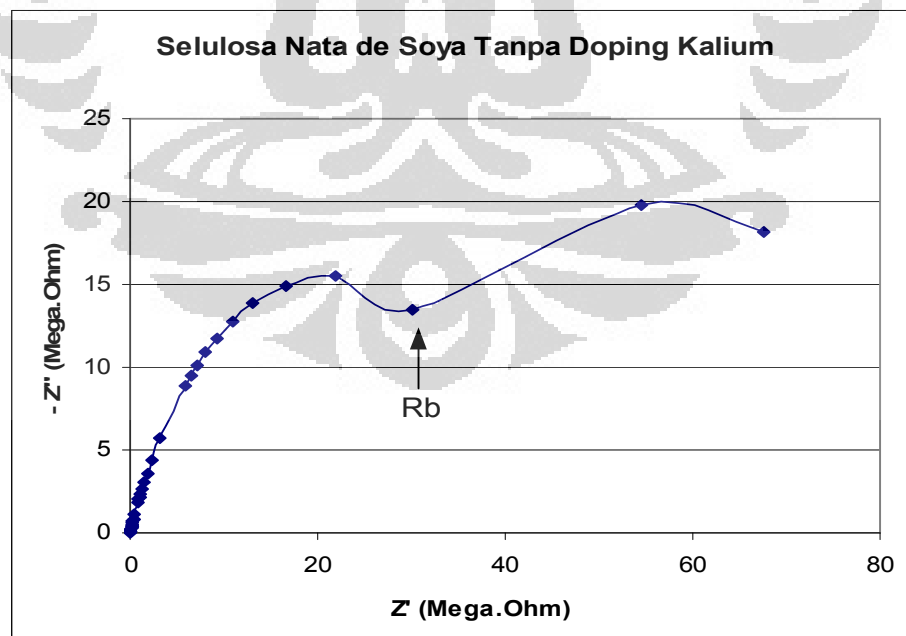
Konsentrasi doping Kalium mempengaruhi besar nilai konduktivitas listrik. Semakin besar konsentrasi Kalium yang diberikan, semakin besar nilai

konduktivitasnya. Terlihat pada gambar 4.4 bahwa selulosa Nata de Soya tanpa Kalium mempunyai nilai konduktivitas yang sangat kecil yaitu $10^{-6} (\Omega.\text{meter})^{-1}$. Pada selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1.5 % dan 2 % menunjukkan bentuk kurva konduktivitas yang hampir sama. Hal ini diperkuat dari hasil XRD yang memperlihatkan grafik doping Kalium 1.5 % dan 2 % menghasilkan puncak-puncak baru pada 2θ yang hampir sama pula.

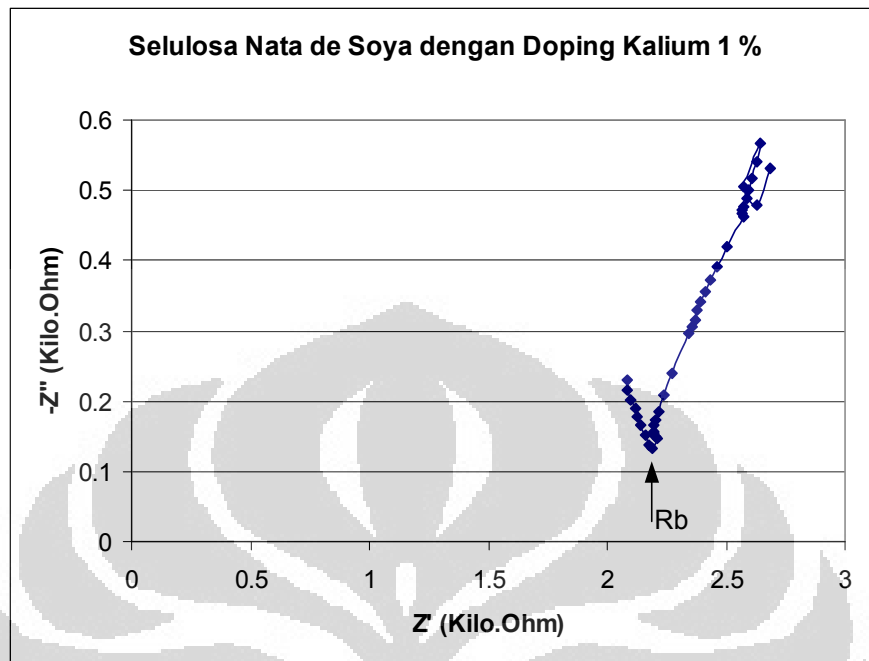
Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2,5 % terlihat sangat jelas mempunyai konduktivitas listrik yang paling besar dibandingkan dengan konsentrasi yang lainnya yaitu $10^{-2} (\Omega.\text{meter})^{-1}$. Kenaikkan konduktivitas listrik ini berkaitan dengan penumbuhan kristal baru terlihat pada pola difraksi sinar-x dengan doping Kalium 2.5% (gambar 4.1) yang berbeda dengan pola difraksi pada konsentrasi doping Kalium 1.5 % dan 2 % w/w.

Walaupun demikian, dari hasil penelitian diperoleh konsentrasi Kalium 1,5 % pada selulosa Nata de Soya menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang lebih stabil pada range beda tegangan dc antara 0.7 sampai 1.8 volt yaitu $4,7 \times 10^{-3} (\text{Ohm}.\text{meter})^{-1}$.

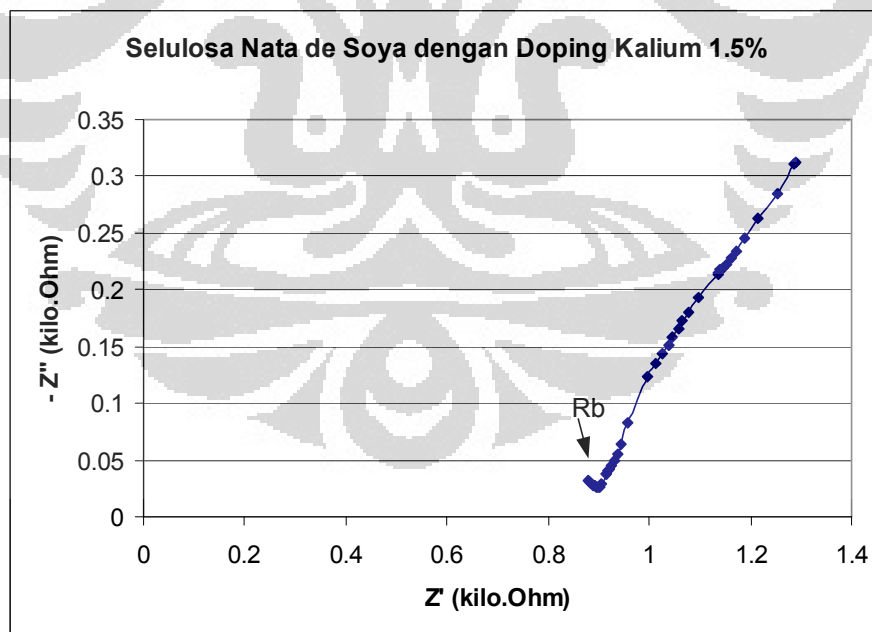
4.2.2 Tegangan AC



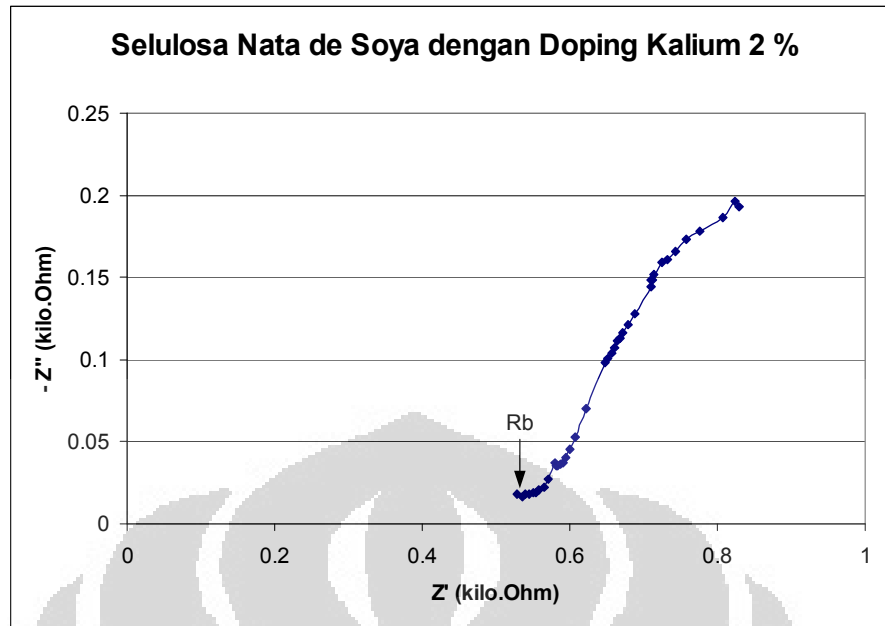
(a)



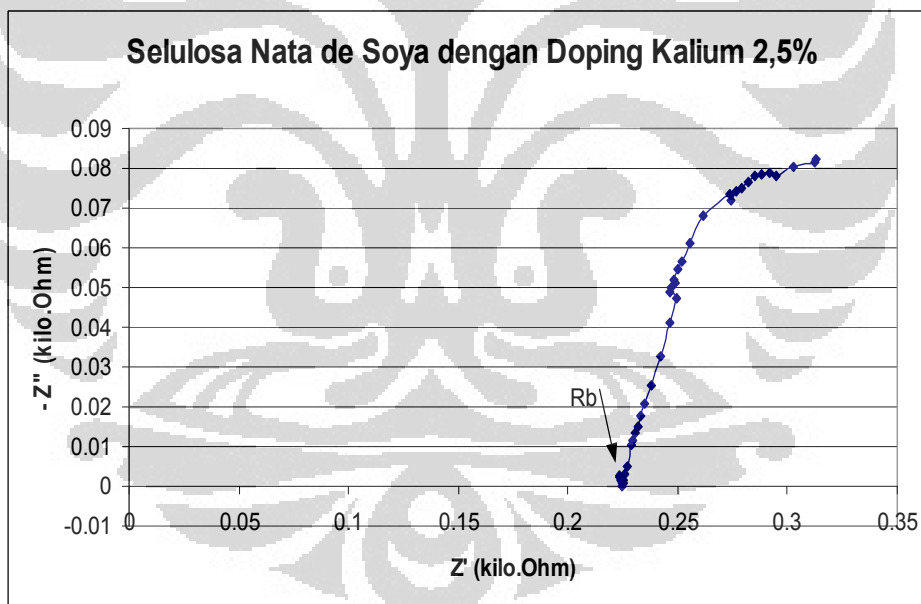
(b)



(c)

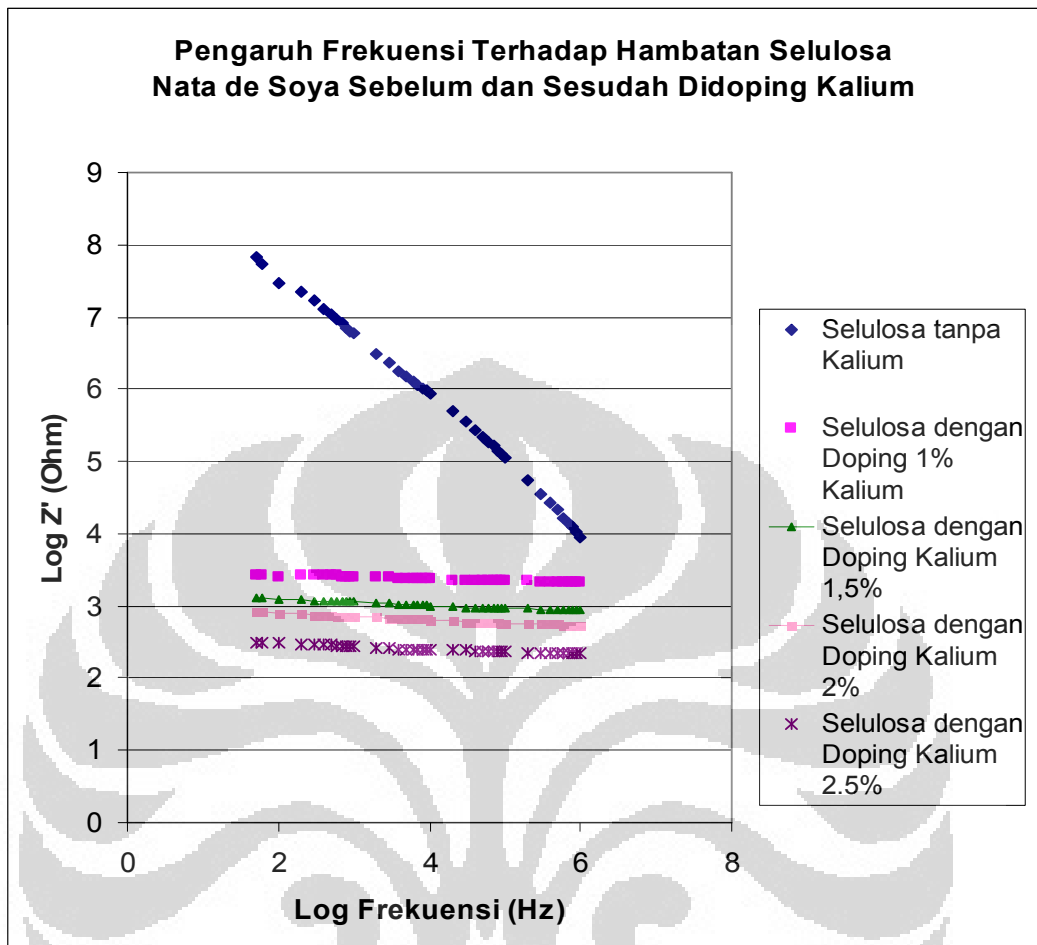


(d)



(e)

Gambar 4.5 Grafik impedansi selulosa Nata de Soya. (a) Selulosa Nata de Soya sebelum didoping Kalium. (b) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1%. (c) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 1,5 %. (d) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2 %. (e) Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium 2,5 %.

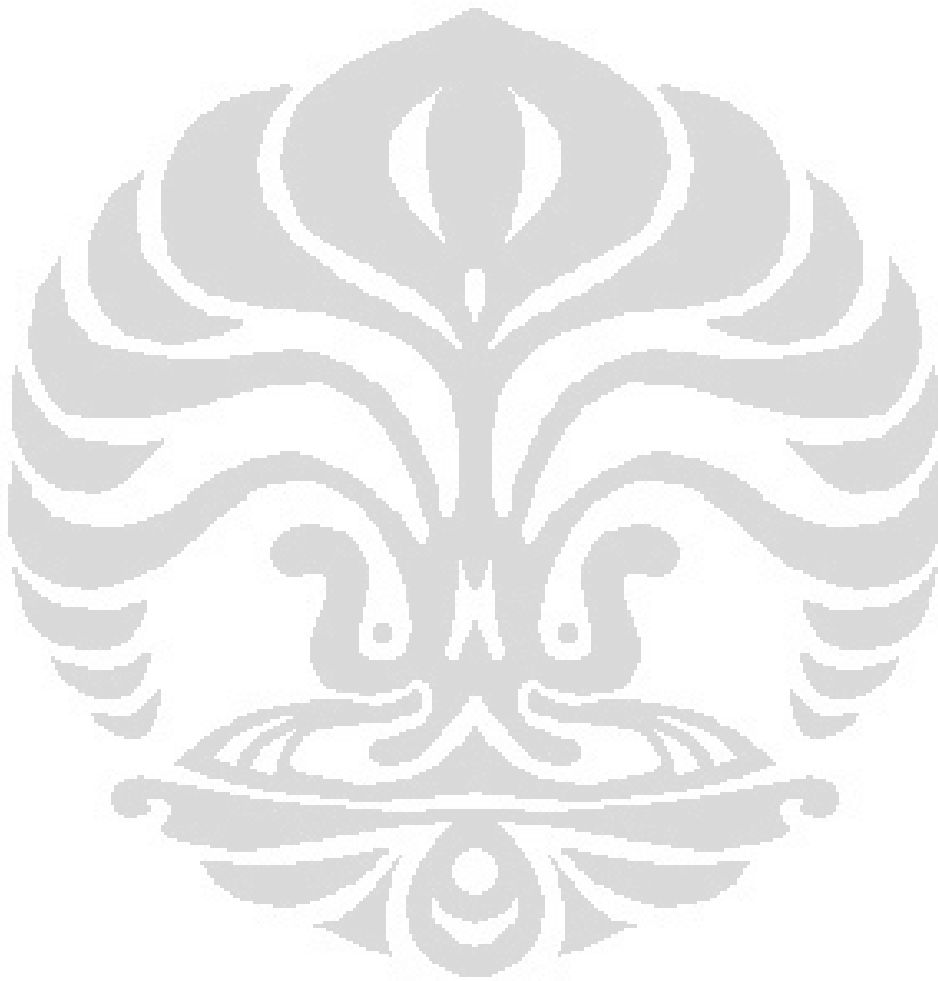


Gambar 4.6 Grafik pengaruh frekuensi terhadap Hambatan selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping Kalium

Gambar 4.5 merupakan grafik impedansi pada Selulosa Nata de Soya sebelum dan sesudah didoping Kalium. Terlihat bahwa selulosa Nata de Soya yang telah didoping Kalium, semakin besar konsentrasi Kalium semakin kecil hambatan bulk-nya. Ini membuktikan semakin besar konsentrasi doping kalium pada selulosa Nata de Soya akan menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang semakin tinggi.

Gambar 4.6 menunjukkan nilai hambatan selulosa Nata de Soya terhadap perubahan frekuensi. Pada selulosa Nata de Soya tanpa Kalium terlihat slope hambatan yang terbentuk menurun dengan semakin besar frekuensi yang diberikan. Ini menjelaskan bahwa selulosa Nata de Soya tanpa doping Kalium lebih bersifat kapasitif. Untuk selulosa Nata de Soya yang telah didoping dengan

Kalium menunjukkan semakin besar frekuensi, nilai hambatannya hanya mengalami penurunan yang sangat kecil. Ini berarti bahwa selulosa Nata de Soya yang telah didoping Kalium bersifat resistif. Jadi, nilai hambatan yang dimiliki oleh selulosa Nata de Soya sesudah didoping Kalium tidak begitu terpengaruh oleh perubahan frekuensi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian selulosa Nata de Soya sebagai elektrolit polimer dapat disimpulkan sebagai berikut:

6. Limbah tahu (whey) dapat dibuat menjadi selulosa mikrobial Nata de Soya dan dapat digunakan sebagai bahan dasar polimer elektrolit.
7. Hasil pendopingan selulosa Nata de Soya dengan konsentrasi Kalium 1% hingga 2,5% w/w diperoleh nilai konduktivitas listrik antara 10^{-6} - 10^{-2} (Ω .meter)⁻¹ . Ini masih termasuk dalam range nilai konduktivitas listrik untuk semikonduktor .
8. Selulosa Nata de Soya dengan doping Kalium didapatkan semikonduktor tipe-n.
9. Penambahan konsentrasi Kalium yang paling baik dari hasil penelitian adalah sebesar 1,5% w/w, yang memperlihatkan kestabilan nilai konduktivitas listrik pada range 0.7 sampai 1.8 volt tegangan dc sebesar $4,7 \times 10^{-3}$ (Ω .meter)⁻¹ .
10. Pemberian frekuensi tinggi ke frekuensi rendah terbukti tidak begitu mempengaruhi nilai hambatan yang dimiliki oleh selulosa Nata de Soya sesudah didoping Kalium.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan beberapa pengujian, antara lain:

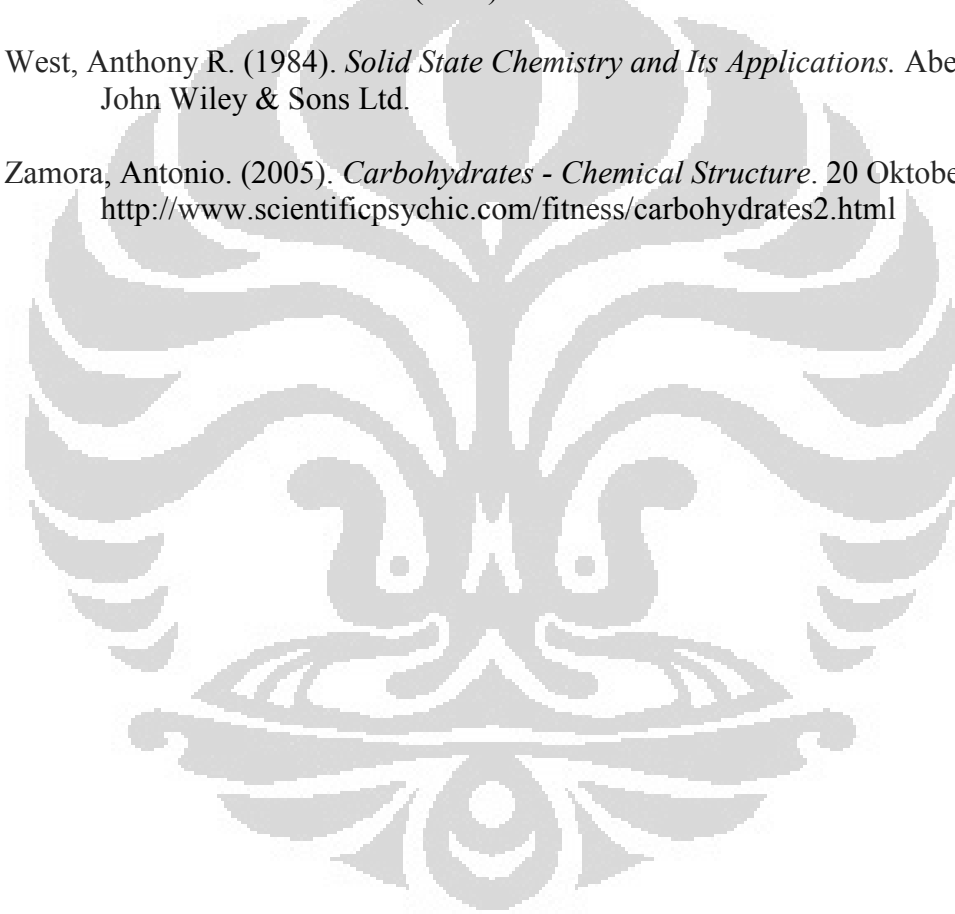
- 3.5.Uji SEM yaitu untuk mengetahui morfologi dan penyebaran distribusi Kalium dalam selulosa Nata de Soya.
- 3.6.Memberikan persentase konsentrasi Kalium dalam range yang kecil supaya diperoleh konsentrasi optimum doping Kalium dengan nilai konduktivitas listrik yang tinggi dan stabil.

DAFTAR REFERENSI

- Arry Yanuar, Iman Santoso, & Iskandarsyah. (2006). *Pemanfaatan Nata De Coco sebagai Sumber Alternatif Mikrokrystal Selulosa Untuk Bahan Pembantu Pembuatan Tablet*. Lembaga Penelitian Universitas Indonesia. 22 Oktober 2008.
- Basar, Khairul. (31 Juli 2007). *Konduktor Superionik, Teknologi di Balik Baterai Isi Ulang*. 25 Oktober 2008.
<http://netsains.com/2007/07/konduktor-superionik-teknologi-di-balik-baterai-isi-ulang/>
- Cellulose*. (n.d.). 22 Oktober 2008.
<http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/547cellulose.html>
- Chaplin, Martin. (1 Juli 2008). *Cellulose*. 20 Oktober 2008.
<http://www.lsbu.ac.uk/water/hycel.html>
- Chee Lip Chew, (2005), *Kajian Kekonduksian Ionik Terhadap Adunan Elektrolit Polimer PVC-Getah Asli Terepoksi dan PVDF-Getah Asli Terepoksi*, Thesis , Fakulti Sains. Universiti Teknologi Malaysia.
- David Linden.(1995). *Handbook of Batteries, 2nd Ed.*, New York : McGraw-Hill. 36.13-36.17.
- Djonaedi Saleh dan Kurniawan Budhy. (2007). *The Influence of Doping Iodine in Crystal Structure And Electrical Resistivity of Organic Semiconductor From Microbial Cellulosa Nata de Soya*. Depok : Physics Departemen, University of Indonesia .
- Djonaedi Saleh., Budhy Kurniawan , & Nurul Asni. (2007). *Electrical and Mechanical Characteristic From nata de soya by time of fermentation.*, Sym A, ICMAT 2007, Singapore.
- Djoenadi Saleh, Budhy Kurniawan, & Nurul Asni. (2008). *Selulosa Mikrobial Limbah Tahu untuk Semikonduktor*.
- Fast ion conductor*. (2009, January 20). March 16, 2009.
http://en.wikipedia.org/wiki/Fast_ion_conductor
- Gray, F.M. (1987). *Polymer Electrolyte Review*. London: Elsevier Applied Sciences. 139-172.
- Gunawan, Tjahja. (9 September 2004). *Maxentius Umbu, Penemu Selulosa Murni Bermutu Tinggi* . 22 Oktober 2008.
<http://www2.kompas.com/kompas-cetak/0409/09/naper/1257331.htm>

- Guntoro, Hanif. (n.d.). *Konduktor*. 31 Oktober 2008.
<http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/09/konduktor.html>
- Handayani ,I. P., Prawito , P. , & Bustamam. H. (1999). *Penanganan Air Limbah Tahu Melalui Pengembangan Model Usaha Industri Nata De Soya Di Kotamadya Bengkulu*. Vol. I, No. 10.
- Ilmuwan IPB Rancang Membran Ultrafiltrasi dari Selulose Asetat Mikrobial*. (n.d.). 25 Oktober 2008. <http://www.acehforum.or.id/ilmuwan-ipb-rancang-t3178.html>
- Kalium*. (27 Januari 2009). Lisensi Dokumentasi Bebas GNU. 31 Maret 2008.
<http://id.wikipedia.org/wiki/Kalium>
- Konduktivitas Listrik*. (31 Februari 2009). Lisensi Dokumentasi Bebas GNU. 31 Maret 2008. http://id.wikipedia.org/wiki/Konduktivitas_listrik
- Kristina Gelin, et al, (n.d.) .*Characterisation of water in Bacterial Cellulose using dielectric spectroscopy and electron microscopy*. Article in Press.
- Lee R. Lynd., et al, (2002), *Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology*, Microbiology and Molecular Biology, American Society for Microbiology, p. 506–577 Vol. 66, No. 3
- Leger, Janelle M. (2005). *Electrochemical Doping and the Optical Properties of Light-Emitting Polymer Materials and Devices*. Santa Cruz : University of California.
- Lestari, R.S.E., (1994). *Memasyarakatkan model usaha industri nata de soya dalam rangka perwujudan pengembangan agroindustri akrab lingkungan*. Pangan 20 (V): 60-64.
- MacGregor and Greenwood. (n.d.). *Polymer in Nature*, New York: John Wiley & Son, pp.283
- Patil, Satish., et al. (2006). *Dopant-Configurable Polymeric Materials for Electrically Switchable Devices*. Jurnal of Materials Chemistry. DOI: 10.1039/b605769a.
- Saharman Gea, Andriyani, & Sovia Lenny., (2005), *Pembuatan Elektroda Selektif- Ion Cu(II) dari Kitosan-Polietilen Oksida*, Studi Kimia, Fmipa Universitas Sumatera Utara
- Selulosa*¹. (n.d.). 20 Oktober 2008.
<http://www.hamline.edu/apakabar/basisdata/1994/10/07/0001.html>
- Selulosa*². (n.d.). 22 Oktober 2008.
<http://wapedia.mobi/id/Selulosa>

- Suryani et al., (2000). *Proses Produksi dan Pemurnian Selulosa Mikrobial untuk Membran Mikrofiltrasi* . No. reg/ID : ID 0 000 619 S. 20 Oktober 2008.
http://bima.ipb.ac.id/~haki/detail_invensi.php?kiri=&judul=44
- Sutrisno. (1986). *Elektronika: Teori Dasar dan Penerapannya, jilid 1*. Bandung : Penerbit ITB.
- Tim Puslitbang Indhan Balitbang Dephan. (n.d.). *Pemanfaatan Serat Rami Untuk Pembuatan Selulosa* . 22 Oktober 2008.
<http://buletinlitbang.dephan.go.id/index.asp?vnomor=18&mnorutisi=3>
- Wojciech Czaja, et al. (2005). *Microbial Cellulose-the natural power to heal wounds*. *Biomaterial* 27 (2006) 145-151.
- West, Anthony R. (1984). *Solid State Chemistry and Its Applications*. Aberdeen: John Wiley & Sons Ltd.
- Zamora, Antonio. (2005). *Carbohydrates - Chemical Structure*. 20 Oktober 2008.
<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>



Lampiran 1: Data Hasil Uji Konduktivitas Listrik dengan Tegangan DC

1. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 0%

tebal sampel = 1.56E-03 meter

Luas plat tembaga = 2.20707E-05 meter

No.	V (volt)	Vx(Volt)	Ix (Ampere)	σ (Ohm.meter) ⁻¹
1	0.05	0.05	6.80E-09	9.61274E-06
2	0.1	0.1	3.30E-09	2.3325E-06
3	0.2	0.2	5.00E-09	1.76705E-06
4	0.3	0.3	1.05E-08	2.47387E-06
5	0.4	0.4	1.75E-08	3.09233E-06
6	0.5	0.5	2.47E-08	3.49169E-06
7	0.6	0.6	3.15E-08	3.7108E-06
8	0.7	0.7	3.87E-08	3.9077E-06
9	0.8	0.8	4.59E-08	4.05537E-06
10	0.9	0.9	5.03E-08	3.95033E-06
11	1	1	6.04E-08	4.26919E-06
12	1.1	1.1	6.76E-08	4.34372E-06
13	1.2	1.2	7.51E-08	4.42351E-06
14	1.3	1.3	8.29E-08	4.50733E-06
15	1.4	1.4	9.12E-08	4.60442E-06
16	1.5	1.5	9.97E-08	4.69799E-06
17	1.6	1.6	1.08E-07	4.77103E-06
18	1.7	1.7	1.17E-07	4.86458E-06
19	1.8	1.8	1.25E-07	4.90847E-06
20	1.9	1.9	1.36E-07	5.05934E-06
21	2	2	1.48E-07	5.23046E-06

2. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 1%

tebal sampel = 7.90E-04 meter
Luas plat tembaga = 2.20707E-05 meter

No.	V (volt)	Vx(Volt)	Ix (Ampere)	σ (Ohm.meter) ⁻¹
1	0.05	0.05	5.88E-07	0.000420938
2	0.1	0.099	7.35E-07	0.000265744
3	0.2	0.199	4.98E-06	0.00089575
4	0.3	0.299	9.54E-06	0.001142057
5	0.4	0.4	3.15E-06	0.000281878
6	0.5	0.5	3.02E-06	0.000216196
7	0.6	0.6	3.79E-06	0.000226099
8	0.7	0.699	5.39E-06	0.000276008
9	0.8	0.799	7.46E-06	0.000334197
10	0.9	0.899	9.72E-06	0.000387006
11	1	0.999	1.21E-05	0.000433541
12	1.1	1.099	1.01E-05	0.000328953
13	1.2	1.199	1.12E-05	0.000334356
14	1.3	1.298	1.44E-05	0.000397099
15	1.4	1.398	1.99E-05	0.000509515
16	1.5	1.497	2.66E-05	0.00063602
17	1.6	1.597	3.06E-05	0.000685847
18	1.7	1.697	3.17E-05	0.000668633
19	1.8	1.796	3.67E-05	0.000731426
20	1.9	1.896	3.73E-05	0.000704176
21	2	1.995	5.39E-05	0.000967067

3. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 1.5 %

tebal sampel = 1.69E-03 meter

Luas plat tembaga = 2.20707E-05 meter

No.	V (volt)	Vx(Volt)	Ix (Ampere)	σ (Ohm.meter) ⁻¹
1	0.05	0.049	9.39E-06	0.014673706
2	0.1	0.099	6.82E-06	0.005274964
3	0.2	0.199	4.29E-06	0.001650724
4	0.3	0.298	1.90E-05	0.004882111
5	0.4	0.396	3.83E-05	0.007405833
6	0.5	0.495	4.86E-05	0.007517984
7	0.6	0.594	5.46E-05	0.007038442
8	0.7	0.695	4.01E-05	0.004418042
9	0.8	0.796	3.97E-05	0.003818983
10	0.9	0.895	4.88E-05	0.004175102
11	1	0.993	6.58E-05	0.005073959
12	1.1	1.094	5.88E-05	0.004115573
13	1.2	1.193	6.58E-05	0.004223337
14	1.3	1.292	7.60E-05	0.004504239
15	1.4	1.391	8.86E-05	0.004877271
16	1.5	1.49	1.00E-04	0.005139064
17	1.6	1.588	1.14E-04	0.005496986
18	1.7	1.687	1.19E-04	0.005401348
19	1.8	1.786	1.30E-04	0.005573554
20	1.9	1.885	1.49E-04	0.006052645
21	2	1.975	2.99E-04	0.011592428

4. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 2 %

tebal sampel = 1.83E-03 meter
Luas plat tembaga = 2.20707E-05 meter

No.	V (volt)	Vx(Volt)	Ix (Ampere)	σ (Ohm.meter) ⁻¹
1	0.05	0.049	1.31E-05	0.022167153
2	0.1	0.099	9.05E-06	0.007579631
3	0.2	0.2	2.69E-06	0.001115211
4	0.3	0.298	1.94E-05	0.005397842
5	0.4	0.396	3.50E-05	0.007328373
6	0.5	0.496	4.05E-05	0.006770302
7	0.6	0.598	1.41E-05	0.001955026
8	0.7	0.698	1.36E-05	0.001615542
9	0.8	0.798	1.75E-05	0.001818318
10	0.9	0.897	2.63E-05	0.002431073
11	1	0.996	3.87E-05	0.003221709
12	1.1	1.094	5.41E-05	0.004100291
13	1.2	1.193	6.77E-05	0.004705252
14	1.3	1.293	6.77E-05	0.00434135
15	1.4	1.392	7.57E-05	0.004509115
16	1.5	1.491	8.90E-05	0.004949337
17	1.6	1.589	1.06E-04	0.005531166
18	1.7	1.687	1.28E-04	0.006291143
19	1.8	1.784	1.59E-04	0.007389873
20	1.9	1.88	1.97E-04	0.008688465
21	2	1.975	2.62E-04	0.010999397

5. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 2.5 %

tebal sampel = 1.88E-03 meter
Luas plat tembaga = 2.20707E-05 meter

No.	V (volt)	Vx(Volt)	Ix (Ampere)	σ (Ohm.meter) ⁻¹
1	0.05	0.047	2.62E-05	0.047483737
2	0.1	0.098	2.07E-05	0.01799226
3	0.2	0.199	3.98E-06	0.001703615
4	0.3	0.297	2.82E-05	0.008087869
5	0.4	0.395	5.20E-05	0.011213668
6	0.5	0.493	7.17E-05	0.012388357
7	0.6	0.586	1.40E-04	0.02035035
8	0.7	0.683	1.68E-04	0.02095222
9	0.8	0.78	2.00E-04	0.021841218
10	0.9	0.877	2.35E-04	0.022824944
11	1	0.973	2.71E-04	0.023724546
12	1.1	1.069	3.12E-04	0.024860986
13	1.2	1.165	3.49E-04	0.025517667
14	1.3	1.262	3.80E-04	0.02564872
15	1.4	1.359	4.12E-04	0.025823745
16	1.5	1.468	3.16E-04	0.018335911
17	1.6	1.566	3.43E-04	0.018657086
18	1.7	1.663	3.65E-04	0.018695715
19	1.8	1.761	3.86E-04	0.018671079
20	1.9	1.859	4.15E-04	0.019015606
21	2	1.956	4.43E-04	0.019291959

Lampiran 2: Data Hasil Uji Konduktivitas Listrik dengan Tegangan AC

1. Selulosa Nata de Soya Tanpa Doping Kalium

Frekuensi (kHz)	Φ	C(pF)	Z(k Ω)
1000	-79.6	3.1	50.4
900	-79.2	3.11	55.7
800	-78.7	3.14	62
700	-78.3	3.2	69.6
600	-77.9	3.28	79.1
500	-77.2	3.28	94.75
400	-76.4	3.38	114.4
300	-75.6	3.52	146
200	-74.1	3.72	205.9
100	-71.4	4.18	360.6
90	-71	4.26	392.5
80	-70.6	4.35	431.6
70	-70.1	4.47	478.3
60	-69.6	4.61	539.8
50	-69	4.77	622.9
40	-68.3	5.01	737.6
30	-67.5	5.36	914
20	-66.4	5.92	1232
10	-64.9	7.05	2042
9	-64.6	7.25	2205
8	-64.4	7.46	2380
7	-64.2	7.7	2654
6	-63.9	8	2967
5	-63.5	8.4	3385
4	-63	8.9	3977
3	-62.4	9.6	4903
2	-61.1	10.8	6475
1	-56.5	12.5	10640
0.9	-55.9	12.8	11460
0.8	-54.8	13.1	12420
0.7	-53.5	13.5	13580
0.6	-51.8	13.9	14960
0.5	-49.6	14.5	16760
0.4	-46.5	15.1	19090
0.3	-42	15.97	22270
0.2	-35.4	17.21	26800
0.1	-24	19.85	33000
0.06	-20		58000
0.05	-15		70000

2. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 1 %

Frekuensi (kHz)	Φ	C(pF)	Z(k Ω)
1000	-52.4	5.78	21.62
900	-47.3	5.82	22.3
800	-43.9	5.89	23.42
700	-40.4	5.98	24.64
600	-36.8	6.14	25.86
500	-32.4	6.23	27.39
400	-28	6.47	28.89
300	-23.1	6.84	30.42
200	-17.6	7.53	31.99
100	-12	9.67	34.16
90	-11.3	10.33	33.68
80	-10.7	11.05	33.55
70	-10.2	12.02	33.5
60	-9.7	13.33	33.68
50	-9.2	15.14	33.94
40	-8.9	18.07	34.43
30	-8.7	22.94	35.2
20	-8.5	33.04	36.48
10	-8.8	69.72	39.45
9	-9.7	72.74	41.4
8	-10	82.96	42.24
7	-10.3	95.56	43.08
6	-10.6	111.5	44.12
5	-10.8	132.4	45.58
4	-11.1	163.4	47.13
3	-11.2	208.7	49.63
2	-11.5	295.3	53.53
1	-12	557	56.6
0.9	-10.7	619.7	53.01
0.8	-10.3	708.7	49.8
0.7	-10.1	841.3	47.77
0.6	-10	1017	45.77
0.5	-10.1	1297	43.06
0.4	-10.2	1700	41.1
0.3	-10.5	2420	39.86
0.2	-11	3913	39.04
0.1	-12	8372	38.3
0.06	-11.7	13920	37.86
0.05	-11.3	16330	37.82

3. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 1.5 %

Frekuensi (kHz)	Φ	C(pF)	Z(k Ω)
1000	-2.1	3.1	0.879
900	-2	3.11	0.882
800	-1.9	3.14	0.887
700	-1.8	3.2	0.89
600	-1.8	3.28	0.892
500	-1.7	3.28	0.8953
400	-1.7	3.38	0.8991
300	-1.7	3.52	0.9026
200	-1.8	3.72	0.9055
100	-2.4	4.18	0.9151
90	-2.4	4.26	0.9172
80	-2.5	4.35	0.92
70	-2.6	4.47	0.9231
60	-2.8	4.61	0.9273
50	-3	4.77	0.9327
40	-3.4	5.01	0.9385
30	-3.9	5.36	0.9467
20	-4.9	5.92	0.9623
10	-7.1	7.05	1.003
9	-7.6	7.25	1.022
8	-8	7.46	1.035
7	-8.3	7.7	1.048
6	-8.6	8	1.058
5	-8.9	8.4	1.07
4	-9.2	8.9	1.08
3	-9.5	9.6	1.094
2	-10	10.8	1.115
1	-10.7	12.5	1.155
0.9	10.6	12.8	1.157
0.8	-10.8	13.1	1.16
0.7	-10.8	13.5	1.167
0.6	-10.9	13.9	1.173
0.5	-11.1	14.5	1.183
0.4	-11.3	15.1	1.196
0.3	-11.7	15.97	1.212
0.2	-12.2	17.21	1.241
0.1	-12.8	19.85	1.286
0.06	-13.6		1.324
0.05	-13.6		1.328

4. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 2 %

Frekuensi (kHz)	Φ	C(pF)	Z(Ω)
1000	-2	3.1	529
900	-1.8	3.11	536
800	-1.9	3.14	540
700	-1.9	3.2	545
600	-2	3.28	550
500	-2	3.28	553.7
400	-2.1	3.38	558.1
300	-2.3	3.52	564.7
200	-2.7	3.72	570.9
100	-3.7	4.18	580.4
90	-3.5	4.26	582
80	-3.5	4.35	584.7
70	-3.5	4.47	587.8
60	-3.6	4.61	591.7
50	-3.9	4.77	596.2
40	-4.3	5.01	601.7
30	-5	5.36	609.7
20	-6.4	5.92	625.6
10	-8.6	7.05	655.5
9	-8.8	7.25	659.6
8	-9	7.46	664.4
7	-9.2	7.7	669.1
6	-9.5	8	673.4
5	-9.6	8.4	678
4	-9.8	8.9	682.2
3	-10.1	9.6	689.6
2	-10.5	10.8	699.5
1	-11.5	12.5	723.8
0.9	-11.8	12.8	725.1
0.8	-12	13.1	728.9
0.7	-11.8	13.5	726.6
0.6	-12.4	13.9	741.3
0.5	-12.4	14.5	750
0.4	-12.6	15.1	761.8
0.3	-12.9	15.97	776.6
0.2	-12.9	17.21	797.1
0.1	-13	19.85	828.4
0.06	-13.4		846
0.05	-13.1		851.4

5. Selulosa Nata de Soya dengan Doping Kalium 2.5 %

Frekuensi (kHz)	Φ	C(pF)	Z(Ω)	L (μ H)
1000	0.7		223.4	0.44
900	0.6		223.7	0.4
800	0.4		224.2	0.32
700	0.2		224.4	0.2
600	0		224.6	0
500	-0.2	4.82	225	
400	-0.4	14.47	225.5	
300	-0.8	34	226.1	
200	-1.3	84.98	226.9	
100	-2.6	317.9	229.2	
90	-2.9	393.7	230	
80	-3.3	491.1	231	
70	-3.7	635.7	232.3	
60	-4.3	845.9	234	
50	-5	1189	236	
40	-6.1	1780	239.6	
30	-7.7	2914	244.3	
20	-9.5	5286	249.7	
10	-10.7	11900	254	
9	-11.2	13620	251.3	
8	-11.4	15490	252.2	
7	-11.6	18000	253.8	
6	-11.8	21380	253.9	
5	-12.3	26000	256.2	
4	-12.6	33420	258.2	
3	-13.5	26700	262.6	
2	-14.6	72600	270.3	
1	-15	143300	283.6	
0.9	-14.7	158000	283.5	
0.8	-15	178400	286.3	
0.7	-15	203000	289	
0.6	-15.2	233200	292.5	
0.5	-15.3	280300	295.7	
0.4	-15.2	344800	298.8	
0.3	-15.1	452800	302.2	
0.2	-14.8	661000	305.3	
0.1	-14.9	1300000	313.2	
0.06	-14.6	2024000	323.1	
0.05	-14.7	2492000	323.5	