

**PENGUJIAN SIFAT LISTRIK SUPERKAPASITOR DARI
KERATIN-PVA DENGAN PENAMBAHAN LARUTAN
ELEKTROLIT**

SKRIPSI

Oleh:

SEPTIAN DWI HANANTA

NIM. 11640034



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

**PENGUJIAN SIFAT LISTRIK SUPERKAPASITOR DARI KERATIN-PVA
DENGAN PENAMBAHAN LARUTAN ELEKTROLIT**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
SEPTIAN DWI HANANTA
NIM. 11640034**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGUJIAN SIFAT LISTRIK SUPERKAPASITOR DARI KERATIN-PVA
DENGAN PENAMBAHAN LARUTAN ELEKTROLIT

SKRIPSI

Oleh:
SEPTIAN DWI HANANTA
NIM. 11640034

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal:

Pembimbing I

Pembimbing II

Erna Hastuti, M.Si
NIP.19811119 200801 2 009

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP.19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

PENGUJIAN SIFAT LISTRIK SUPERKAPASITOR DARI KERATIN-PVA DENGAN PENAMBAHAN LARUTAN ELEKTROLIT

SKRIPSI

Oleh:
SEPTIAN DWI HANANTA
NIM. 11640034

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal:

Penguji Utama	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Ketua Penguji	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
AnggotaPenguji:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : SEPTIAN DWI HANANTA
NIM : 11640034
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Pengujian Sifat Listrik Superkapasitor Dari Keratin-
PVA Dengan Penambahan Larutan Elektrolit

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 2015

Yang Membuat Pernyataan,

SEPTIAN DWI HANNATA
NIM. 11640034

MOTTO

“satu jam menatap kedepan, satu detik menengok kebelakang”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Allah SWT

Segala puji bagi Allah SWT, atas karuniaNya sehingga saya berada dalam keadaan yang sehat rizki yang cukup, serta kesempatan mencari ilmu. Semoga disetian langkahku hanya menuju satu tujuan yaitu Engkau dan semoga hamba - Mu ini selalu dijalan yang Lurus.

Rasulullah Muhammad SAW

Sholawat serta salam kepada nabi Muhammad SAW, beliau sebagai pembawa petunjuk menuju jalan yang benar serta jalan yang lurus.

Ku Persembahkan Karya Ini Kpd.

Ayah dan Ibuku

Bapak Mustaqim dan Ibu Kundarnik

*Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga ku persembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Ayah..
Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, dukungan, dan nasehat yang tiada terhingga, tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas ini Allah, jaga mereka, mudahkan segala urusan mereka, sehatkan mereka, dan bantu aku agar bisa selalu membuat mereka tersenyum..*

Kakakku,

Elivia Rulika Yanuari

*Terima kasih atas dukungan dan tawa yang kau berikan
Semoga Allah SWT selalu Melindungimu, menjadikanmu anak yang sholehah kebanggaan keluarga..*

Bapak Ibu guru dan Dosen-dosen

*Yang telah memberikanku ilmu dan pengalaman yang sangat berharga
Khususnya Bunda Erna Hastuti, M.Si dan Bapak Brs. Abdul Basid, M.Si (Dosen Pembimbingku), terimakasih tiada terhingga atas bimbingan dan ketelatenan bapak dan ibu..
Sosok lain yang sangat menginspirasi, Bpk Irjan, M.Si, Bpk Agus Mulyono, M.Pd M.Kes, Ibu Erika, M.Si, Bpk Ahmad Abtokhi, Mpd, Bpk Farid Samsu Hananto, M.T, Drs. Bpk Abdul Basyit, M.Si, dan Bpk Tirono, M.Si dll. yang tidak bisa saya sebutkan.
Semoga ilmu beliau selalu barokah..*

Sahabat dan teman-teman Fisika angkatan 2011

*Terima kasih atas waktu yang kalian berikan untuk berbagi rasa, cinta dan cerita, hingga aku lupa waktu 4 tahun yang sangat berharga segera berlalu..
misbah, Sifa', kakang Rahmad, cak Ulin, iin, mbah Aziz dukun, yusro, galih, atok, nasir, aji, aziz A, bahar, icha, irfan, mida, warda, nita,
dan semuanya yang tidak bisa ku sebutkan satu persatu..
Semoga silaturahmi kita tetap terjalin, dan Allah senantiasa memudahkan urusan kita..*

MSC (Material Science Community)

*Selamat kepada Linda, ita, dan Layly yang telah lulus terlebih dahulu.
Terimakasih atas kerjasama, dukungan dan kebersamaan yang takkan terlupakan
4 penghuni sisa, , saya, Faiz, Alma, fuah, serta adik-adik tingkat
Semoga Allah selalu membimbing kita menuju muara terindah di akhirat kelak.*

Kos Ma'Yus

*Terimakasih buat teman-teman yang sing paling sangar, Adhion, Hydar, Aziz, Nasih,
Semoga silaturahmi kita tetap terjaga, dan Allah memudahkan urusan kita semua
Ibuk kos yang baik, semoga selalu dilindungi Allah..*

Terakhir,

*Untuk seseorang yang masih dalam misteri yang dijanjikan Ilahi,
siapa pun itu, terimakasih telah menjadi baik dan bertahan di sana.*

*Semoga skripsi ini membawa manfaat. Jika kisah hidupku bisa kuceritakan di atas
kertas, entah berapa banyak kertas yang kubutuhkan hanya untuk ucapkan terima kasih...*

^^

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta pengikutnya. Atas Ridho Dan Kehendak Allah SWT. Penulis Dapat Menyelesaikan Skripsi Yang Berjudul **Pengujian Sifat Listrik Superkapasitor Dari Keratin-PVA Dengan Penambahan Larutan Elektrolit** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

4. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Qur'an.
6. Segenap Dosen Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan selama perkuliahan.
7. Kedua orang tua dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadi inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang,

2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Superkapasitor	7
2.2 Membran Elektrolit	9
2.3 Material Elektroda Superkapasitor.....	10
2.4 Kelebihan Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi	13
2.5 Polimer Elektrolit Berbahan Dasar PVA	15
2.6 Keratin.....	17
2.7 Asam Fosfat (H_2SO_4)	19
2.8 <i>Redox Pair</i>	19
2.9 FTIR	21
2.10 Analisis Sifat Listrik.....	23
2.10.1 Analisa Impedansi	23
2.10.2 Permittivitas	25
2.11 Uji kemampuan Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi	29
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Jenis Penelitian	31
3.2 Waktudan Tempat Penelitian	31
3.3 Bahan dan Alat	31
3.4 Diagram Alir Penelitian	33
3.4.1 Diagram Pembuatan KI/I ₂	33
3.4.2 Diagram Pembuatan Membran Kitosan	33
3.4.3 Diagram Pembuatan Superkapasitor.....	34
3.5 Langkah Penelitian	37
3.5.1 Pembuatan Larutan KI/I ₂	37
3.5.2 Pembuatan Membran Kitosan.....	37
3.5.3 Pembuatan Elektroda Superkapasitor	38

3.5.4	Pembuatan Superkapasitor.....	38
3.6	Karakterisasi.....	38
3.6.2	Uji Gugus Fungsi.....	38
3.6.3	Uji Sifat Listrik.....	39
3.6.4	Uji uperkapasitor Sebagai Simpanan Energi	39
3.7	Data Hasil Penelitian	40
3.8	Teknik Analisa Data.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Data Hasil Pembahasan	41
4.1.1	Pembuatan Superkapasitor.....	41
4.1.2	Gugus Fungsi Bahan.....	42
4.1.3	Sifat Listrik Superkapasitor	44
4.1.4	Performa Superkapasitor	54
4.2	Pembahasan	55
BAB V PENUTUP.....		61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi superkapasitor.....	7
Gambar 2.2	Proses charging-discharging pada superkapasitor	15
Gambar 2.3	Struktur keratin.....	19
Gambar 2.4	proses transfer difusi <i>redox pair</i>	21
Gambar 2.6	Plot impedansi kompleks	25
Gambar 2.6	Sirkuit Randels	25
Gambar 2.7	Grafik hubungan frekuensi dengan permitivitas real dan imajiner	28
Gambar 2.8	Mekanisme polarisasi bahan dielektrik.....	28
Gambar 2.9	Sirkuit Debye	30
Gambar 2.10	Model permitivitas kompleks.....	30
Gambar 4.1	Spektrum gugus fungsi keratin-PVA-KI/I ₂	44
Gambar 4.2	Pengaruh frekuensi terhadap impedansi riil	46
Gambar 4.3	Pengaruh frekuensi terhadap impedansi imajiner	47
Gambar 4.4	Pengaruh frekuensi terhadap permitivitas riil	50
Gambar 4.5	Pengaruh frekuensi terhadap permitivitas imajiner.....	51
Gambar 4.6	Hubungan permitivitas riil dengan permitivitas imajiner.....	52
Gambar 4.7	Pengaruh frekuensi terhadap konduktivitas superkapasitor	53
Gambar 4.8	Pengaruh frekuensi terhadap kapasitansi superkapasitor	54
Gambar 4.9	Proses <i>Charge-discharge</i> sampel KP.....	55
Gambar 4.10	Proses <i>Charge-discharge</i> sampel S.....	56
Gambar 4.11	Proses <i>Charge-discharge</i> sampel S-H	56
Gambar 4.12	Proses <i>Charge-discharge</i> sampel S-K	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data keluaran RCL meter	30
Tabel 4.1	Kode sampel dengan perbedaan variasi bahan yang digunakan.....	42
Tabel 4.2	Gugus fungsi sampel S-K	43
Tabel 4.3	Performa superkapasitor	54



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan konsentrasi larutan elektolit
Lampiran 2	Perhitungan konduktivitas sampel
Lampiran 3	Perhitungan impedansi riil dan impedansi imajiner
Lampiran 4	Perhitungan permitivitas riil dan imajiner
Lampiran 5	Perhitungan <i>energy density</i> dan <i>power density</i>
Lampiran 6	Data hasil perhitungan sampel



مستخلص البحث

سوفتيان ديوي هانانتي، مكثفة عالية مصنوعة من "كيتوسان-PVA مع إضافة حلا "الوكتروليت"، 2015م، البحث الجامعي، قسم فيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المشرفة الأولى: ارني هاستوتي الماجستير، والمشرف الثاني: عبد البسيط الماجستير.

الكلمات الأساسية: مكثفة عالية، $KI/I_2, H_3PO_4$ ، كثافة الطاقة، موسعة

أن مكثفة عالية هي أحد من تخزين الطاقة البديلة وهذه مكثفة عالية تحفظ وتوزع طاقات كثيرة من بطارية. وأما لإرتفاع موسعة مكثفة عالية تعمل بإعطاء فصلا بين التهم المختلفة ويكبر مساحة من المسام "الوكترودي". وفي هذا البحث صنع مكثفة عالية مع "الوكترودي كوراتين-PVA، كوراتين - H_3PO_4 PVA و" كوراتين KI/I_2 مع الغشاء الفاصل "كيتوسان-PVA " لمعرفة مجموعة وظيفية و خصائص من الكهربياء. وأما النتائج من الإختبار FTIR تدل علة تزديد مجموعة وظيفية O-H و C-X على إعطاء عينات KI/I_2 وتدل على اهتزازات الذرية 1. وأما في تزديد حلا "الوكتروليت" لترقية الموصلية، السماحية، مقاومة مكثفة عالية. وأما في العينة العالية التي تملكها بتزديد حلا H_3PO_4 بقيمة $4,7 \times 10^{-8}$ F. وأما في الإرتفاع خصائص من الكهربياء على مكثفة عالية بتزديد حلا H_3PO_4 التي تسبب ايون H_3 و po_4^{3-} التي تسهم تهمة مجانا. وأما في الإرتقاء العينات بتزديد KI/I_2 التي تسبب تهمة مجانا من ايون KI و i_2 وهجرة ايونات. وافضل في أداء واردة في مكثفة عالية كوراتين-PVA بتزديد KI/I_2 كثافة الطاقة حوالي $3,2 J KG^{-1}$ و كثافة الطاقة حوالي $800 J KG^{-1}$.

ABSTRAK

Hananta, Septian Dwi. 2015. **Superkapasitor Berbahan Dari Kitosan-PVA Dengan Penambahan Larutan Elektrolit**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Kata Kunci : Superkapasitor, KI/I₂, H₃PO₄, *energy density*, *power density*, dan kapasitansi.

Superkapasitor merupakan salah satu alternatif penyimpan energi. Superkapasitor dapat menyimpan dan mendistribusikan energi lebih baik dibandingkan baterai. Peningkatan kapasitansi superkapasitor dapat dilakukan dengan memberikan pemisah antara dua muatan yang berbeda dan memperbesar luas permukaan pori-pori elektroda. Pada penelitian ini dibuat superkapasitor dengan elektroda keratin-PVA, keratin-PVA-H₃PO₄ dan keratin-PVA-KI/I₂ dengan separator membran kitosan-PVA, untuk mengetahui gugus fungsi dan sifat listriknya. Hasil uji FTIR menunjukkan penambahan gugus fungsi O-H dan C-X pada sampel yang diberi KI/I₂. Penambahan larutan elektrolit dapat meningkatkan konduktifitas, permitivitas, dan impedansi superkapasitor. Peningkatan sifat listrik pada superkapasitor dengan penambahan H₃PO₄ disebabkan karena adanya ion 3H⁺ dan PO₄³⁻ yang memberikan sumbangan muatan bebas. Sedangkan peningkatan sampel dengan penambahan KI/I₂ disebabkan karena sumbangan muatan bebas dari ion KI⁺ dan I₂⁻, serta migrasi ion tersebut. Performa terbaik terdapat pada superkapasitor keratin-PVA dengan penambahan KI/I₂, dengan *energy density* sebesar 3,2 J kg⁻¹ dan *power density* 800 J kg⁻¹ s⁻¹, dan kapasitansi 3,7 10⁻⁸ F.

ABSTRACT

Hananta, Septian Dwi. 2015. Electrical Properties **Supercapacitor Based Kitosan-PVA With Additoinal Elektrolyte**. Thesis. Departement Of Physics, Faculty Sains And Technology, Islamic State University Maulana Malik Ibrahim Malang.
Lecturer: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Keyword : Supercapasitor, KI/I₂, H₃PO₄, energy density, power density, and capacitance.

Supercapacitor is once of alternative energy storage. Supercapacitor can inside and distribute energy more than battery. Increasing of capaciatance supercapacitor can be done by providing a separator between two different charge and the surface area of the electrode pores. In this study, supercapacitors were made from electrodes keratin-PVA, keratin-PVA-H₃PO₄ and keratin-PVA-KI/I₂ with kitosan-PVA membrane as sparator, to determine the functional group and its electrical properties. FTIR results showed the addition of functional groups O-H and C-X on samples were given KI/I₂. Additional elektrolyte can be increase conductivity, permitivity, and impedance of supercapacitor. Incease electrical properties of supercapacitor with additional electrolite (H₃PO₄) reasoned free charges given by ion 3H⁺ dan PO₄³⁻. Incease electrical properties of supercapacitor with additional redox pair (KI/I₂) reasoned free charges by ion KI⁺ dan I₂⁻, and ion migration. The best perform of supercapacitor keratin-PVA is andded KI/I₂, with *energy density* 3,2 J kg⁻¹ and *power density* 800 J kg⁻¹ s⁻¹, and capacitance 3,7 10⁻⁸ F.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan komponen penting dalam kehidupan manusia. Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh energi terbarukan adalah penyimpanan. Tanpa penyimpanan asupan listrik tidak stabil, oleh karena itu dibutuhkan *storage device* yang *reliable*.

Salah satu *storage device* yaitu baterai, sering dipakai baik untuk mobil, laptop, kamera, maupun ponsel menggunakan reaksi kimia yang disimpan dan disalurkan dalam bentuk muatan listrik. Ada beberapa kelemahan pada baterai yang kerap gunakan saat ini, termasuk berat, panas, kadar racun dan lamanya proses *charging*. Hal-hal ini mendorong para ilmuwan dan ahli teknologi untuk mengembangkan superkapasitor, suatu sistem yang juga menggunakan reaksi elektrokimia, namun mempunyai kapasitas muatan yang tinggi.

Superkapasitor sebagai alat penyimpan energi telah digunakan secara luas dibidang elektronik dan transportasi. Superkapasitor memiliki banyak kelebihan dibanding dengan alat penyimpan energi yang lain seperti baterai. Dari sisi teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif banyak (>100000 siklus), kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah (Ariyanto et al, 2012). Superkapasitor juga memiliki rapat daya dan kapasitas penyimpanan muatan yang besar, proses pengisian-pengosongan muatan yang cepat dan tahan lama (M. Rosi,

2012). Kemampuan rapat energi yang besar pada superkapasitor disebabkan oleh luas permukaan yang besar dari material elektroda. Kapasitansi bergantung pada akses ion mengisi pori-pori internal sehingga ukuran ion dan ukuran pori harus optimal.

Superkapasitor dengan elektroda karbon aktif dan menggunakan sparator PVA ditambah LiOH memiliki nilai kapasitansi 66 pF (M. Rosi, 2009). Hasil penelitian Mezar Riskia (2015), superkapasitor dengan elektoda keratin-PVA dengan separator keratin-PVA ditambah KI/I₂ memiliki nilai kapasitansi 269 pF. Sedangkan superkapasitor dengan elektoda keratin-PVA ditambah H₃PO₄, dengan sparator membran nafion memiliki nilai kapasiansi 6×10^{-8} F (Hastuti, 2015). Keratin kaya akan residu sistin yang dapat memberikan jembatan disulfida diantara rantai polipeptida yang berdekatan (Lehninger, 1995), hal ini diharapkan dapat mengikat ion-ion bebas dan membuat superkapasitor mempunyai nilai kapasitansi yang baik.

Keratin banyak terdapat pada rambut, tanduk, kuku, bulu, dan semua produk epidermis. Pada tepung bulu unggas terdapat sekitar 85-90 % dari kandungan proteinnya. Keratin mempunyai banyak residu sistin yang dapat memberikan jembatan disulfida diantara rantai polipeptida yang berdekatan, harapannya residu sistin ini mengikat elektron dengan baik sehingga superkapasitor yang dibuat memiliki nilai kapasitansi yang baik. Q.S An Nahl,16:5 menjelaskan pada kita semua bahwa Allah SWT menciptakan berbagai hewan ternak untuk diambil manfaatnya:

وَالْأَنْعَمَ خَلَقَهَا لَكُمْ فِيهَا دِفْءٌ وَمَنْفَعٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿٥﴾

“Dan Dia telah menciptakan binatang ternak untuk kamu; padanya ada (bulu) yang menghangatkan dan berbagai-bagai manfaat, dan sebahagiannya kamu makan”(Q.S An Nahl,16:5).

Menurut Allamah Kamal dalam tafsir Nurul Qur'an (2005) disebutkan bahwa banyak manfaat yang diberikan binatang untuk manusia. Daging dan susunya dapat dijadikan makanan dan minuman. Kulit dan bulunya dapat dijadikan sepatu dan pakaian. Punggungnya dapat dimuati barang dan dapat juga sebagai tumpangan, kakinya dijadikan alat untuk menanam tumbuh-tumbuhan, dan bahkan kotorannya dapat digunakan sebagai pupuk. Lebih lagi dengan semua manfaat tersebut, binatang-binatang sedikit sekali menyusahkan manusia.

Material yang dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor adalah polimer konduktif (Zhou, 2012). Polimer elektrolit mempunyai banyak ion bebas sehingga membuat bahan ini bersifat konduktif (Gedam S.K. *at al*, 2013). Polimer elektrolit dapat diklasifikasikan sebagai sistem dua fasa yang terdiri dari konduktor ionik dalam matriks polimer. Konduktor ionik bisa didapat dari proton (H^+) dan lithium (Li^+) berbasis elektrolit. Matriks polimer berupa *poly (propylene)*, *Poli (vinylidene difluoride)*, *poly (tetrafluoroethylene)*, *poly (ethylene oxide)* (PEO), *polyaniline* (PANI), *poly (methyl methacrylate)* (PMMA), *Poly (Vinylalcohol)* (PVA), yang tentunya juga dihasilkan sifat mekanik yang baik dari polimer elektrolit. Pada penelitian ini akan digunakan PVA sebagai bahan dasar pembuatan polimer elektrolit.

PVA (polivinil alkohol) merupakan polimer yang larut dalam air, tidak toksik, non karsinogenik, memiliki ketercampuran hayati yang baik dan memiliki

sifat fisik yang elastis (Simanjuntak, 2008), dengan begitu PVA menjadi pilihan yang baik sebagai *storage device* yang awet dan ramah lingkungan. PVA memiliki sifat tidak beracun, kuat dielektrik tinggi, kapasitas penyimpanan muatan yang baik dan stabil secara ikatan kimia, serta harga yang murah. PVA juga memiliki sifat material semi-kristalin yakni memperlihatkan sifat kristal-amorf. Kombinasi PVA dengan asam atau garam akan meningkatkan proton konduktivitas membran PVA (Gedam S.K. *et al*, 2013). Berdasarkan sifat listriknya PVA adalah isolator dengan resistivitas yang tinggi, namun dengan mengkombinasikan polimer PVA dengan beberapa larutan asam atau garam seperti *phosphoric acid* (H_3PO_4), *hypophosphorus acid* (H_3PO_2), *heteropolyacid* (HPA), *dipotassium phosphate* (K_2HPO_4) dan *sulphosuccinic acid* (SSA) dapat meningkatkan konduktivitas polimer PVA, larutan elektrolit yang akan kami gunakan adalah H_3PO_4 dan KI/I_2 .

Separator berfungsi sebagai pemisah antara kedua elektroda untuk mencegah kontak langsung akibat hubungan arus pendek. Separator diharuskan memiliki bentuk yang tipis serta berpori yang nantinya digunakan sebagai pergerakan ion elektrolit sehingga dapat menurunkan nilai resistansi dan meningkatkan konduktivitas (Yin, 2010). Membran kitosan-PVA-karbon aktif pada frekuensi 100 KHz mempunyai sifat konduktivitas listrik sebesar 0,97 S/cm (Istiana, 2015). Nilai konduktivitas ini tergolong baik mengingat nilai konduktivitas membran nafion pada frekuensi yang sama mempunyai nilai 0.08 S/cm. Sehingga Membran kitosan-PVA-karbon aktif dapat digunakan sebagai pengganti membran nafion yang mempunyai harga lebih tinggi.

Pada penelitian ini akan dibuat superkapasitor menggunakan membran kitosan-PVA-karbon aktif sebagai sparator superkapasitor, dan komposit PVA-keratin divariasikan dengan larutan elektrolit (H_3PO_4 dan KI/I_2) sebagai elektroda. Larutan elektrolit diharapkan dapat meningkatkan kapasitansi dengan memberikan sumbangan elektron bebas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana gugus fungsi komposit keratin-PVA setelah dicampur dengan larutan elektrolit?
2. Bagaimana sifat listrik (konduktivitas, Impedansi dan permitivitas) komposit keratin-PVA dan keratin-PVA dengan penambahan larutan elektrolit sebagai elektroda superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui gugus fungsi komposit keratin-PVA setelah dicampur dengan larutan elektrolit.
2. Untuk mengetahui sifat listrik (konduktivitas, Impedansi dan permitivitas) komposit keratin-PVA dan keratin-PVA dengan penambahan larutan elektrolit sebagai superkapasitor.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Memberi pengetahuan tentang media penyimpanan energi pengganti baterai yakni superkapasitor.
2. Memanfaatkan limbah bulu unggas menjadi bahan yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi.
3. Memberi kontribusi yang baik dalam perkembangan ilmu pengetahuan Indonesia khususnya.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

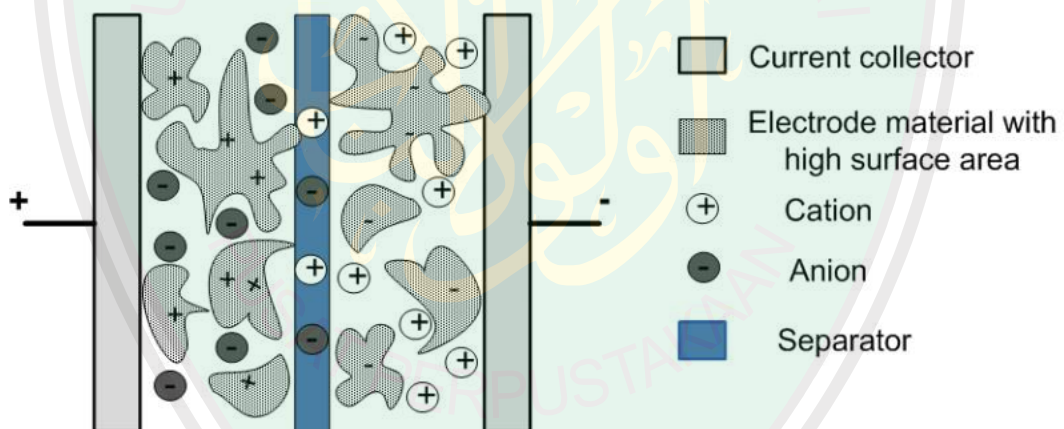
1. Polimer elektrolit berbahan dasar PVA.
2. Larutan elektrolit berupa KI/I₂ dan H₃PO₄.
3. Keratin diambil dari hasil pirolisis bulu unggas.
4. Karakterisasi listrik menggunakan LCR meter dan uji *Charge-Discharge*, gugus fungsi komposit keratin-PVA dengan penambahan larutan elektrolit diuji dengan FTIR.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Superkapasitor

Superkapasitor merupakan salah satu devais penyimpanan energi yang memanfaatkan material elektroda dengan luas permukaan yang besar. Luas permukaan yang besar diperlukan sebagai tempat penyimpanan muatan yang berupa ion-ion elektrolit. Kontruksi superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan dengan separator semi permeabel yang memungkinkan pergerakan ion-ion elektrolit diantara kedua permukaan elektroda (Pandolfo *et al*, 2006).



Gambar 2.1 Kontruksi superkapasitor (Zhou, 2012).

Gambar 2.1 menunjukkan superkapasitor tersusun dari dua kolektor arus, material elektroda dengan luas permukaan yang besar, membran *semi-permeable*, dan cairan elektrolit. Separator berada di antara elektroda positif dan negatif, yang menjaga hubungan listrik. Ketika proses pengisian, kedua elektroda diisi dengan pengisian yang berbeda secara berurutan. Sebagai contoh, pengisian positif dikumpulkan dalam elektroda positif. Juga tidak ada transfer muatan antara

elektroda dan elektrolit. Ketika diberi medan luar, ion pada larutan elektrolit akan berdifusi kemudian terkumpul pada permukaan elektroda. Dikarena tidak adanya transfer muatan antara ion dengan elektroda, maka simpanan muatan superkapasitor sangat *reversible*, usia pemakaian yang stabil hingga 10^6 siklus. Untuk perbandingan, baterai elektrokimia hanya mendekati 10^3 siklus (Zhou, 2012).

Proses pengosongan (*discharge*) superkapasitor dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jarak antara kedua elektroda dan luas permukaan elektroda. Luas permukaan elektroda serta tipisnya membran elektrolit membuat kapasitor ini memiliki nilai kapasitansi yang tinggi (Santiago *et al*):

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{D} \quad 2.1$$

Dimana ϵ_r adalah konstanta dielektrik material antara elektroda, D adalah jarak antara kedua elektroda dan A adalah luas permukaan elektroda.

Simpanan energi pada superkapasitor dapat dituliskan dengan persamaan:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \quad 2.2$$

Dimana V(volt) adalah tegangan yang diberikan.

Persamaan lain dari performa superkapasitor adalah kemampuan menyimpan dan melepaskan energi, daya P(watt) dari superkapasitor dituliskan dengan persamaan:

$$P = \frac{U^2}{4.Rs} \quad 2.3$$

Dimana $R_s(\text{ohm})$ adalah hambatan dalam superkapasitor.

Persamaan 2.2 dan 2.3 memperlihatkan bahwa performa superkapasitor (energi dan daya) sangat berhubungan dengan *operating voltage* dan *internal resistance* (R_s) superkapasitor. Kedua faktor tersebut berhubungan erat dengan konduktivitas dan *voltage range* dari elektrolit (Santiago *et al*).

2.2 Membran Elektrolit

Membran elektrolit adalah material pertukaran ion yang pada umumnya terdiri dari polimer dimana kelompok asam sulfat diperoleh melalui proses sulfonasi. Molekul asam diperoleh dari polimer yang tidak dapat keluar, sementara proton dari kelompok asam ini dapat bebas berpindah melalui membran. Kelompok sulfat yang diikat dapat menahan air yang relatif tinggi karena meningkatnya kapasitas *antifouling* dan menguntungkan membran hidrodinamik, yang juga merupakan mekanisme penting pada konduksi proton (Robertson *et al*, 2003).

Membran polimer elektrolit berfungsi sebagai insulator antara katoda dan anoda, penghantar proton (H^+) dengan arah dari anoda menuju katoda dan tempat menempelnya katalis pada anoda dan katoda. Berdasarkan fungsinya maka kriteria dari membran elektrolit adalah (Neburchilov *et al*, 2007):

- a. Kestabilan kimia dan elektrokimia dibawah kondisi *Fuel Cell* dan selama konstruksi perakitan elektroda membran.
- b. Kestabilan mekanik, walaupun lapisan tipis setebal 50 μm .
- c. Bersifat asam.
- d. Konduktor proton yang baik ($> 0.08 \text{ S/cm}$).

e. Permeabilitas metanol rendah ($<5.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ pada suhu kamar).

f. Dapat mengabsorb air.

Membran yang biasa digunakan adalah membran nafion. Salah satu membran alternatif pengganti nafion adalah membran kitosan yang penukarannya pada kondisi basah (kaya akan air). Transfer proton pada membran kitosan melibatkan transfer proton pada air dan interaksi antara proton tersebut dengan gugus amina pada membran kitosan. Adanya gugus amina membantu terjadinya transfer proton (Shahidi, 1999).

Konduktivitas proton pada membran ditentukan oleh ketebalan, resistansi dan luas permukaan (A Liong, 2009).

$$\sigma = \frac{d}{AR} \quad 2.4$$

2.3 Material Elektroda Superkapasitor

Material elektroda superkapasitor diharuskan memiliki sifat kimia maupun sifat fisik yang memiliki kombinasi yang unik (Pandolfo, 2006), sebagai berikut:

- a) Nilai konduktivitas tinggi,
- b) Luas permukaan tinggi (~ 1 hingga $>2000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$),
- c) Tahan korosi,
- d) Stabil pada temperatur tinggi,
- e) Struktur pori yang dapat dikontrol,
- f) *Low cost*.

Karena nantinya sifat inilah yang akan mempengaruhi nilai *internal resistance* (R_s) dari superkapasitor itu sendiri. Nilai *internal resistance* (R_s) akan mempengaruhi kemampuan superkapasitor sebagai simpanan energi

yakni *power density*. Selain resistansi dari material elektroda, *internal resistance* (R_s) pada superkapasitor juga dipengaruhi oleh (Pandolfo, 2006):

- a) Resistansi antara elektroda dan *current collector*,
- b) Resistansi pergerakan atau difusi ion pada pori elektroda,
- c) Resistansi pergerakan ion pada separator,
- d) Resistansi larutan elektrolit.

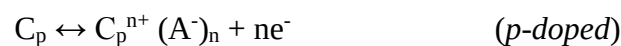
Material yang digunakan sebagai elektroda superkapasitor tipe EDLCs, *pseudocapacitor*, maupun *hybrid capacitor* adalah sebagai berikut (Zhou, 2012):

1. Elektroda Karbon

Material yang banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor adalah elektroda karbon. Beberapa alasan menggunakan elektroda karbon (Yin, 2010), 1) murah, 2) luas permukaan tinggi, 3) daya serap tinggi, 4) nilai porositas mudah dikontrol, 5) ramah lingkungan, serta 6) mudah dibuat. Karbon secara luas banyak digunakan sebagai material elektroda superkapasitor tipe EDLCs (Zhou, 2012). Seperti, karbon black, karbon fiber, karbon nanostruktur (CNT).

2. Elektroda Polimer

Selain elektroda karbon, material yang dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor adalah polimer konduktif. Elektroda polimer maupun elektroda metal oksida digunakan pada superkapasitor tipe *pseudocapacitor*. Nilai konduktivitas yang tinggi memungkinkan terjadinya proses *charge-discharge* serta doping-dedoping yang cepat. Secara sederhana mekanisme *charge-discharge* dari *p-doped* dan *n-doped* polimer konduktif adalah sebagai berikut:





Dimana C_p adalah polimer konduktif, A^- adalah anion, dan C^+ adalah kation.

3. Elektroda Metal oxides

Oksida metal yang biasa digunakan sebagai elektroda superkapasitor adalah RuO_2 , IrO_2 , serta beberapa oksida lainnya seperti Co_3O_4 , MoO_3 , WO_3 (Conway, 1999). Penggunaan elektroda aktif RuO_2 memiliki beberapa keuntungan, 1) range potensial yang luas, 2) reversibilitas reaksi redoks yang tinggi, 3) meningkatkan nilai kapasitansi spesifik, usia pemakaian lama, serta 4) nilai konduktivitas yang tinggi.

4. Elektroda Komposit

Saat ini, elektroda yang banyak diteliti dan dikembangkan adalah material komposit elektroda, elektroda komposit biasanya digunakan pada superkapasitor tipe *hybrid capacitor*. Komposit elektroda merupakan elektroda yang dibentuk dari hasil pencampuran komposisi yang tepat antara oksida metal, polimer konduktif, serta karbon aktif ataupun karbon nanotube.

Material komposit memiliki keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan material yang lain seperti logam dan polimer sehingga banyak dimanfaatkan sampai saat ini.

Al-Quran surat Al-Kahfi (18): 95-96 telah menjelaskan manfaat komposit

قَالَ مَا مَكَّنِّي فِيهِ رَبِّي خَيْرٌ فَأَعِينُونِي بِقُوَّةٍ أَجْعَلْ بَيْنَكُمْ وَبَيْنَهُمْ رَدْمًا ۚ ءَاتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ ۖ حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ أَنْفُخُوا ۖ حَتَّىٰ إِذَا جَعَلَهُ نَارًا قَالَ ءَاتُونِي أُفْرِغْ عَلَيْهِ قِطْرًا ۚ

"Dzulkarnain berkata: "Apa yang telah dikuasakan oleh Tuhanku kepadaku terhadapnya adalah lebih baik, Maka tolonglah aku dengan kekuatan (manusia dan alat-alat), agar aku membuatkan dinding antara kamu dan mereka (95).Berilah aku potongan-potongan besi".hingga apabila besi itu telah sama rata dengan kedua (puncak) gunung itu, berkatalah Dzulkarnain: "Tiuplah (api itu)". hingga apabila besi itu sudah menjadi (merah seperti) api, diapun berkata: "Berilah aku tembaga (yang mendidih) agar aku kutuangkan ke atas besi panas itu" (96)"(Q.S Al-Kahfi (18): 95-96).

Q.S Al-Kahfi (18): 95-96 di atas tersirat bahwa, ketika Zulkarnain membuat sebuah dinding pemisah, beliau tidak cukup dengan menggunakan material logam berupa besi saja, tetapi dengan menggabungkan besi tersebut dengan bahan lain berupa tembaga agar dinding tersebut lebih tangguh dan kuat.

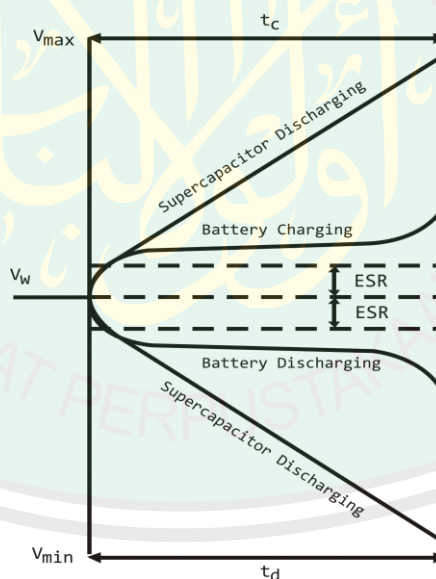
Lewat penuturan Zulkarnain tersebut, kita ketahui bahwa material terkuat sampai akhir zaman berasal dari minimal dua zat/bahan yang berbeda yang diolah sedemikian rupa sehingga saling memperkuat sifat bahan yang satu dengan lainnya. Dalam bahasa modernnya ini dikenal sebagai material komposit.

2.4 Kelebihan Superkapasitor sebagai Penyimpan Energi

Superkapasitor memberikan solusi terbaru dibidang piranti penyimpanan energi. Terdapat dua parameter dasar yang sangat penting dalam hal penyimpanan energi yaitu *energy density* dan *power density*. *Energ density* menyatakan jumlah energi yang dapat disimpan tiap satuan volum atau berat. Sedangkan *power density* menyatakan cara energi ini dapat disimpan ke alat. Baterai, kapasitor konvensional dan superkapasitor memiliki tingkat *energy density* dan *power density* yang berbeda. Baterai memiliki *energy density* yang tinggi namun *power density* rendah. Sebaliknya kapasitor konvensional memiliki *energy density* rendah tetapi *power density* tinggi. Superkapasitor dapat mengkompromikan

antara baterai dan kapasitor konvensional meskipun *energy density* superkapasitor masih dibawah baterai (Yudi Miswar dkk, 2010).

Superkapasitor memiliki keunggulan dibanding dengan baterai, keunggulan tersebut diantaranya adalah, usia pemakaian (*life-cycle*) yang lebih panjang, impedansi yang rendah, waktu *charge* dan *discharge* yang cepat, dan memiliki *rating charge* dan *discharge* yang tinggi. Namun, superkapasitor juga memiliki kekurangan, superkapasitor memiliki tegangan yang rendah dibanding baterai, proses *discharge* yang cepat dan memerlukan kontrol elektronik yang rumit. Gambar 2.2 menunjukkan grafik perbandingan proses *charging-discharging* pada superkapasitor dan baterai (Shukla et al, 2000).



Gambar 2.2 Proses *Charging-Discharging* pada superkapasitor dan baterai (Shukla et al, 2000).

Gambar 2.2 memperlihatkan perbedaan antara proses *Charging-Discharging* pada baterai dan superkapasitor, superkapasitor memiliki proses yang linier, sedangkan pada baterai tidak. Lamanya waktu *back-up* dari superkapasitor dapat dihitung menggunakan persamaan layaknya kapasitor

elektrolit konvensional, seperti pada persamaan 2.4 (Rifki, 2011).

$$t = C \frac{\Delta V}{I} \quad 2.5$$

t adalah waktu *back-up*, C adalah nilai kapasitansi kapasitor, ΔV adalah selisih dari tegangan awal dari superkapasitor dengan tegangan pada saat *cut-off* yaitu saat dimana tegangan yang dimiliki superkapasitor tidak mampu lagi untuk mencantu devais, I adalah besarnya arus yang disuplai oleh superkapasitor. Persamaan 2.4 memperlihatkan lamanya waktu *back-up* dari superkapasitor sebanding dengan besarnya kapasitansi superkapasitor dan berbanding terbalik dengan besarnya arus yang dikeluarkan oleh superkapasitor. Karakteristik dari superkapasitor tidak berbeda dengan kapasitor konvensional, sehingga aturan dalam penyusunan seri atau paralel superkapasitor juga sama dengan kapasitor konvensional, yaitu (Rifki, 2011):

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad 2.6$$

2.5 Polimer Elektrolit Berbahan Dasar PVA

Pada prinsipnya polimer elektrolit dapat diklasifikasikan sebagai sistem dua fasa yang terdiri dari konduktor ionik dalam matriks polimer. Konduktor ionik bisa didapat dari proton (H^+) dan lithium (Li^+) berbasis elektrolit. Matriks polimer berupa *poly (propylene)*, *Poli (vinylidene difluoride)*, *poly (tetrafluoroethylene)*, *poly (ethylene oxide)* (PEO), *polyaniline* (PANI), *poly (methyl methacrylate)* (PMMA), *Poly (vinylalcohol)* (PVA), yang tentunya juga dihasilkan sifat mekanik yang baik dari polimer elektrolit (Dvořák).

Polimer PVA dengan rumus molekul $(-C_2H_4O)_n$, merupakan salah satu

polimer hidrofilik berbentuk kubus halus, berwarna putih kekuningan, tidak berbau dan memiliki densitas $1,3 \text{ gram/cm}^3$ (pada suhu 20°C) dengan kisaran pH 3,5-7,0 (jika dilarutkan dengan konsentrasi 40 gram/liter pada 20°C). PVA merupakan polimer yang larut dalam air, tidak toksik, non karsinogenik, memiliki ketercampuran hayati yang baik dan memiliki sifat fisik yang elastis. PVA berbentuk padatan kering, butiran atau bubuk, memiliki bentuk film yang baik, tidak korosif, lembut dan bersifat adesif serta kekuatan tarik yang baik. Ditinjau dari sifat listrik PVA merupakan bahan isolator dengan resistivitas (ρ) yang tinggi yaitu $3,1 \times 10^7 - 3,8 \times 10^7 \Omega\text{cm}$ (Simanjuntak, 2008).

Polimer hidrofilik PVA memiliki impedansi tinggi berada pada orde sebesar $10^7 \Omega$ dengan stabilitas yang rendah (Simanjuntak, 2008). Impedansi yang tinggi akan menurunkan konduktivitas film dalam menghantarkan listrik, sehingga akan menghambat mobilitas ion pada superkapasitor. M.R Yang et al. Menambahkan elektrolit, seperti *p-styrenesulfonatesodium* (PSSD), NaCl dan *m-benzenedisulfonat disodium* (MBSD) pada film PVA. Film PVA yang ditambahkan NaCl dan APS menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap molekul dengan penurunan impedansi hingga 6 orde. Dibeberapa literatur dijelaskan (Gedam et al, 2013), dengan mengkombinasikan polimer PVA dengan beberapa larutan asam atau garam seperti *phosphoric acid* (H_3PO_4), *hypophosphorus acid* (H_3PO_2), *heteropolyacid* (HPA), *dipotassium phosphate* (K_2HPO_4) dan *sulphosuccinic acid* (SSA) akan meningkatkan konduktivitas polimer PVA.

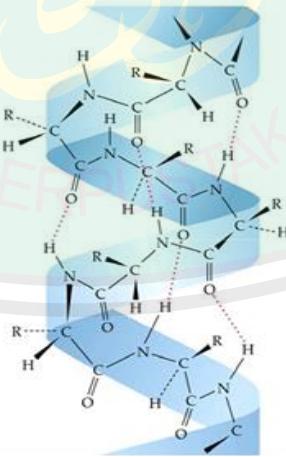
2.6 Keratin

QS. Al Mu'minuun, 23:21 menjelaskan bahwa:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۚ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ ۖ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿٢١﴾

“Dan Sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian dari padanya kamu makan” (Q.S Al Almu'minun, 23:21)

Allah menciptakan binatang ternak untuk diambil manfaatnya. Banyak manfaat dari binatang tersebut sebagai contohnya dengan adanya ternak ayam dan angsa kita dapat memanfaatkannya, kita dapat memakan dagingnya mengambil telurnya, selain itu kita juga dapat memanfaatkan limbahnya yaitu bulunya.



Gambar 2.3 Skema struktur keratin (Haurowitz, 1984).

Menurut Harraps dan Woods (1964), tepung bulu ayam mengandung keratin sebesar 85-90 % dari kandungan proteinnya. Protein keratin ini 14 %

terdiri dari sistin disulfida sebagai jembatan antar molekul (Hill, 1982). Menurut Haurowitz (1984) kandungan sistin pada protein ini berkisar antara 11-12 %.

Keratin atau serat terdiri dari komponen ikatan sistin disulfida, ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik molekul keratin (Williams et al., 1991). Ikatan sistin disulfida atau ikatan silang terbentuk antara asam amino sistin yang mengandung gugus $-SH$. Jika dua unit sistin berikatan, maka terbentuklah sebuah jembatan disulfida $S-S$ melalui oksidasi gugus-gugus $-SH$. Protein serat terbentuk dari molekul yang rapat dan teratur berupa ikatan silang antara rantai-rantai asam amino yang berdekatan sehingga molekul air sukar menerobos struktur ini. Oleh karena itu protein serat tidak larut di dalam air (hidrofobik). Logam berat dapat merusak ikatan disulfida karena afinitasnya yang tinggi dan kemampuannya untuk menarik sulfur sehingga mengakibatkan denaturasi protein. Pembentukan ikatan silang sistin disulfida atau ikatan peptida kompleks terjadi karena proses hidrolisis yang tidak sempurna, hal ini dapat diatasi dengan melakukan proses hidrolisis ulang melalui fermentasi (Gaman and Sherrington, 1992).

Keratin kaya akan residu sistin yang dapat memberikan jembatan disulfida diantara rantai polipeptida yang berdekatan. Tiap molekul protein dalam keratin mempunyai bentuk spiral, yang disebut spiral- α -kanan. Kanan menunjukkan arah putaran dalam spiral itu. Tiap putaran spiral mengandung 3,6 residu asam amino. Jarak dari satu kumparan ke kumparan berikutnya adalah 5,4 Å. Bentuk spiral ini tidak berubah terutama berkat ikatan hidrogen antara satu gugus amida-karbonil dan suatu NH yang jaraknya 3,6 satuan asam amino. Bentuk spiral ini

menghasilkan produk yang kuat, lunak, dan bersifat serat (Girindra, 1986).

2.7 Asam Fosfat (H_3PO_4)

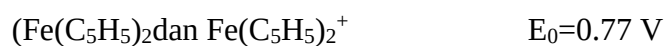
Unsur fosfor mempunyai 8 jenis asam, namun asam fosfat adalah yang paling umum digunakan dalam industri, seperti industri pupuk. Campuran kalsium dihidrogen fosfat dan kalsium fosfat dikenal sebagai superfosfat, yang merupakan pupuk sintetis yang penting. Asam fosfat tidak berwarna dan tidak berbau. Beberapa sifat dari asam ini dalam keadaan pekat adalah (Damanhuri, 2008):

- 1) konsentrasi dalam air: 85 %
- 2) gravitasi spesifik: 1,69
- 3) titik didih: 260 °C
- 4) titik beku: 42 °C
- 5) sangat larut dalam air.

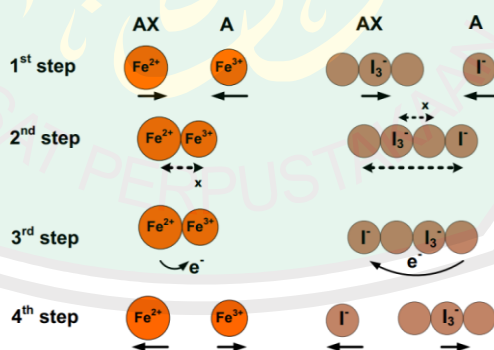
larutan ini bereaksi dengan air secara keras, dan mengeluarkan panas. Disamping itu, larutan ini bersifat korosif pada bahan.

2.8 Redox Pair

Redox pair dalam bentuk molekul harus larut dalam elektrolit polimer. *Redox pair* yang digunakan sebagai standar reversibel terdaftar (Zhou, 2012), sebagai berikut:



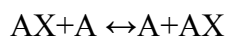
Redox pair yang mungkin adalah dalam bentuk garam organik atau anorganik yang terlarut dalam larutan. Kuncinya adalah mengidentifikasi pelarut yang dapat melarutkan *redox pair* dan elektrolit polimer. I_2/I^- telah dipelajari secara menyeluruh karena aplikasinya dalam sel surya pewarna sensitized (DSSC). NaI/I_2 , LiI/I_2 dan KI/I_2 , mereka dapat larut dalam aseton dan dicampur dengan polimer untuk membuat larutan elektrolit polimer. Kation paling kecil Li^+ dan K^+ menunjukkan hasil terbaik. Pasangan redoks $Fe(CN)_6^{4-}/Fe(CN)_6^{3-}$ dalam bentuk $K_4Fe(CN)_6$ $K_3Fe(CN)_6$ dapat mudah larut dalam air dan pelarut organik. *Ferrocene* $[(Fe(II)(C_5H_5)_2]$ dan *ferricinium* $[Fe(III)(C_5H_5)_2]$ yang mudah larut dalam banyak pelarut organik sederhana (misalnya etanol dan isopropanol). Tentu saja, ada banyak pasang redoks lainnya yang tidak termasuk dalam daftar. Persyaratan lain bagi *redox pair* adalah potensi reversibel dalam elektrokimia elektrolit (Zhou, 2012).



Gambar 2.4 Proses transfer difusi oleh $Fe(III)/Fe(II)$ dan I_3^-/I^- : tahap 1), proses terjadinya pendekatan reaktan; tahap 2), peristiwa tumbukan; tahap 3), transfer elektron; tahap 4), proses pemisahan (Zhou, 2012).

Konduktivitas dari elektrolit polimer yang mengandung *redox pair* ini diharapkan akan jauh lebih besar dari pada elektrolit polimer. Difusi *redox pair* dalam elektrolit terdapat dua proses yang mendasar yaitu migrasi ion dan reaksi

pertukaran elektron yang menyebabkan perpindahan. Kedua proses tersebut disebut juga dengan transfer difusi. Secara mekanis dapat diungkapkan dengan:



dimana A adalah ion pada keadaan tereduksi, AX adalah ion pada keadaan teroksidasi. Gambar 2.3 menunjukkan bahwa A dan AX saling bertukar posisi dimana terjadi proses transfer difusi dari Fe(III)/Fe(II) (kiri) dan I^3^-/I^- (kanan) pada *liquid solution* (air atau pelarut organik).

2.9 FTIR

Spektroskopi FTIR adalah teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Sinar pengukuran sample diubah menjadi interferogram. Perhitungan secara matematika Fourier Transform untuk sinyal tersebut akan menghasilkan spektrum yang identik pada spektroskopi inframerah (Griffith, 1975). FTIR terdiri dari 4 bagian utama, yaitu (Griffith, 1975):

- a. Sumber sinar, yang terbuat dari filament Nerst atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik hingga temperature 1.000-1.800 °C.
- b. Beam splitter, berupa material transparan dengan indeks relatif, sehingga menghasilkan 50% radiasi akan direfleksikan dan 50% radiasi akan diteruskan.
- c. Interferometer, merupakan bagian utama FTIR yang berfungsi untuk membentuk interferogram yang akan diteruskan menuju detektor.
- d. Daerah cuplikan, dimana berkas acuan dan cuplikan masuk kedalam

daerah cuplikan dan masing-masing menembus sel acuan dan cuplikan secara bersesuaian.

- e. Detektor, merupakan piranti yang mengukur energi pancaran yang lewat akibat panas yang dihasilkan. Detektor yang sering digunakan adalah terkompel dan balometer.

Mekanisme yang terjadi pada alat FTIR dapat dijelaskan sebagai berikut. Sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan, dan kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar yang akan saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, bagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut interferogram. Interferogram ini akan diubah menjadi spektra inframerah dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid,1994).

2.10 Analisis Sifat Listrik

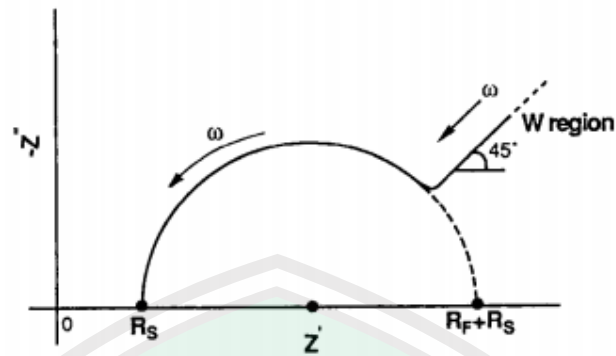
2.10.1 Analisis Impedansi

Impedansi terhadap fungsi frekuensi mempresentasikan 3 macam diagram, 1) *bode plot*, merupakan plot antara impedansi Z sebagai fungsi dari frekuensi. *bode plot* selalu menampilkan kurva yang membengkok tajam terhadap range

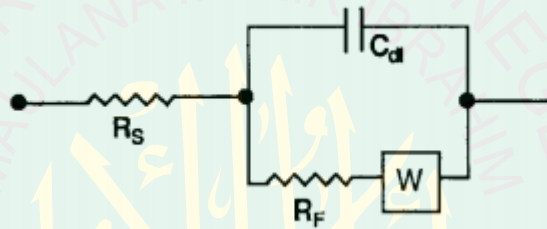
frekuensi, yang menunjukkan hubungan frekuensi terhadap medan listrik ataupun proses relaksasi kinetik pada permukaan elektroda. 2) *phase-angle* plot terhadap frekuensi, yang menunjukkan nilai sudut fasa dari 90^0 hingga 0^0 pada sirkuit RC sederhana. 3) *Nyquist plot*, merupakan plot antara impedansi real Z' dengan impedansi imajiner Z'' (Conway, 1999).

Sifat impedansi dari suatu material terhadap fungsi frekuensi (*bode plot*) merupakan suatu perkara yang penting untuk diidentifikasi, karena sifat listrik sistem elektrokimia superkapasitor biasanya digunakan sebagai filter frekuensi rendah pada *ac hardware circuit*. Semakin besar nilai kapasitansi spesifik semakin baik pula kemampuan filteringnya, khususnya pada frekuensi rendah semakin tinggi nilai kapasitansi spesifik menyebabkan perhitungan impedansi sulit dilakukan (Conway, 1999).

Kombinasi kompleks komponen R-C pada kontak permukaan elektroda dengan larutan elektrolit (gambar 2.5) menunjukkan kapasitansi *double-layer* (C_{dl}), resistansi (R_s) yang berhubungan dengan kombinasi antara kontak elektroda dengan *curent collector*, resistansi larutan elektrolit, serta resistansi elektroda, impedansi faradaic (Z_f) yang berhubungan dengan *charge-transfer resistance* (R_f), serta impedansi warburg (W) garis 45^0 yang berhubungan dengan difusi ion pada permukaan elektroda (Conway, 1999).



Gambar 2.5 Plot impedansi kompleks proses *faradaic* superkapasitor, pada frekuensi rendah mempresentasikan impedansi *warburg* (A Liong. 2009).



Gambar 2.6 Sirkuit Randles, R_f dengan W parallel terhadap *doublé layer capacitance* (A Liong. 2009).

Konduktivitas proton pada membran ditentukan oleh metode impedansi.

Konduktivitas proton (σ, Scm^{-1}) membran dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = L/AR \quad 2.7$$

di mana L (cm) dan A (cm^2) adalah ketebalan dan daerah luas masing-masing membran, dan R adalah resistansi membran berasal dari data impedansi (A Liong. 2009).

Komponen impedansi dari rangkaian R-C parallel adalah sebagai berikut:

$$Z(C) = 1/(j\omega C) = Z'' \quad 2.8$$

$$Z(R) = R = Z' \quad 2.9$$

Dengan mengkombinasikan Z dari persamaan 2.9 dan 2.10 diatas didapatkan,

$$1/Z = j\omega C + 1/R \quad 2.10$$

$$1/Z = (j\omega RC + 1)/R \quad 2.11$$

Dengan menambahkan $j\omega RC + 1$, akan memisahkan komponen real dan imajiner,

$$1/Z = (j\omega RC + 1)(j\omega RC + 1)/R(j\omega RC + 1) \quad 2.12$$

$$1/Z = -((\omega RC)^2 + 1)/R(j\omega RC + 1) \quad 2.13$$

Memberikan,

$$Z = -(j\omega R^2 C - R)/((\omega RC)^2 + 1) \quad 2.14$$

$$Z = (j\omega R^2 C)/((\omega RC)^2 + 1) + R/((\omega RC)^2 + 1) \quad 2.15$$

Karena,

$$Z = Z' + jZ'' \quad 2.16$$

Maka dapat diketahui nilai impedansi real Z' dan impedansi imajiner Z'' ,

$$Z' = R/((\omega RC)^2 + 1) \quad 2.17$$

$$Z'' = (\omega R^2 C)/((\omega RC)^2 + 1) \quad 2.18$$

2.10.2 Analisis Permittivitas

Suatu bahan dielektrik apabila dipengaruhi oleh medan listrik luar maka akan terjadi polarisasi. Polarisasi $P(r)$ didefinisikan sebagai jumlah momen dipole tiap satuan volume pada titik r . Pada dasarnya dipol listrik merupakan suatu

peristiwa dimana dua muatan yang berlawanan dipisahkan sejauh δx , yang dinyatakan:

$$P = Q \delta x \quad 2.19$$

Polarisasi berdasarkan pergeseran muatan dibedakan menjadi (Barsoum, 1997):

1. *Polarisasi elektronik*

Polarisasi yang terjadi ketika adanya pergeseran awan elektron relatif terhadap nukleus. Polarisasi ini terjadi pada frekuensi yang sangat tinggi, yakni sekitar 10^{15} Hz.

2. *Polarisasi ionik*

Polarisasi yang terjadi ketika adanya pergeseran ion positif dan negatif menuju elektroda negatif dan positif. Polarisasi ini terjadi pada range frekuensi infrared (10^{12} hingga 10^{13} Hz).

3. *Polarisasi dipolar*

Terjadi apabila molekul polar berada didalam medan listrik. Pada molekul polar ‘titik pusat gravitasi’ muatan positif dan negatif tidak berhimpit dan selalu ada dwikutub (dipole) kecil. Polarisasi ini permanen karena merupakan bagian dari struktur molekul. Dwikutub dapat berorientasi sesuai dengan arah medan sehingga pada medan bolak-balik setiap setengah siklus molekul akan bergeser. Polarisasi ini terjadi pada frekuensi $10^3 - 10^6$ Hz.

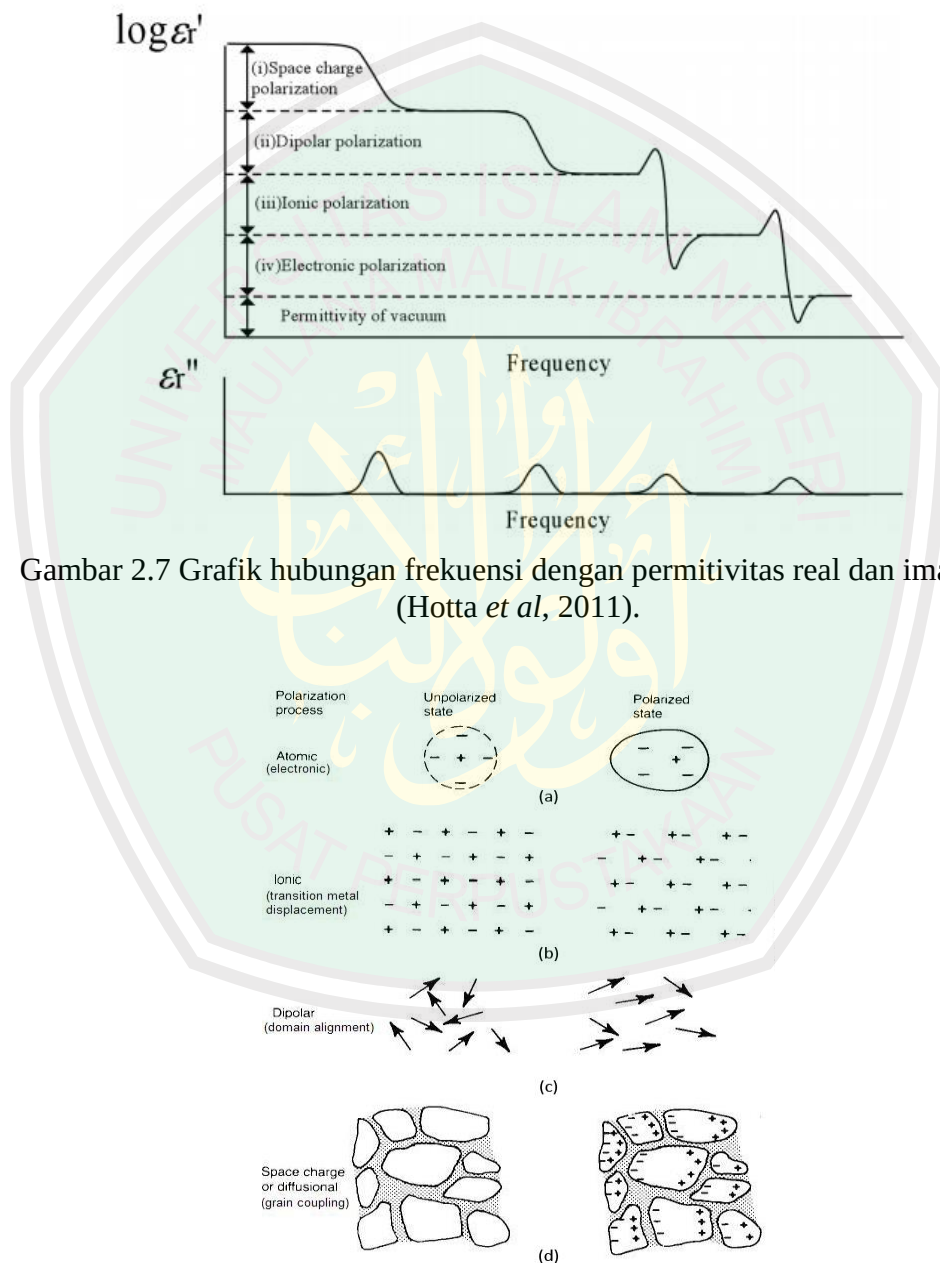
4. *Polarisasi space charge*

Polarisasi yang terjadi pada frekuensi rendah, yang disebabkan adanya penumpukan muatan lokal pada bahan sebagai akibat dari pergeseran muatan

yang terhalang oleh barrier potensial.

Polarisabilitas merupakan penjumlahan dari keempat komponen, yaitu:

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_d + \alpha_s \quad 2.20$$



Gambar 2.7 Grafik hubungan frekuensi dengan permitivitas real dan imajiner (Hotta *et al*, 2011).

Gambar 2.8 Mekanisme polarisasi bahan dielektrik (Moulson, 2004).

Dalam mempelajari relaksasi dielektrik pada frekuensi tinggi, Cole and Cole (1942) memasukkan α sebagai eksponen, sehingga didapatkan:

$$k^* - k_{\infty} = \frac{(k_s - k_{\infty})}{(1 + i\omega\tau)} \quad 2.21$$

$$\frac{k^* - k_{\infty}}{(k_s - k_{\infty})} = \frac{1}{[1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}]} \quad 2.22$$

Pada persamaan 2.23 parameter α digunakan untuk menggambarkan lebar distribusi waktu relaksasi dalam bahan. Distribusi tersebut didapatkan dengan mengeplot bagian imajiner k'' sebagai fungsi bagian riil k' , yang disebut distribusi Cole-Cole. Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik *Cole-Cole plot* dari rangkaian RC, dengan nilai rangkaian:

$$\tau = RC_2 \quad 2.23$$

$$C_2 = (\epsilon_s - \epsilon_{\infty})\epsilon_0 \quad 2.24$$

$$C_1 = \epsilon_{\infty}\epsilon_0 \quad 2.25$$

dengan menggunakan persamaan Debye, konstanta dielektrik imajiner k'' menjadi

$$k'' = \frac{C_2}{\epsilon_0^2} \left(\frac{\omega RC_2}{1 + \omega^2 R^2 C_2^2} \right) \quad 2.26$$

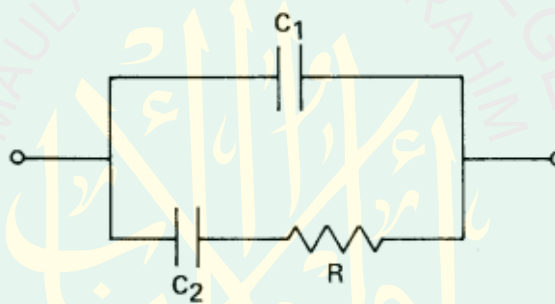
bagian riilnya:

$$k' = \frac{C_1}{\epsilon_0^2} + \frac{C_2}{\epsilon_0^2(1 + \omega^2 R^2 C_2^2)} \quad 2.27$$

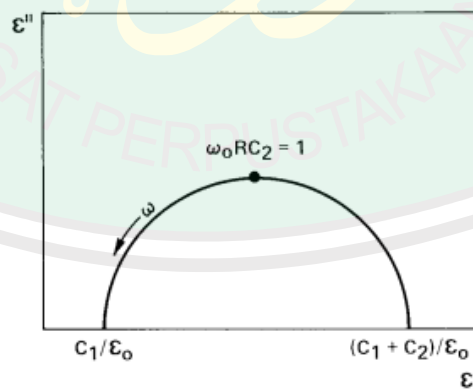
dimana maksimumnya terjadi pada:

$$\omega RC_2 = 1 \quad 2.28$$

Cole-Cole plot pada suatu bahan menunjukkan besaran waktu relaksasi bahan dielektrik. Jika dalam *Cole-Cole plot* dihasilkan suatu semisirkel yang sempurna, maka bahan akan mempunyai waktu relaksasi yang singkat. Hal ini mengindikasikan hanya ada satu polarisasi yang terjadi pada bahan. Akan tetapi jika ada ‘garis lurus’ (tambahan k'' terhadap k') dalam distribusi, maka bahan mempunyai waktu relaksasi yang lama, yang menunjukkan ada lebih dari satu polarisasi yang terjadi dalam bahan, selain itu juga menandakan adanya *loss facto* (Hastuti, 2004).



Gambar 2.9 Sirkuit debye (Moulson, 2004).



Gambar 2.10 Model permitivitas kompleks (Moulson, 2004).

2.11 Uji kemampuan Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi

Electrochemical performance dari Superkapasitor dapat dikarakterisasi dengan metode galvanostatik. Ketika menggunakan metode galvanostatik (arus

charge/discharge konstan), superkapasitor di-charge dan discharge pada arus konstan dengan potential range dari 0 hingga V maks, dan tegangan(volt) ditampilkan dengan fungsi waktu(t) (Yin, 2010). Kapasitansi, Daya dan Energi dapat dihitung dari integrasi *voltage time*, menurut persamaan berikut (Zhou.2012):

$$C = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta V} \quad 2.29$$

$$E = I \int V(t) \cdot dt \quad 2.30$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{I \int V(t) \cdot dt}{\Delta t} \quad 2.31$$

dimana I adalah arus konstan, $V(t)$ adalah tegangan sebagai fungsi dari waktu, dan Δt adalah waktu interval *charge-discharge*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen dengan variabel yang dikehendaki dan eksperimen pengujian karakteristik. Sampel yang digunakan berupa elektroda superkapasitor dari keratin dan *polyvinyl alcohol* (PVA) dengan variasi larutan elektrolit (H_3PO_4 , $\text{KI}:\text{I}_2$). Analisa hasil penelitian dideskripsikan dari data hasil FTIR untuk mengetahui gugus fungsi bahan, LCR meter untuk mengetahui sifat listrik superkapasitor, dan uji *Charge-Discharge* untuk mengetahui performa superkapasitor.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-Oktober 2015. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Material Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Fisika Bahan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Asam asetat
2. H_2SO_4
3. Kitosan

4. Karbon aktif
5. Formaldehid
6. Serbuk keratin
7. PVA
8. Aquades pH 7
9. KI/I₂
10. H₃PO₄
11. Perak cair

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Beaker glass 100 ml
2. Gelasukur 50 ml
3. Tabung enlenmeyer
4. Pipet ukur 25 ml
5. Bola hisap
6. Labu ukur 100 ml
7. Pengaduk kaca
8. Spatula
9. Gelas arloji
10. Pipet tetes
11. Cawan petri
12. Neraca analitik
13. Magnetik stirrer
14. Hot plate

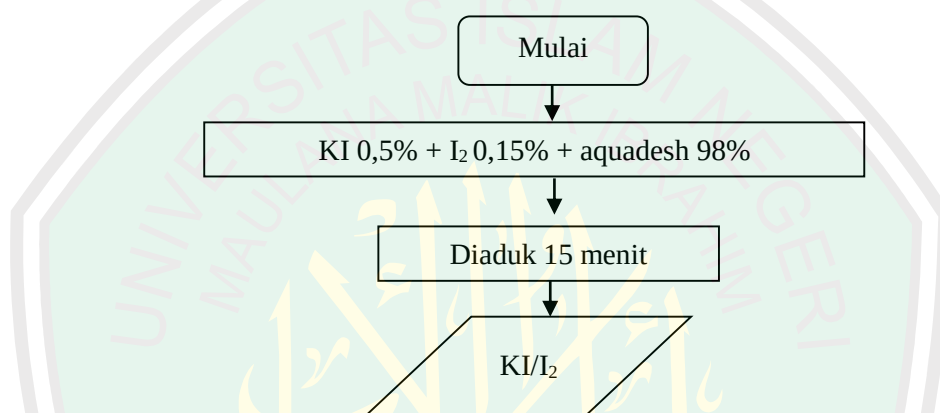
15. RCL meter

16. FTIR

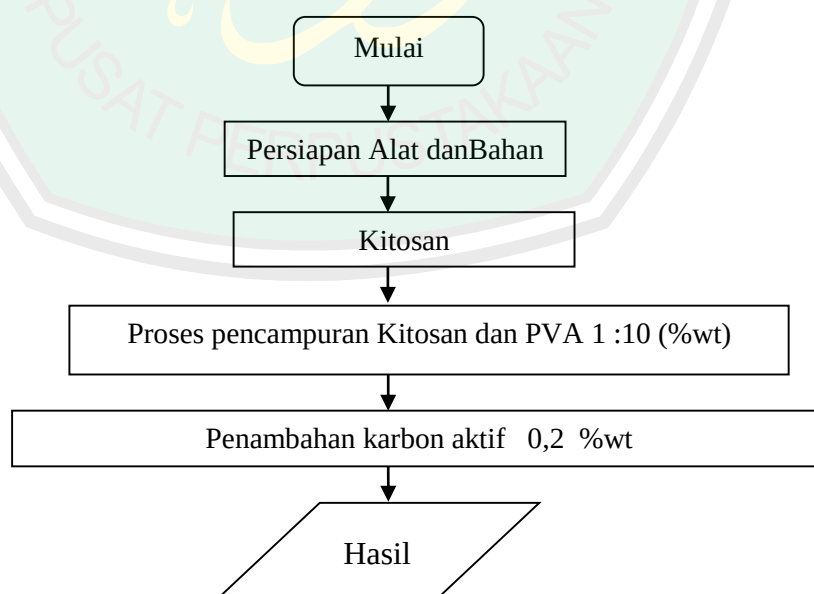
17. Osciloscop.

3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Diagram Pembuatan KI/I₂

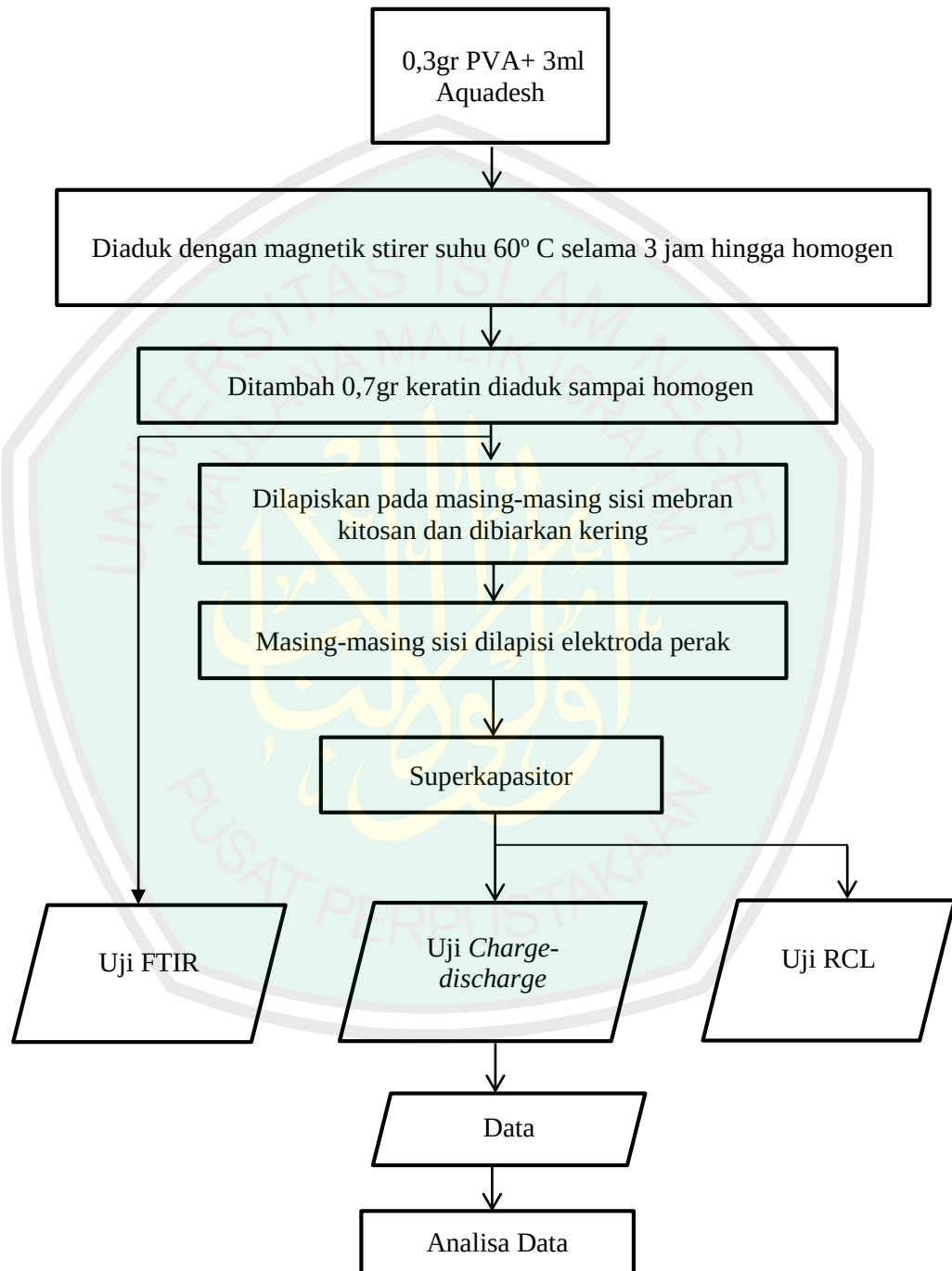


3.3.2 Diagram Alir Pembuatan Membran Kitosan

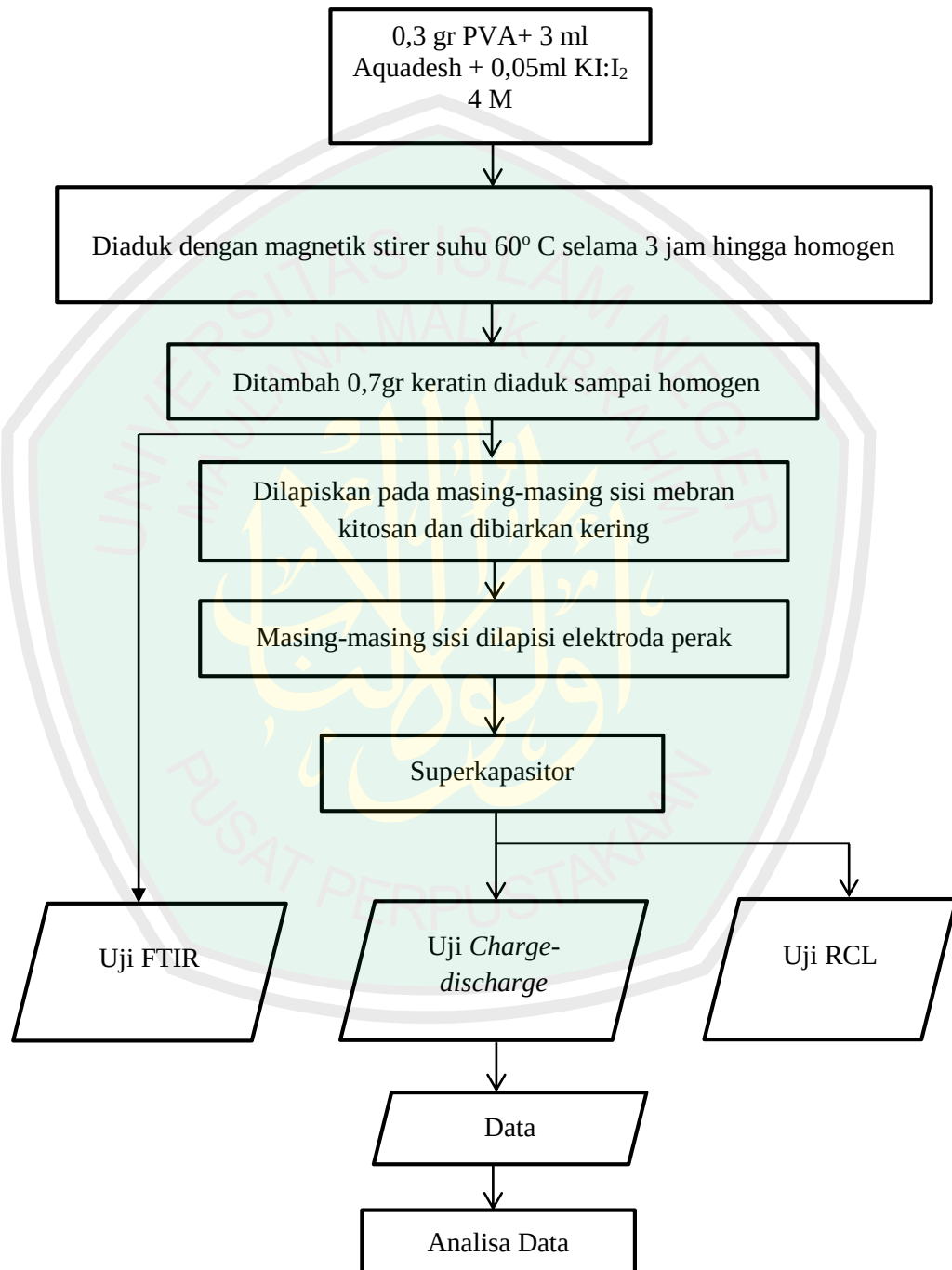


3.3.2 Diagram Alir Pembuatan Superkapasitor

3.3.2.1 Diagram Alir Pembuatan Superkapasitor Keratin-PVA

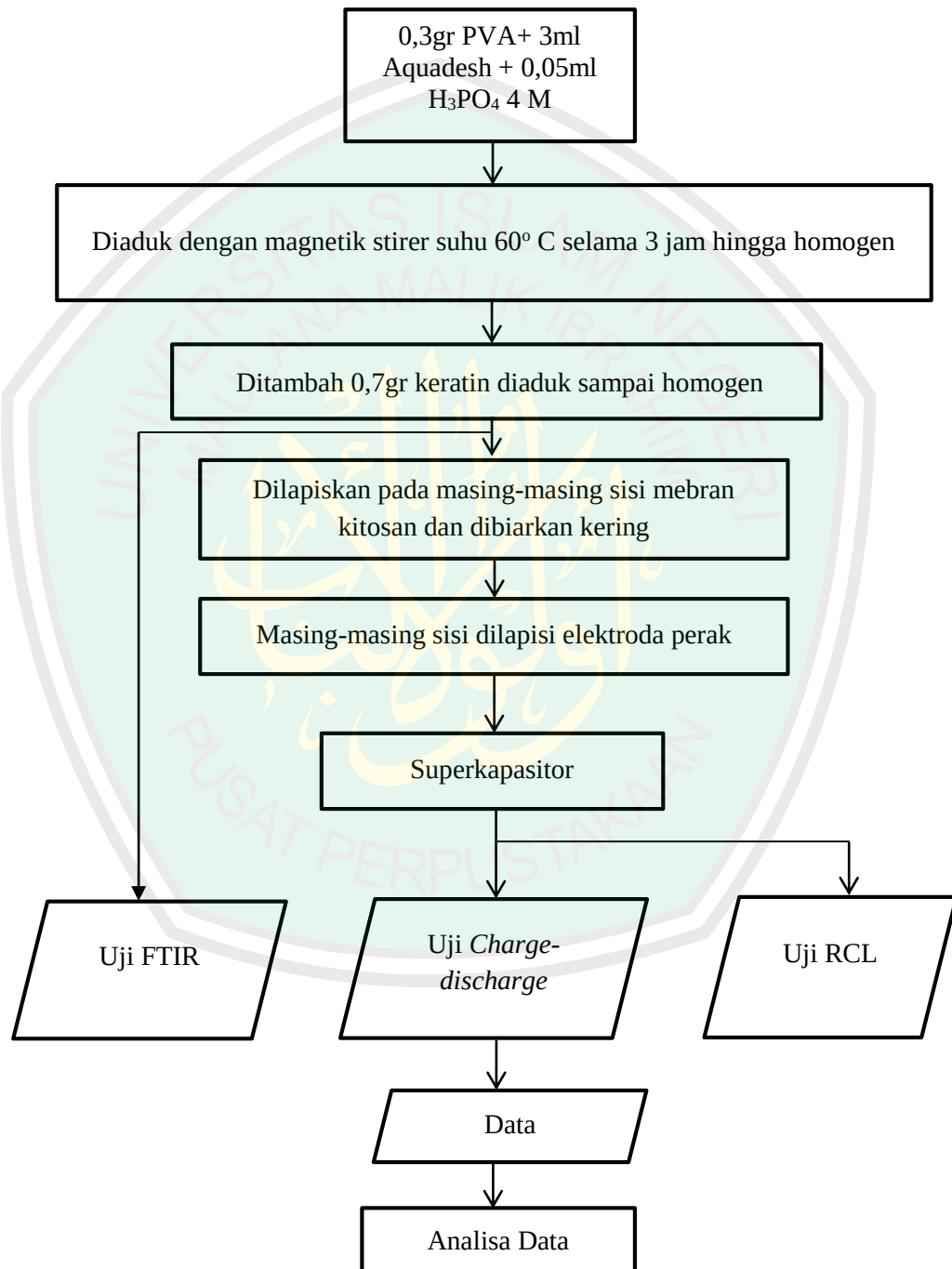


3.3.2.2 Diagram Alir Pembuatan Superkapasitor Keratin-PVA Ditambah H_3PO_4



3.3.2.3 Diagram Alir Pembuatan Superkapasitor Keratin-PVA Ditambah

KI/I₂



3.4 Langkah Penelitian

3.4.1 Pembuatan Larutan KI/I₂

- 1 KI 0,5 gram ditambah I₂ 0,15 gram dilarutkan dengan aquades 98 ml.
- 2 Diaduk menggunakan magnetik stirer selama 15 menit.

3.4.2 Pembuatan Membran Kitosan

1. 28 gram PVA dilarutkan dalam 280 ml air panas suling 1:10 (w/v) kemudian diaduk sampai homogen dengan pengadukan konstan.
2. 7 gram kitosan dicampur dengan larutan asam asetat 2% dengan perbandingan 1:10 (w/v) kemudian diaduk selama 6 jam.
3. Campuran kitosan dimasukkan ke dalam PVA dengan perbandingan 1:4 (wt)
4. Campuran kitosan-PVA ditimbang 2,3 gram sebanyak 5 kali penimbangan.
5. Tiap 2,3 gram kitosan-PVA ditambah dengan 40 ml Asam Asetat (CH₃COOH) 10%
6. Karbon aktif tempurung kelapa dengan komposisi 0,1 (% wt) dimasukkan pada masing-masing campuran kitosan-PVA.
7. Dipanaskan sambil diaduk pada suhu 70 °C dengan kecepatan 600 rpm
8. Campuran kemudian dituang dalam cetakan dengan diameter 10 cm.
9. Sample disimpan pada suhu kamar selama 24 jam.
10. Sample diangkat dari cetakan.

3.4.3 Pembuatan Bahan Elektroda Superkapasitor

Gel dengan variasi elektrolit dibuat dengan langkah sebagai berikut:

1. Sebanyak 0,3 gram serbuk PVA ditambahkan aquades 3 mL dan diaduk dengan kecepatan 120 rpm selama 15 menit pada temperatur 80 °C. Larutan PVA ditambah 0,7 gram keratin dan diaduk sampai homogen dan menjadi gel.
2. Pada gel elektrolit, dibuat sebanyak 3 larutan 0,3 gram PVA ditambahkan aquades 3 mL dan diaduk dengan kecepatan 120 rpm selama 15 menit pada temperatur 80 °C, kemudian masing-masing larutan ditambah 0,7 gram keratin dan diaduk sampai homogen, selanjutnya masing-masing larutan PVA-keratin ditambah 0,05 mL KI/I₂ 4M, 0,05 mL H₃PO₄ 4M, kemudian diaduk sampai menjadi gel.

3.4.4 Pembuatan Superkapasitor

1. Gel komposit PVA-keratin yang sudah terbentuk kemudian dioleskan pada kedua sisi membran, dan dikeringkan
2. Perak konduktif dioleskan pada sisi superkapasitor, dan dikeringkan.
3. Superkapasitor siap diuji.

3.5 Karakterisasi

3.5.1 Uji Gugus Fungsi

Data identifikasi FTIR dilakukan dengan memperhatikan pola dan puncak serapan spektrum yang memberikan informasi tentang karakteristik gugus fungsi. Dari pengujian gugus fungsi ini didapatkan informasi ikatan yang terbentuk dari komposit keratin-PVA +KI/I₂.

3.5.2 Uji Sifat Listrik

Konduktivitas, resistansi dan kapasitansi dari superkapasitor digunakan metode arus bolak-balik dengan rangkaian R-C parallel pada range frekuensi 1 kHz hingga 1 MHz.

Konduktivitas ditentukan dengan metode impedansi. Konduktivitas proton (σ, Scm^{-1}) dari membran dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = L/AR \quad 3.1$$

dimana L (cm) dan A (cm^2) adalah ketebalan dan daerah luas masing-masing membran, dan R adalah resistansi membrane berasal dari data impedansi (A. Liong, 2009).

3.5.3 Uji Superkapasitor Sebagai Simpanan Energi

Kemampuan superkapasitor sebagai simpanan energi dianalisa dengan pengujian *charge-discharge*. Sehingga dapat diketahui performa superkapasitor dengan memplot sumbu-x sebagai fungsi waktu dan sumbu-y sebagai fungsi tegangan pada arus konstan, maka didapatkan kurva *charge-discharge*. Kurva *charge-discharge* digunakan untuk menentukan daya dan energi, menurut persamaan berikut (Zhou, 2012):

$$E = I \frac{V \Delta t}{2m} \quad 3.2$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad 3.3$$

dimana I adalah arus konstan, $V(t)$ adalah tegangan sebagai fungsi dari waktu, dan Δt adalah waktu interval *charge-discharge*.

3.5.4 Data Hasil Penelitian

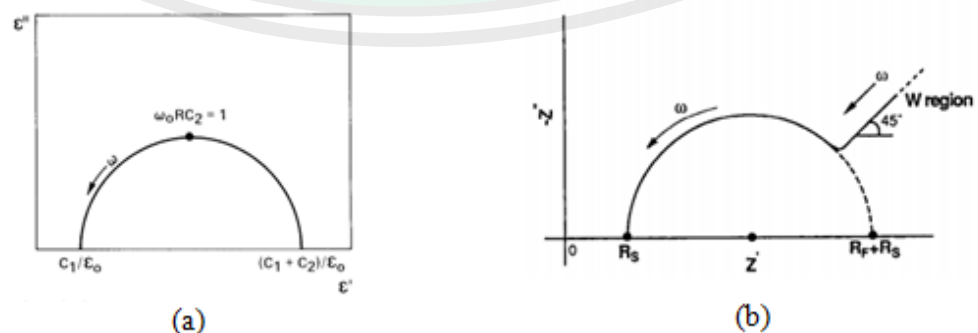
Uji sifat listrik digunakan LCR meter frekuensi 1 kHz sampai 1 MHz, dengan kenaikan frekuensi sebesar 1 kHz. Didapatkan data keluaran LCR meter adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data keluaran LCR meter sampel superkapasitor dengan variasi larutan elektrolit

Superkapasitor	f (Hz)	R (Ω)	Z (Ω)	C (nF)	D
PVA-keratin					
PVA-keratin:KI:I ₂					
PVA-keratin:H ₂ SO ₄					

3.5.5 Teknik Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian LCR meter kemudian dianalisis dengan impedansi kompleks dan permitivitas kompleks. Metode impedansi kompleks digunakan untuk mengetahui nilai hambatan transfer muatan pada material uji, sedangkan permitivitas kompleks digunakan untuk mengetahui polarisabilitas material uji.



Gambar 3.3 Grafik permitivitas kompleks (a) dan grafik impedansi kompleks (b) .

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pembahasan

4.1.1 Pembuatan superkapasitor

Sparator superkapasitor dibuat dengan melarutkan polivinil alkohol sebanyak 4 gram pada 40 ml air panas pada perbandingan 1:10 (w/v) dengan suhu 100 °C. 1 gram kitosan dicampur dengan asam asetat yang kosentrasinya 2% pada perbandingan 1:10 (w/v), kemudian diaduk selama 6 jam. Campuran kitosan dimasukkan ke dalam PVA pada perbandingan 1:4 (%wt), bertujuan agar membran yang didapat lebih elastis dan tidak rapuh. Campuran kitosan-PVA ditimbang 2,3 gram. Campuran kitosan-PVA seberat 2,3 gram ditambah karbon aktif sebanyak 0,2 (%wt) dan dilarutkan dengan 40 ml asam asetat (CH_3COOH)10% (Riyanto B *et. al.* 2010). Larutan dipanaskan sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 70 °C dengan kecepatan 600 rpm, bertujuan untuk menghomogenkan larutan. Campuran kitosan-PVA dituang ke dalam cawan petri dengan diameter 10 cm dan disimpan selama 24 jam pada suhu kamar.

Superkapasitor dibuat dengan mencampur 0,3 gram serbuk PVA dan aquades 3 mL, kemudian diaduk dengan kecepatan 120 rpm selama 15 menit pada temperatur 80 °C. Setelah homogen, larutan PVA ditambah keratin dan diaduk sampai homogen. Pada gel elektrolit, dibuat dua sampel larutan PVA. Salah satu larutan ditambah H_3PO_4 4M sebanyak 0,05ml. Larutan PVA yang lain ditambah

KI/I₂ 4M sebanyak 0,05ml. Masing-masing sampel gel elektrolit ditambah 7gram keratin dan diaduk sampai homogen. Gel yang sudah terbentuk kemudian dilapiskan pada permukaan membran nafion dengan metode *doctor blade*.

Sampel superkapasitor dibuat pengkodean agar lebih memudahkan analisa.

Hasil pengkodean kemudian dimasukkan kedalam tabel 4.1

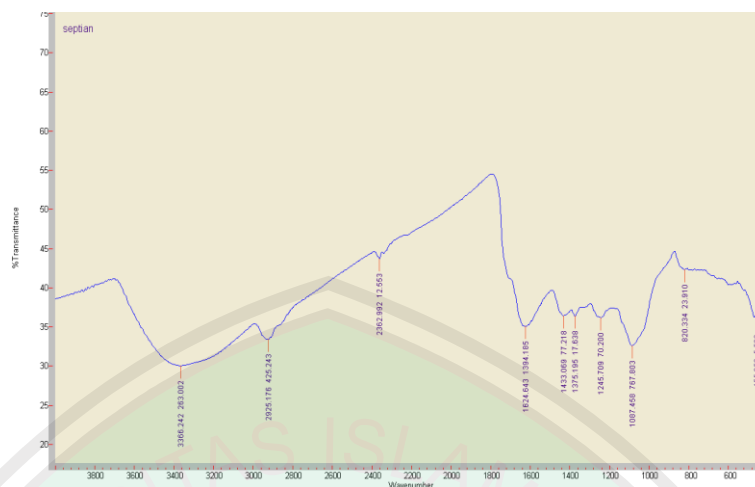
Tabel 4.1 Kode sampel dengan perbedaan variasi bahan yang digunakan.

Sample	Kode
Kapasitor Keratin-PVA	KP
Superkapasitor Keratin-PVA	S
Superkapasitor Keratin-PVA + H ₃ PO ₄	SH
Superkapasitor Keratin-PVA + KI/I ₂	SK

4.1.2 Gugus Fungsi Bahan

Gugus fungsi yang dihasilkan dari keratin-PVA dengan penambahan KI/I₂ diukur menggunakan *Varian FT-IR 1000* buatan Amerika. Spektrum yang dihasilkan dari FT-IR berupa spektrum inframerah yang ditransmisikan melewati sampel, kemudian dibaca detektor dengan intensitas sebagai fungsi gelombang.

Langkah preparasi sampel sebelum dianalisis FT-IR adalah sampel berupa serbuk, kemudian dicampur dengan KBr 200 mg bertujuan agar sampel bisa ditembus oleh cahaya *infrared* dan dapat dibaca oleh detektor. Sampel dimasukkan dalam cetakan, kemudian ditekan sampai 80 tor dan divakumkan 10-15 menit agar kadar airnya hilang. Hasil yang diperoleh dari FT-IR berupa spektra dengan sumbu Y sebagai transmisi dan sumbu X sebagai bilangan gelombang.



Gambar 4.1 Spektrum gugus fungsi keratin-PVA dengan penambahan KI/I₂.

Dari pencocokan hasil uji FTIR dengan tabel gugus fungsi didapatkan senyawa yang ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Gugus fungsi sampel S-K.

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi (Tipe Vibrasi)	Nama Senyawa
3368	O-H dan N-H	Alkohol
2925	C-H	Tiol
2262	X≡X, X=Y, X=Z	Nitril
1624	C=C	Alkena
1433	H-C-H	Alkana
1375	S-O	Alkohol
1246	C-O-C	Ester
1087	C-O-C	Eter
820	C-X	Alkena

Tabel 4.2 menunjukkan terjadi serapan pada bilangan gelombang 3368 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H dan N-H, menunjukkan pada sampel terdapat senyawa alkohol. Serapan pada bilangan gelombang 2925 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi C-H dan terdapat senyawa tiol. Serapan pada bilangan gelombang 2262 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi X≡X, X=Y, X=Z dan terdapat senyawa nitril. Serapan pada bilangan gelombang 1624 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi

C=C dan terdapat senyawa alkena. Serapan pada bilangan gelombang 1433 cm^{-1} menunjukkan vibrasi H-C-H dan terdapat senyawa alkana. Serapan pada bilangan gelombang 1375 cm^{-1} menunjukkan vibrasi S=O atau H-C-H dan terdapat senyawa alkohol atau venol. Serapan pada bilangan gelombang 1246 cm^{-1} menunjukkan vibrasi S=O atau C-O-C dan terdapat senyawa ester. Serapan pada bilangan gelombang 1087 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C-O-C dan terdapat senyawa eter. Serapan pada bilangan gelombang 820 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C-X, X menunjukkan adanya atom Cl, Br atau I.

4.1.3 Sifat Listrik Superkapasitor

Pengujian listrik bertujuan untuk mengetahui sifat listrik dari superkapasitor. Peralatan yang digunakan adalah RCL Meter FLUKE tipe PM6306, bertempat di Laboratorium Fisika Keramik Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengukuran parameter listrik ini menghasilkan nilai Resistansi (R), Disipasi (D), Kapasitansi (C) dan Impedansi (Z) dengan pengaruh frekuensi dari 1000Hz-1MHz pada tegangan 1Volt.

Impedansi (Z) merupakan hambatan total dari suatu bahan dengan rangkaian AC (bolak balik) yang dipengaruhi oleh resistansi dan frekuensi (Munawaroh K, 2013). Sama halnya dengan permitivitas, impedansi juga mempunyai dua bagian yaitu bagian riil dan bagian imajiner.

Impedansi listrik bahan semikonduktor diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$Z_{\text{imj}} = \frac{R^2 \omega}{1 + (R^2 \omega^2 C^2)} \quad (4.1)$$

Dan
$$Z_{riil} = \frac{R}{1+(R^2\omega^2 C^2)}$$
 (4.2)

dengan, Z_{imj} : Impedansi imajiner

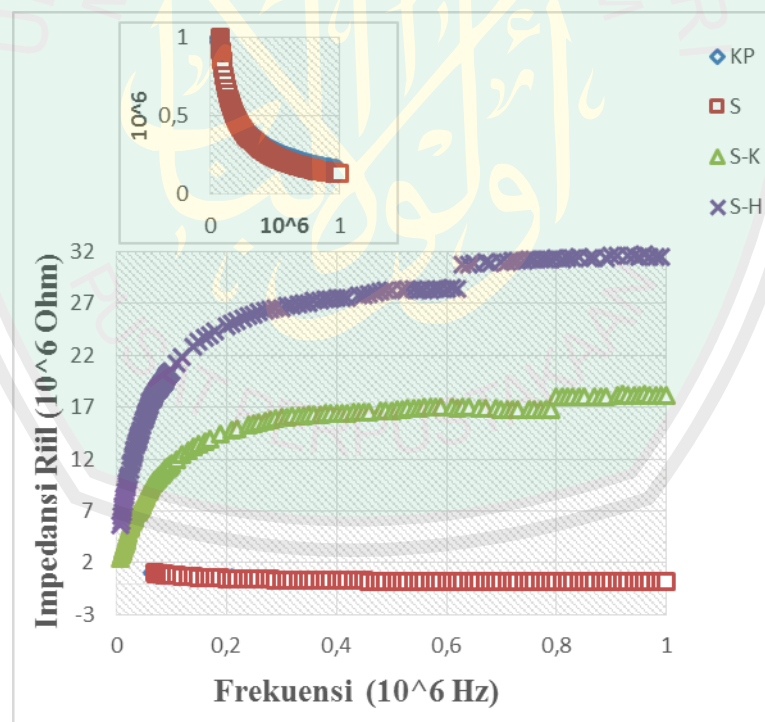
Z_{riil} : Impedansi riil

R : Resistansi

ω : Frekuensi

C : Kapasitansi

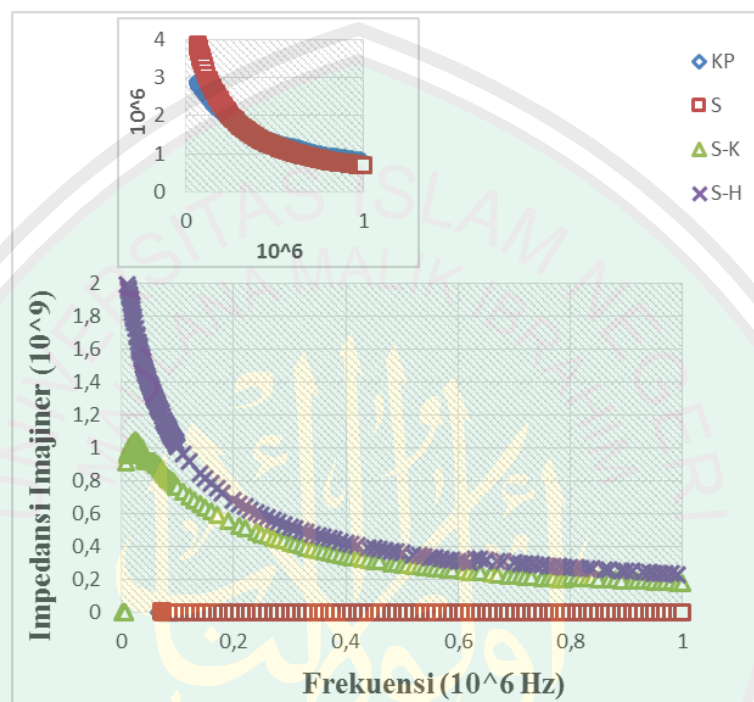
Sifat impedansi dari suatu material terhadap fungsi frekuensi (*bode plot*) merupakan hal yang penting untuk diidentifikasi, karena sifat listrik sistem elektrokimia superkapasitor biasanya digunakan sebagai filter frekuensi rendah pada *ac hardware circuit*.



Gambar 4.2 Pengaruh frekuensi terhadap impedansi riil superkapasitor.

Gambar 4.2 menunjukkan sampel dengan penambahan larutan elektrolit terjadi peningkatan nilai impedansi riil pada kenaikan frekuensi, sedangkan

sampel tanpa penambahan larutan elektrolit terjadi penurunan nilai impedansi riil pada kenaikan frekuensi. Impedansi riil tertinggi dimiliki sampel yang ditambah dengan H_3PO_4 .

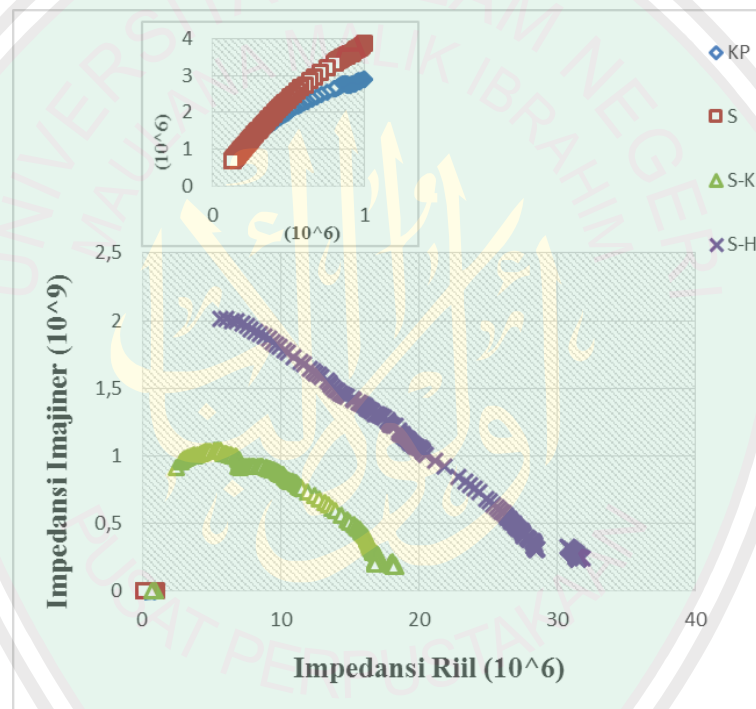


Gambar 4.3 Pengaruh frekuensi terhadap impedansi imajiner superkapasitor.

Gambar 4.3 menunjukkan penambahan larutan elektrolit pada superkapasitor memperbesar nilai impedansi imajiner. Sampel dengan penambahan larutan elektrolit memiliki nilai impedansi imajiner yang besar pada frekuensi rendah dan memiliki nilai impedansi yang kecil pada frekuensi tinggi. Pada sampel tanpa penambahan elektrolit kenaikan frekuensi juga memperkecil nilai impedansi imajiner.

Pola *semicircle* Z'' - Z'' , menunjukkan pergerakan muatan pada bidang permukaan elektroda yang menunjukkan adanya kapasitansi (C_{dl}) dan hambatan transfer muatan (R_F). Bagian real Z' pada sumbu-x mengindikasikan 2 hal

penting, bagian kiri diameter *semicircle* nilai real Z' menunjukkan hambatan dalam (R_s) yang meliputi kombinasi antara resistansi elektroda dengan *collector*, resistansi dari elektrolit dan resistansi dari material elektroda. Lebar diameter *semicircle* merepresentasikan hambatan transfer muatan (R_F) pada bahan. Semakin besar diameter *semicircle* pada sampel uji maka semakin besar pula hambatan transfer muatan (R_F) suatu sampel uji.



Gambar 4.4 Grafik hubungan impedansi riil terhadap impedansi imajiner.

Gambar 4.4 menunjukkan sampel dengan penambahan larutan elektrolit mempunyai diameter *semicircle* sangat besar bila dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan elektrolit. Sampel dengan penambahan larutan elektrolit juga memiliki lebih dari satu *semircle*. Sampel dengan penambahan *redox pair* KI/I_2 memiliki tiga *semicircle*, sedangkan sampel dengan penambahan elektrolit H_3PO_4 mempunyai dua *semicircle*.

Permitivitas relatif merupakan rapatnya fluks elektrostatik dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik. Permitivitas relatif atau sering disebut sebagai konstanta dielektrik merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan jika diberi sebuah potensial dan relatif terhadap ruang hampa. Konstanta dielektrik yang tinggi merupakan syarat utama pada bahan dielektrik.

Permitivitas dielektrik menunjukkan ukuran kemampuan suatu medium atau bahan untuk meredam intensitas medan listrik yang melalui medium tersebut, dan besaran ini dinyatakan dengan simbol ϵ_r . Permitivitas sangat dipengaruhi oleh banyaknya muatan yang tersimpan dalam bahan dielektrik. Jika kapasitor diisi dengan bahan dielektrik, maka sifat yang terjadi dapat dianalisa menggunakan permitivitas relatif.

Konstanta dielektrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\epsilon_r = \frac{C d}{\epsilon_0 A} \quad (4.3)$$

dengan C : Kapasitansi (F)

d : Tebal sampel (m)

A : Luas sampel (m²)

ϵ_0 : Permitivitas ruang vakum ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)

Permitivitas riil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

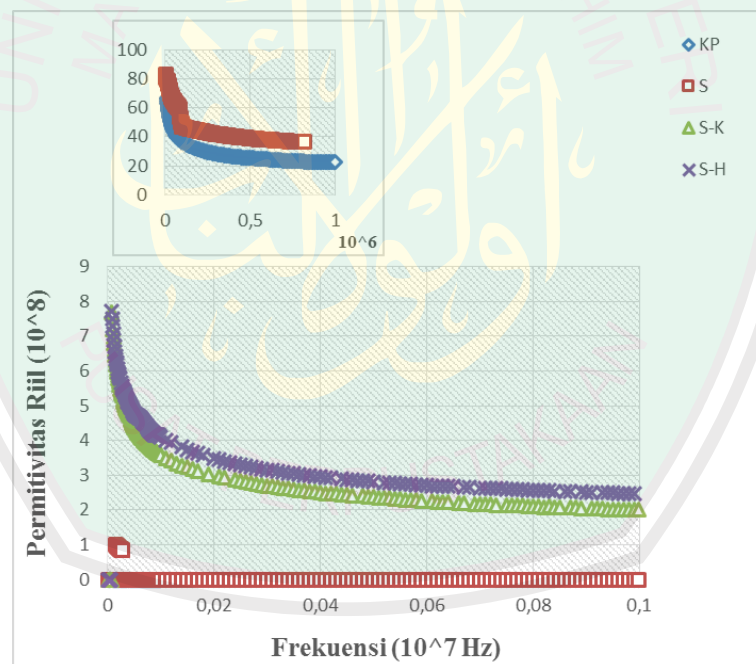
$$\epsilon_r' = \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_0 A} \quad (4.4)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai permitivitas imajiner menggunakan persamaan:

$$\varepsilon_r'' = \varepsilon_r' \cdot D \quad (4.5)$$

dengan D adalah faktor disipasi, yaitu faktor yang menunjukkan besarnya daya yang hilang di dalam kapasitor.

Plot antara permitivitas real ε' maupun permitivitas imajiner ε'' terhadap fungsi frekuensi dapat mengidentifikasi polarisabilitas suatu bahan dielektrik. Pada saat medan listrik dikenakan pada bahan, ion pembawa muatan bergerak sesuai arah medan listrik dan kemudian terperangkap pada permukaan elektroda yang secara langsung akan menghasilkan permitivitas dielektrik.

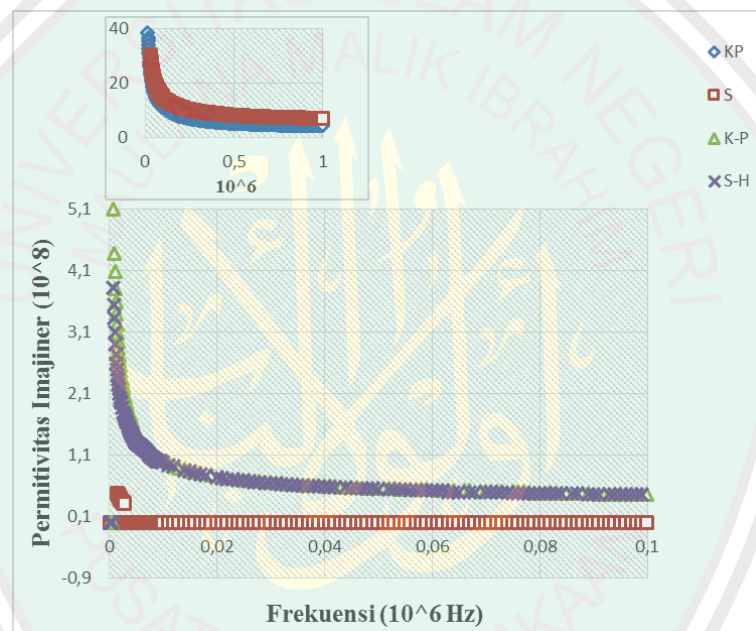


Gambar 4.5 Pengaruh frekuensi terhadap permitivitas riil.

Gambar 4.5 menunjukkan penambahan larutan elektrolit pada sampel meningkatkan nilai permitivitas riil superkapasitor tersebut. Pada sampel yang ditambah dengan larutan elektrolit memiliki nilai permitifitas riil besar pada frekuensi rendah dan memiliki nilai permitifitas kecil pada frekuensi tinggi. Pada

sampel yang tidak ditambah dengan larutan elektrolit nilai permitifitas riil juga mengalami penurunan pada kenaikan frekuensi.

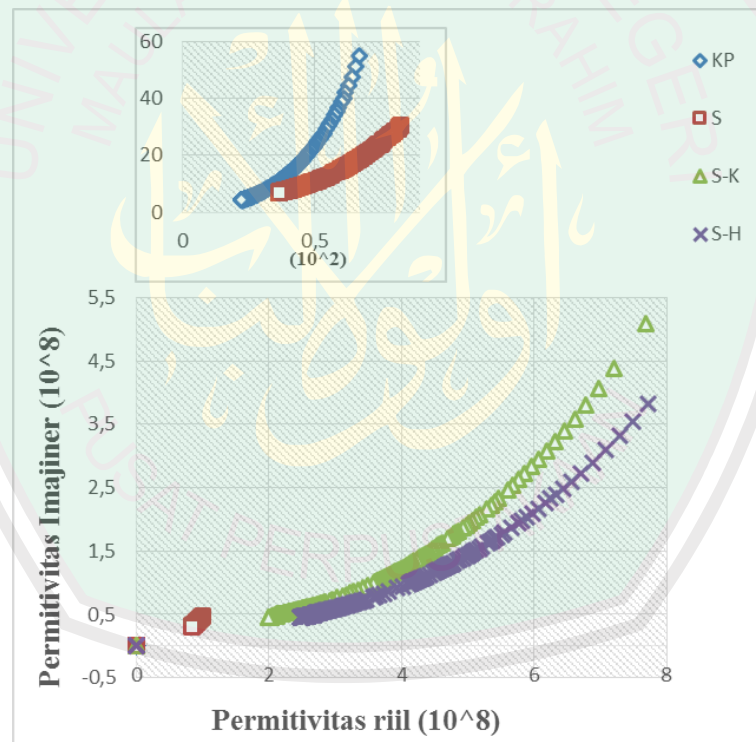
Permitivitas imajiner menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkan atau melepaskan energi dan mengkonversinya menjadi panas yang nilainya selalu positif dan besarnya lebih kecil dari permitivitas riil. Permitivitas imajiner cenderung menurun ketika frekuensi semakin besar.



Gambar 4.6 Pengaruh frekuensi terhadap permitifitas imajiner.

Gambar 4.6 menunjukkan penambahan larutan elektrolit meningkatkan nilai permitivitas imajiner sampel. Sampel yang ditambah dengan larutan elektrolit memiliki nilai permitivitas imajiner yang besar pada frekuensi rendah dan memiliki nilai permitivitas imajiner yang kecil pada frekuensi tinggi. Untuk sampel tanpa penambahan elektrolit kenaikan frekuensi menurunkan nilai permitivitas imajinernya.

Permitivitas dipengaruhi oleh banyaknya muatan yang tersimpan dalam bahan dielektrik. Hubungan antara permitivitas riil dan imajiner dapat dibentuk grafik *cole-cole plot*. Secara teori *cole-cole plot* digunakan untuk mengetahui besarnya waktu relaksasi dari suatu bahan dielektrik. Jika bentuk *semisircle* semakin sempurna, maka grafik tersebut menunjukkan waktu relaksasi semakin kecil (Hastuti E, 2006). Waktu relaksasi adalah waktu yang dibutuhkan dipol-dipol untuk kembali pada keadaan semula.



Gambar 4.7 Grafik hubungan permitivitas riil dan permitivitas imajiner.

Gambar 4.7 menunjukkan penambahan larutan elektrolit menaikkan diameter *semicircle* sampel. Sampel dengan penambahan larutan elektrolit mempunyai diameter *semicircle* yang sangat besar. Sedangkan sampel tanpa

penambahan larutan elektrolit mempunyai diameter *semicircle* yang kecil. Diameter *semicircle* terbesar dimiliki sampel dengan penambahan KI/I₂.

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan bahan untuk menghantarkan arus listrik. Dari nilai konduktivitas ini dapat diketahui bahan tersebut termasuk bahan isolator, konduktor atau semikonduktor. Konduktivitas listrik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA} \quad (4.6)$$

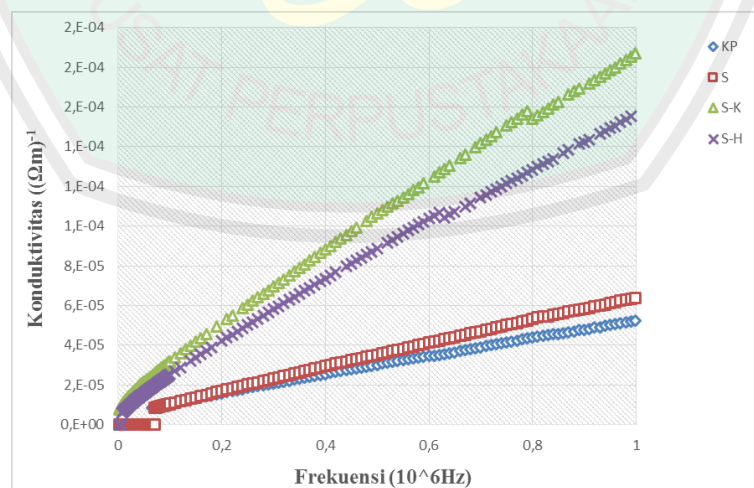
dengan σ : Konduktivitas listrik (Ωm)⁻¹

ρ : Resistivitas listrik (Ωm)

l : Jarak antara 2 titik pengukuran (m)

R : Resistansi (Ω)

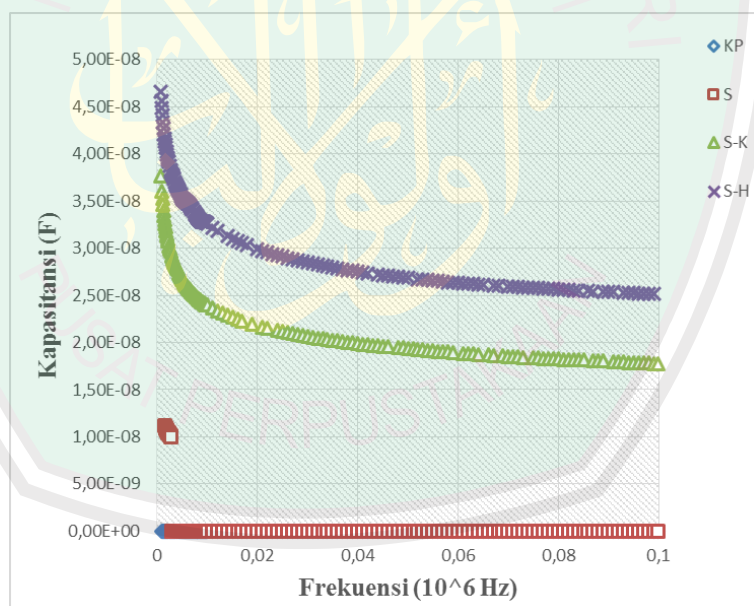
A : Luas penampang (m²)



Gambar 4.8 Pengaruh frekuensi terhadap konduktivitas superkapasitor.

Gambar 4.8 menunjukkan konduktivitas semua sampel meningkat seiring dengan kenaikan frekuensi. Penambahan larutan elektrolit meningkatkan konduktivitas sampel. Konduktivitas tertinggi dimiliki sampel dengan penambahan KI/I₂.

Kapasitansi adalah kemampuan suatu bahan dalam menyimpan muatan. Ketika kapasitor berada diantara keping konduktor yang memiliki beda potensial (ΔV) muatan pada kapasitor mengalami polarisasi. Kapasitansi yang dimiliki kapasitor adalah perbandingan banyaknya muatan yang terpolarisasi pada setiap perubahan potensial (Jawwet, 2004).



Gambar 4.9 Pengaruh frekuensi terhadap kapasitansi superkapasitor.

Gambar 4.9 menunjukkan penambahan larutan elektrolit meningkatkan nilai kapasitansi sampel. Nilai kapasitansi tertinggi dimiliki sampel yang ditambah dengan H₃PO₄.

4.1.4 Performa Superkapasitor

Untuk menguji performa superkapasitor dengan variasi membran elektrolit, maka dilakukan uji *charge-discharge*. Pengujian ini dilakukan dengan rangkaian sederhana yang dihubungkan pada osiloskop dengan arus sebesar 0,2A. Superkapasitor sebagai piranti penyimpan energi, yakni *energy density* dan *power density*, yang dapat dihitung dari kurva *charge-discharge*.

$$\text{Rumus } energy \text{ density } E = I \frac{V}{t.m} \quad (4.7)$$

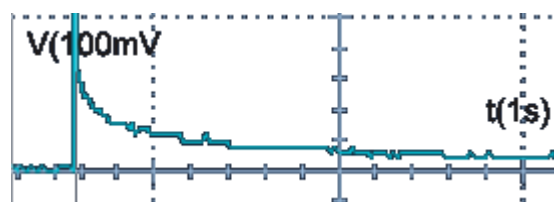
$$\text{Rumus } power \text{ density } P = \frac{E}{\Delta t} \quad (4.8)$$

Nilai *energy density* serta *power density* dapat dilihat pada tabel 4.3.

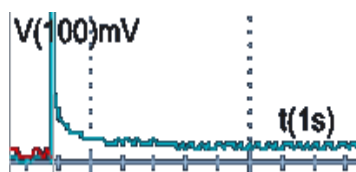
Tabel 4.3 Performa superkapasitor.

Sampel	Tegangan (V)	Massa (Kg)	Delay (S)	Energy density (J kg ⁻¹)	Power Density (J kg ⁻¹ s ⁻¹)
KP	7 10 ⁻²	6 10 ⁻⁵	2 10 ⁻³	0,9	466,67
S	4 10 ⁻²	6 10 ⁻⁵	1 10 ⁻³	0,27	266,27
S-H	1 10 ⁻¹	5,6 10 ⁻⁵	2 10 ⁻³	1,43	714,29
S-K	1,2 10 ⁻¹	6 10 ⁻⁵	4 10 ⁻³	3,2	800

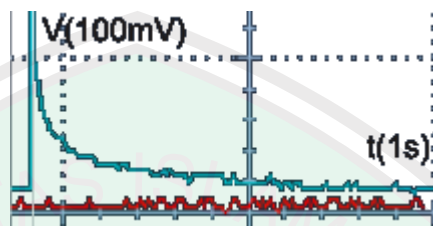
Grafik hasil pengujian performa superkapasitor ditunjukkan pada gambar 4.9 sampai 4.12.



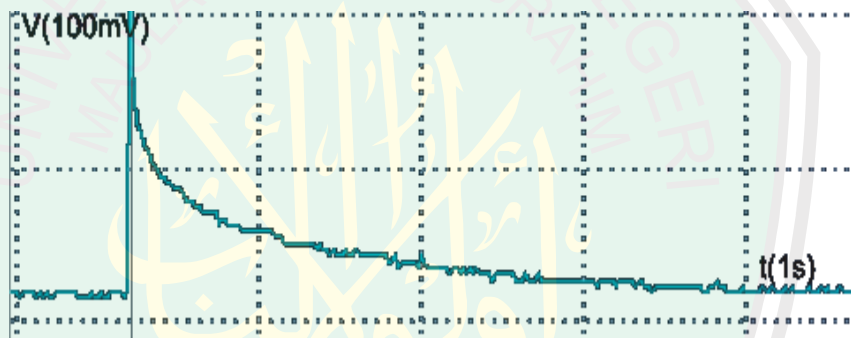
Gambar 4.10 proses *charge-discharge* sampel KP.



Gambar 4.11 Proses *charge-discharge* sampel sampel S.



Gambar 4.12 Proses *charge-discharge* sampel S-H.



Gambar 4.13 Proses *charge-discharge* sampel S-K.

Gambar 4.10, gambar 4.11, gambar 4.12, dan gambar 4.13 menunjukkan sampel dengan penambahan larutan elektrolit mampu menyimpan tegangan yang lebih besar daripada sampel tanpa penambahan larutan elektrolit, dan mempunyai waktu *discharge* yang lebih lama.

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian FTIR menunjukkan komposit keratin-PVA yang di tambah dengan KI/I₂ muncul gugus fungsi O-H, C-H, X≡X, X=Y, X=Z, C=C, H-C-H, C-O-C dan C-X. Sampel komposit keratin-PVA muncul gugus fungsi C-H, X≡X, X=Y, X=Z, C-O-C, C=C dan H-C-H. Sedangkan keratin-PVA yang ditambah

dengan H_3PO_4 muncul gugus fungsi baru yaitu O-H dan C-X (Hastuti, 2014). Sampel keratin-PVA yang ditambah dengan KI/I_2 juga muncul gugus fungsi O-H dan C-X. gugus fungsi C-X menunjukkan adanya vibrasi atom Cl, Br atau I.

Perhitungan data RCL meter menunjukkan bahwa material semikonduktor mempunyai sifat dielektrik yang berbeda-beda. Hal ini dapat diketahui dari nilai permitivitas riil, permitivitas imajiner, impedansi riil, dan impedansi imajiner. Nilai permitivitas bahan dielektrik sangat dipengaruhi oleh banyaknya muatan yang terdapat di dalamnya. Semakin banyak muatan yang terdapat dalam bahan, peluang terjadinya polarisasi lebih tinggi. Pada penelitian ini dibuat superkapasitor dari kitosan-PVA dengan penambahan larutan elektrolit. Superkapasitor yang baik mempunyai konduktivitas yang tinggi, hambatan yang rendah, kapasitansi yang tinggi.

Impedansi dari suatu rangkaian merupakan rasio dari tegangan yang melintasi elemen rangkaian terhadap arus yang mengalir pada rangkaian. Pada keping kapasitor impedansi berperan sebagai perintang suatu medan listrik yang diberikan oleh keping. Impedansi pada rangkaian keping kapasitor dipengaruhi oleh frekuensi, resistansi, dan reaktansi total. Gambar 4.2 menunjukkan sampel dengan penambahan larutan elektrolit, kenaikan frekuensi menaikkan nilai impedansinya. Hal ini disebabkan sampel yang ditambah dengan larutan elektrolit mendapatkan sumbangan muatan bebas, jika dikenai medan listrik muatan bebas tersebut melakukan vibrasi. Vibrasi muatan yang berlebihan dapat menghambat mengalirnya arus listrik.

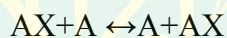
Hubungan antara impedansi riil dan imajiner digambarkan dalam grafik *nyquist plot*, grafik *nyquist plot* menggambarkan persebaran muatan pada superkapasitor. Gambar 4.4 menunjukkan sampel yang ditambah H_3PO_4 memiliki dua *semicircle*, hal ini disebabkan persebaran muatan melalui medium yang berbeda, yaitu dari permukaan elektroda dan permukaan membran. Sampel yang ditambah dengan KI/I_2 mempunyai tiga *semicircle*, *semicircle* yang ketiga disumbangkan oleh pergerakan ion KI/I_2 .

Frekuensi sangat mempengaruhi nilai permitivitas sampel. Peningkatan frekuensi menyebabkan nilai permitivitas bahan menurun, karena semakin besar frekuensi maka peluang terjadinya polarisasi semakin kecil. Permitivitas dipengaruhi oleh banyaknya muatan yang tersimpan dalam bahan dielektrik. Penambahan larutan elektrolit menaikkan nilai permitivitasnya, artinya penambahan larutan elektrolit memperbanyak muatan bebas pada sampel. Sampel yang ditambah dengan H_3PO_4 memiliki nilai permitivitas paling besar, hal ini menunjukkan sampel ini mempunyai muatan bebas paling banyak.

Hubungan antara permitivitas riil dengan permitivitas imajiner ditunjukkan oleh gambar 4.7 dan digambarkan dengan *cole-cole plot*. Diameter *semicircle* yang besar menunjukkan waktu relaksasi yang lama, dan jari-jari *semicircle* yang kecil menunjukkan waktu relaksasi yang singkat. Semakin besar frekuensi, maka gerakan dipol semakin cepat, *circle* yang terbentuk kecil dan waktu relaksasinya singkat. Pada frekuensi rendah jari-jari *circle* besar dan waktu relaksasinya lama. Terlihat pengaruh frekuensi sangat dominan pada frekuensi rendah sehingga terbentuk polarisasi *space charge* (muatan ruang) pada

superkapasitor. Polarisasi muatan ruang terjadi karena pemisahan-pemisahan muatan ruang, yang merupakan muatan-muatan bebas dalam ruang dielektrik. Dengan proses ini terjadi pengumpulan muatan sejenis di dua sisi dielektrik.

Hasil perhitungan nilai konduktivitas ditunjukkan oleh grafik pada gambar 4.8. Penambahan larutan elektrolit dapat menaikkan nilai konduktivitas sampel. Telah diketahui sampel dengan penambahan H_3PO_4 memiliki muatan bebas banyak. Muatan bebas tersebut terbentuk karena H_3PO_4 terionisasi menjadi 3H^+ dan PO_4^{3-} . Konduktivitas tertinggi dimiliki sampel dengan penambahan KI/I_2 . Hal ini disebabkan redox pair KI/I_2 mempunyai dua proses perpindahan muatan, yaitu migrasi ion dan reaksi pertukaran elektron. Secara mekanis dapat diungkapkan dengan:



dimana A adalah ion pada keadaan tereduksi, AX adalah ion pada keadaan teroksidasi. A dan AX saling bertukar posisi dimana terjadi proses transfer difusi dari K/K^+ dan I^3/I^- .

Kapasitansi merupakan kemampuan bahan dalam menyimpan muatan. Kapasitansi berhubungan dengan konduktivitas dan banyak muatan dalam superkapasitor. Nilai kapasitansi tertinggi dimiliki oleh sampel dengan penambahan H_3PO_4 dengan nilai $4,7 \times 10^{-8}$ F, sedangkan nilai konduktivitas tertinggi dimiliki oleh sampel dengan penambahan KI/I_2 , hal ini disebabkan sampel dengan penambahan H_3PO_4 memiliki jumlah muatan lebih banyak.

Pengujian performa superkapasitor dilakukan dengan menggunakan metode *charge-discharge*. Tabel 4.3 menunjukkan sampel penambahan larutan

elektrolit meningkatkan nilai energy density dan power density yang dimiliki superkapasitor. *Energy density* dan power density tertinggi dimiliki sampel yang ditambah dengan KI/I₂. Performa dari sampel dengan penambahan H₃PO₄ dan sampel dengan penambahan KI/I₂ tidak bisa dibandingkan karena kedua sampel memiliki masa yang tidak sama. Namun berdasarkan data *cole-cole plot* sampel dengan penambahan KI/I₂ memiliki waktu relaksasi yang lebih lama dari sampel dengan penambahan H₃PO₄. Sedangkan berdasarkan data kapasitansi sampel dengan penambahan H₃PO₄ dapat menyimpan muatan yang lebih banyak sehingga dapat menyimpan tegangan lebih banyak.

Ciptaan Allah di atas muka bumi ini diciptakan dengan ukuran-ukuran yang cermat dan teliti, dengan perhitungan-perhitungan yang mapan dan dengan rumus-rumus serta persamaan yang seimbang dan rapi (Abdusysyahir, 2007). Segalanya saling melengkapi antara satu sama lain. Q.S Al-Qomar (54): 49 menjelaskan bahwa:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

“*Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran*”(Q.S Al-Qomar (54): 49).

Ayat diatas menjelaskan bahwa alam dan isinya diciptakan oleh Allah dengan ukuran, takaran, dan hitungan yang seimbang. Shihab (2003) menafsirkan bahwa kata *qadar* pada ayat diatas diperselisihkan oleh para ulama. Dari segi bahasa kata tersebut dapat berarti *kadar tertentu* yang tidak bertambah atau berkurang, atau berarti kuasa. Tetapi karena ayat tersebut berbicara tentang segala sesuatu yang berada dalam kuasa Allah, maka lebih tepat memahaminya dalam arti *ketentuan dan system yang telah ditetapkan terhadap segala sesuatu*. Tidak

hanya terbatas pada salah satu aspeknya saja. Manusia misalnya, telah ada *kadar yang ditetapkan* Allah baginya. Selaku jenis makhluk hidup ia dapat makan, minum dan berkembang biak melalui *system yang ditetapkan-Nya*. Manusia memiliki potensi baik dan buruk. Ia dituntut untuk mempertanggungjawabkan pilihannya. Manusia dianugerahi Allah petunjuk dengan kedatangan sekian Rasul untuk membimbing mereka. Akalpun dianugerahkan-Nya kepada mereka, demikian seterusnya yang kesemuanya dan yang selainnya termasuk kedalam *system* yang sangat tepat, teliti dan akurat yang telah ditetapkan Allah SWT. Demikian juga Allah telah menetapkan sistem dan kadar bagi ganjaran atau balasan-Nya yang akan diberikan pada setiap orang (Nofandika, 2009).

Q.S Al-Furqaan (25): 2 juga dijelaskan bahwa:

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ۝

“Yang kepunyaan-Nya-lah kerajaan langit dan bumi, dan Dia tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu baginya dalam kekuasaan(Nya), dan Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya”(Q.S Al-Furqaan (25): 2).

Ayat diatas menjelaskan bahwa segala sesuatu yang ada di alam ini ada ukurannya, ada hitung-hitungannya, ada rumusnya, atau persamaannya. Ahli matematika atau fisika tidak membuat suatu rumus sedikitpun. Mereka hanya menemukan rumus atau persamaan, sehingga rumus-rumus yang ada sekarang bukan diciptakan oleh manusia itu sendiri melainkan sudah disediakan. Manusia hanya menemukan dan menyimbolkan dalam bahasa matematika (Abdusysyafir, 1997).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, Hasil uji FTIR menunjukkan keratin-PVA yang ditambah dengan larutan elektrolit muncul gugus fungsi O-H dan C-X. Gugus fungsi C-X menunjukkan adanya vibrasi atom Cl, Br atau I.

Penambahan larutan elektrolit dapat meningkatkan konduktifitas, permitivitas, impedansi, dan kapasitansi superkapasitor. Peningkatan sifat listrik pada superkapasitor dengan penambahan H₃PO₄ disebabkan karena adanya ion 3H⁺ dan PO₄³⁻ yang memberikan sumbangan muatan bebas. Sedangkan peningkatan sampel dengan penambahan KI/I₂ disebabkan karena sumbangan muatan bebas dari ion KI⁺ dan I₂⁻, serta migrasi ion tersebut. Secara mekanis dapat diungkapkan dengan:



Data pengujian *chargr-discharge* menunjukkan penambahan larutan elektrolit meningkatkan performa superkapasitor. Performa terbaik dimiliki superkapasitor keratin-PVA dengan penambahan KI/I₂, dengan *energy density* sebesar 3,2 J kg⁻¹ dan *power density* 800 J kg⁻¹ s⁻¹. Sedangkan kapasitansi tertinggi dimiliki sampel dengan penambahan H₃PO₄ dengan nilai 4,7x10⁻⁸. Performa superkapasitor dengan penambahan H₃PO₄ dengan KI/I₂ tidak bisa dibandingkan karena kedua sampel memiliki masa yang tidak sama. Namun berdasarkan data *cole-cole plot* sampel dengan penambahan KI/I₂ memiliki waktu relaksasi yang lebih lama dari sampel H₃PO₄. Sedangkan berdasarkan data kapasitansi sampel

dengan penambahan H_3PO_4 dapat menyimpan muatan yang lebih banyak sehingga dapat menyimpan tegangan lebih banyak..

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan keratin yang telah diaktifasi secara kimia untuk memperbesar luas permukaan keratin, sehingga dapat mengikat lebih banyak muatan bebas.



DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Teguh. 2012. *Pengaruh Struktur Pori Terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Yang Dibuat Dari Karbon Nanopori*. Jogjakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Conway, B.E. 1999. *Electrochemical Supercapacitor: Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York: Kluwer Academic-Plenum Publisher.
- Damanhuri, Enri. 2008. *Sifat dan Karakterisasi Bahan Kimia Berbahaya*. Bandung: FTSL ITB.
- Farida, Amilatul. 2013. (Skripsi). *Karakterisasi dan Analisis Struktur Kristal Komposit Zat Keratin dari Bulu Unggas dan Magnesium (Mg) dengan Metode Rietveld*. Malang: UIN Malang.
- Gaman, P. M, dan Sherrington, K. B. 1992. *Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Gedam, S.K., Khandale, A.P., and Bhoga, S.S. 2013. *Development of Solid Proton Conductors Based On Doped Polyvinyl alcohol*. India: Department of Physics RTM Nagpur University.
- Girindra, A. 1986. *Biokimia I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Griffith, P.R. 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform Spectroscopy*. New York: Wiley.
- Haurowitz, F. 1984. *Biochemistry an Introduction Text Book*. New York.
- Hastuti, Erna. 2004. (Skripsi): *Penyiapan dan Karakterisasi Bahan Dielektrik PbTiO₃*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Hastuti, Erna. 2015. *Pemanfaatan Keratin Dari Limbah Bulu Angsa Sebagai Superkapasitor*. Malang: UIN Malang.
- Hotta, M., Hayashi, M., dkk. 2011. *Complex Permittivity of Graphite, Carbon Black and Coal Powders in the Range of X-band Frequencies (8.2 to 12.4 GHz) and between 1 and 10 GHz*. ISIJ International, Vol. 51, No. 11, pp. 1766-1772.
- Istiana. 2014. (Skripsi): *Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Pada Sifat Listrik Membran Kitosan*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Kamal, Allamah. 2005. *Tafsir Nurul Qur'an Jilid 8*. Jakarta: Al-Huda.
- M. Rosi, M. Abdullah. and Khairurrijal. 2009. *Supercapacitors Based on Nanoporous Carbon and Alkaline Polymer Electrolyte Membranes*. Proceeding of The 3rd Asian Physics Symposium. Bandung.

- M. Rozi, dkk. 2012. *Superkapasitor Menggunakan Polimer Hidrogel Elektrolit dan Elektroda nanopori Karbon*. Bandung: ITB Bandung.
- Pandolfo, A.G. dan Hollenkamp, A.F. 2006. *Carbon Properties and Their Role In Supercapacitor*. Australia: CSIRO Division of Energy Technology.
- Rifki Muhammad. 2011. (Skripsi). *Rancang Bangun Sistem Sumber Daya Tag Aktif Frip Berbasis Tenaga Surya dengan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Riskia, M. 2015. (Skripsi). *Superkapasitor berbahan Dasar Larutan Elektrolit Dan Keratin-PVA Sebagai Elektroda (Kajian Penambahan Larutan Elektrolit dan Redox Pair pada Matriks Polimer)*. Malang: UIN Malang.
- Robertson, G.P. Mikhaelenko, S.D. Wang, K, Xing, P. Gueiver, M.D. 2003. *Casting Solvent With Sulfonated Poly(eter keton) During proton Exange Membrane Fabrication*. Journal of Membrane Science (219):113-121.
- Santiago, Jorge and Cardona, Rocio. *Separator Membrane Produced from Polymer by Electrospinning for Aplications in Electrical Double Layer Capacitors*. University of North Carolina at Chapel Hill.
- Shahidi. 1999. *Aplication of Chitin and Chitosan. Trend in food science and Tecchnology*. vol 10, no 2.
- Shukla, A.K., at al. 2000. *Electrochemical Supercapacitors: Energy Storage Beyond Batteries*, Current Science, vol. 79, no. 12.
- Simanjuntak, Jihar Maurits. 2008. (Tesis): *Studi Film Polyvinil Alkohol (PVA) Dimodifikasi Dengan Acrylamide (AAM) Sebagai Material Sensitif Terhadap Kelembaban*. Depok: Univeritas Indonesia.
- Tahid, 1994, *Spektroskopi Infra Merah Fourier Transform (FT-IR)*. Surabaya: WARTA.
- Callister, Williams M., at al. *Evaluation of a Bacterial Feather Fermentation Product, Feather Fermentation Product, Feather-Lysate, as a Feed Protein*. Poultry Sci. 70:85-94.
- Yin, Yijing, 2010. "An Experimental Study on PEO Polymer Electrolyte Based All-Solid-State Supercapacitor". Open Access Dissertations. Paper 440.
- Yoo, J.J., Balakrishnan, at al. *Ultrathin Planar Graphene Supercapacitors*. Nano Lett. 2011, 11, 1423-1427.
- Yin, Yijing, "An Experimental Study on PEO Polymer Electrolyte Based All-Solid-State Supercapacitor" (2010).Open Access Dissertations. Paper 440

Yudi Miswar, dkk. 2010. *Sintesa dan Karakterisasi Nanokristalin ZnCo_2O_4 dengan Metode Sonokimia Menggunakan Ultrasonic Bath Untuk Bahan Komposit Superkapasitor Simetris $\text{ZnCo}_2\text{O}_4/\text{Carbon Nanotube}$* . Malang: Universitas Negeri Malang.

Zhou, Juanjuan, 2012. "An Experimental Study of All-Solid-State Mediator Supercapacitor and Fundamental Study of Interfaces in Polymer Electrolyte Fuel Cell". Open Access Dissertations. Paper 784.



Lampiran 1. Perhitungan konsentrasi larutan elektrolit

Perhitungan konsentrasi larutan elektrolit 10 mL H₃PO₄ 0,5 M

Membuat larutan 0,5 M H₃PO₄ dari H₃PO₄ 4 M

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$4 \text{ M} \cdot V_1 = 0,5 \text{ M} \cdot 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1,25 \text{ mL}$$

Jadi volume yang diambil dari H₃PO₄ 4 M sebesar 1,25 mL dan dilarutkan dalam pelarut hingga volume mencapai 10 mL

Perhitungan konsentrasi larutan elektrolit 10 mL KI:I₂ 0,5 M

$$M_{\text{tot}} \cdot V_{\text{tot}} = (M_{\text{KI}} \cdot V_{\text{KI}} + M_{\text{I}_2} \cdot V_{\text{I}_2})$$

$$0,5 \text{ M} \cdot 10 \text{ mL} = (M_{\text{KI}} \cdot 5 \text{ mL} + 0,1 \text{ M} \cdot 5 \text{ mL})$$

$$M_{\text{KI}} = 0,9 \text{ M}$$

Karena KI berbentuk serbuk maka banyak gram yang diambil,

$$M_{\text{KI}} = \text{gr}/\text{Mr} \cdot 1000/V$$

$$0,9 \text{ M} = \text{gr}/166 \cdot 1000/5 \text{ mL}$$

$$\text{Gr} = 0,747 \text{ gr}$$

Jadi diambil 0,747 gr KI dilarutkan dalam 5 mL pelarut dan ditambahkan 5 mL I_2 0,1 M

Perhitungan konsentrasi larutan elektrolit 10 mL H_3PO_4 :KI: I_2 0,5 M

Karena KI berbentuk serbuk maka banyak gram yang diambil,

$$\text{M}_{\text{tot}} \cdot \text{V}_{\text{tot}} = (\text{M}_{\text{KI}} \cdot \text{V}_{\text{KI}} + \text{M}_{\text{I}_2} \cdot \text{V}_{\text{I}_2})$$

$$\text{M}_{\text{tot}} \cdot 5 \text{ mL} = (0,2 \text{ M} \cdot 2,5 \text{ mL} + 0,1 \text{ M} \cdot 2,5 \text{ mL})$$

$$\text{M}_{\text{tot}} = \text{M}_{\text{KI:I}_2} = 0,15 \text{ M}$$

$$\text{M}_{\text{tot}} \cdot \text{V}_{\text{tot}} = (\text{M}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot \text{V}_{\text{H}_3\text{PO}_4} + \text{M}_{\text{KI:I}_2} \cdot \text{V}_{\text{KI:I}_2})$$

$$0,5 \text{ M} \cdot 10 \text{ mL} = (\text{M}_{\text{H}_3\text{PO}_4} \cdot 5 \text{ mL} + 0,15 \text{ M} \cdot 5 \text{ mL})$$

$$\text{M}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 0,85 \text{ M}$$

Untuk membuat larutan 0,85 M H_3PO_4 dari H_3PO_4 4 M adalah,

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$4 \text{ M} \cdot V_1 = 0,85 \text{ M} \cdot 5 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1,0625 \text{ mL}$$

Jadi mengambil 1,0625 mL H_3PO_4 4 M dan ditambahkan pelarut hingga volume mencapai 5 mL kemudian ditambahkan 0,15 M $\text{KI}:\text{I}_2$ sebanyak 5 mL



Lampiran 2. Perhitungan konduktivitas sampel

Perhitungan konduktivitas sampel superkapasitor keratin-PVA dengan penambahan KI/I₂ pada frekuensi 999 KHz

Diketahui

$$A = 5,61 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = 3,814 \times 10^4 \Omega$$

$$d = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ditanya : $\sigma = \dots?$

Jawab :

$$\sigma = d / A.R$$

$$\sigma = 3 \times 10^{-4} / 5,61 \times 10^{-5} \cdot 3,814 \times 10^4 = 1,87 \times 10^{-4} \text{ Sm}^{-1}$$

Perhitungan konduktivitas superkapasitor keratin-PVA dengan penambahan H₃PO₄ pada frekuensi 999 KHz

Diketahui

$$A = 5,38 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = 3,59 \times 10^4 \Omega$$

$$d = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ditanya : $\sigma = \dots?$

Jawab :

$$\sigma = d / A.R$$

$$\sigma = 3 \times 10^{-4} / 5,38 \times 10^{-5} \cdot 3,59 \times 10^4 = 1,55 \times 10^{-4} \text{ Sm}^{-1}$$

Perhitungan konduktivitas Superkapasitor pada frekuensi 999 KHz

Diketahui

$$A = 4,794 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = 1,304 \times 10^5 \Omega$$

$$d = 4 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ditanya : $\sigma = \dots?$

Jawab :

$$\sigma = d / A.R$$

$$\sigma = 4 \times 10^{-4} / 4,794 \times 10^{-5} \cdot 1,304 \times 10^5 = 6,4 \times 10^{-5} \text{ Sm}^{-1}$$

Perhitungan konduktivitas kapasitor pada frekuensi 999 KHz

Diketahui

$$A = 3,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = 1,593 \times 10^5 \Omega$$

$$d = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ditanya : $\sigma = \dots?$

Jawab :

$$\sigma = d / A.R$$

$$\sigma = 3 \times 10^{-4} / 5,38 \times 10^{-5} \cdot 1,593 \times 10^5 = 5,23 \times 10^{-4} \text{ Sm}^{-1}$$

Lampiran 3. Perhitungan impedansi real dan imajiner sampel

Perhitungan impedansi real dan imajiner sepekapasitor dengan penambahan KI/I₂ pada frekuensi 999 KHz

$$R = 3,814 \times 10^4 \Omega$$

$$f = 999000 \text{ Hz}$$

$$C = 1,78 \times 10^{-8} \text{ F}$$

Ditanya : Z' dan $Z'' = \dots?$

Jawab :

Nilai impedansi real dihitung dengan persamaan,

$$Z' = R / (1 + (2\pi f.RC)^2)$$

$$Z' = 3,814 \times 10^4 / (1 + (2.3,14.999000. 3,814 \times 10^4. 1,78 \times 10^{-8})^2)$$

$$Z' = 1,81 \times 10^7 \Omega$$

Nilai impedansi imajiner dihitung dengan persamaan,

$$Z'' = 2\pi f.R^2C/(1+(2\pi f.RC)^2)$$

$$Z'' = 2.3,14.999000.(3,814 \times 10^4)^2.1,78 \times 10^{-8}/(1+(2.3,14.999000.3,814 \times 10^4.1,78 \times 10^{-8})^2)$$

$$Z'' = 1,8 \times 10^8 \Omega$$

Sampel yang lain dilakukan dengan perhitungan yang sama.

Lampiran 4. Perhitungan permitivitas real dan imajiner sampel

Perhitungan permitivitas real dan imajiner superkapasitor dengan penambahan KI/I₂ pada frekuensi 999 KHz

Diketahui

$$C = 1,78 \times 10^{-8} \text{ F}$$

$$d = 4 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$A = 5,61 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$D = 0,228$$

Ditanya : ϵ' dan $\epsilon'' = \dots?$

Jawab :

$$\epsilon_r = C.d/A. \epsilon_0$$

$$\epsilon_r = 1,78 \times 10^{-8} \cdot 4 \times 10^{-4} / 5,61 \times 10^{-5} \cdot 8,85 \times 10^{-12}$$

$$\epsilon_r = 1,43 \times 10^4 \text{ F/m (permitivitas relatif)}$$

nilai ϵ_r digunakan untuk menentukan nilai ϵ' dan ϵ'' ,

$$\epsilon' = \epsilon_r^2 / (\sqrt{1 + D^2})$$

$$\epsilon' = (1,43 \times 10^4)^2 / (\sqrt{1 + (0,228)^2})$$

$$\epsilon' = 2 \times 10^8 \text{ (permitivitas real)}$$

$$\epsilon'' = \epsilon' \cdot D$$

$$\epsilon'' = 2 \times 10^8 \cdot 0,228$$

$$\epsilon'' = 4,556 \times 10^7 \text{ (permitivitas imajiner)}$$

Lampiran 5. Perhitungan *energy density* dan *power density* superkapasitor dengan penambahan KI/I₂

Diketahui :

$$I = 0,2 \text{ A}$$

$$V = 0,12 \text{ volt}$$

$$m = 6 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\Delta t_d = 0,004 \text{ s}$$

Ditanya : E dan P = ...?

Jawab :

$$E = I.V. \Delta t_d / 2.m$$

$$E = 3,2 \text{ Joule/kg}$$

$$P = E / \Delta t_d$$

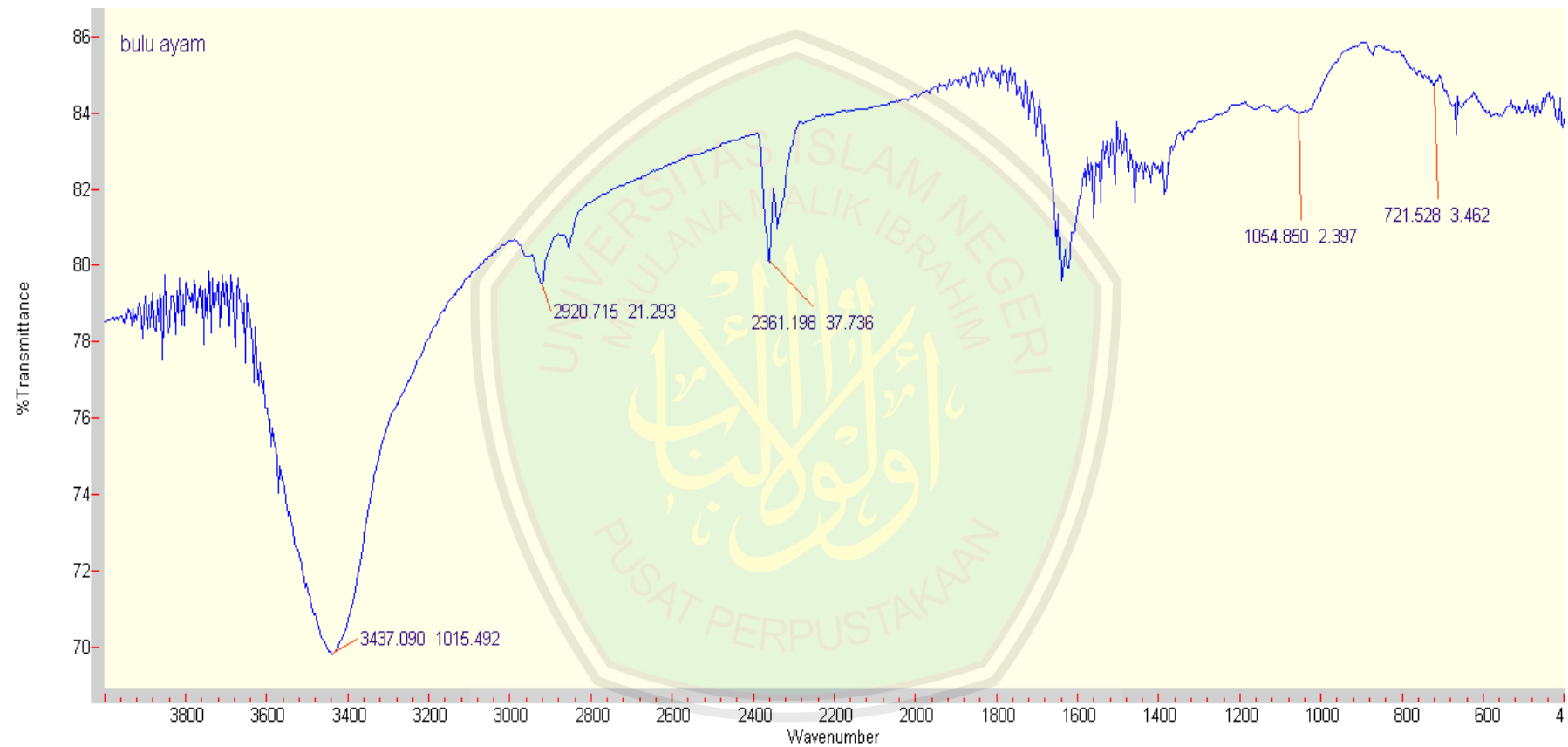
$$P = 3,2 \text{ Joule/kg} / 0,004 \text{ s}$$

$$P = 800 \text{ joule kg}^{-1}\text{s}^{-1}$$

Dilakukan perhitungan yang sama pada semua sampel



Lampiran 6. Hasil FTIR keratin-PVA.



Lampiran 7. Tabel gugus fungsi.

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Tipe vibrasi (gugus fungsi)
4000-3200	O-H and N-H
3310-3300	C-H
3100-3000	C-H
3000-2800	C-H
2500-2000	X≡X, X=Y, Y=Z
1870-1550	C=O
1690-1620	C=C
1680-1610	N=O
1655-1610	-O-NO ₂
1600-1500	-NO ₂
1600-1540	C=C
1490-1150	H-C-H
1420-990	S=O
1310-1020	C-O-C
1225-1045	C=S
1000-780	C=C-H
900-670	C-H
850-500	C-X
730-720	(CH ₂) _{n>3}
	X, Y, Z may represent any of the atom C, N, O, and S Band may be absent owing to symmetry of functional group X may be Cl, Br or I

Lampiran 8. Data hasil RCL meter

sample: Kitosan-PVA-KI/I2

					panjang 0,01013 lebar 0,0055 luas 6E-05										
					D 0,0004										
Freq. lin:	Cp	D	Rp	Z	ω	$A \times \epsilon_0$	ϵ_r	ϵ_r^2	D^2	ϵ_r'	ϵ_r''	$A \times R$	σ	$Z''(\text{imj})$	$Z'(\text{riil})$
2000	5,35E-11	1	935220	771100	12560	5E-16	4,31E+01	1,86E+03	1,5154	1171,4	1442	5,25E+01	7,62E-06	5,88E+05	9,35E+05
3000	4,76E-11	1	874970	669100	18840	5E-16	3,83E+01	1,47E+03	1,0424	1029,1	1050,7	4,91E+01	8,15E-06	6,87E+05	8,75E+05
4000	4,42E-11	0,895	829150	593000	25120	5E-16	3,56E+01	1,27E+03	0,801	944,91	845,7	4,65E+01	8,60E-06	7,63E+05	8,29E+05
5000	4,19E-11	0,813	788730	532500	31400	5E-16	3,38E+01	1,14E+03	0,661	884,21	718,86	4,42E+01	9,04E-06	8,18E+05	7,89E+05
6000	4,01E-11	0,749	757040	485000	37680	5E-16	3,23E+01	1,04E+03	0,561	835,4	625,72	4,25E+01	9,42E-06	8,66E+05	7,57E+05
7000	3,88E-11	0,701	726740	444900	43960	5E-16	3,13E+01	9,77E+02	0,4914	800,15	560,91	4,08E+01	9,81E-06	9,01E+05	7,27E+05
8000	3,77E-08	0,663	694320	409600	50240	5E-16	3,04E+04	9,22E+08	0,4396	8E+08	5E+08	3,90E+01	1,03E-05	9,14E+08	2,42E+06
10000	3,60E-08	0,607	650860	357500	62800	5E-16	2,90E+04	8,43E+08	0,3684	7E+08	4E+08	3,65E+01	1,10E-05	9,61E+08	2,82E+06
11000	3,53E-08	0,583	630740	336100	69080	5E-16	2,84E+04	8,08E+08	0,3399	7E+08	4E+08	3,54E+01	1,13E-05	9,72E+08	3,00E+06
12000	3,46E-08	0,561	612200	317300	75360	5E-16	2,79E+04	7,78E+08	0,3147	7E+08	4E+08	3,43E+01	1,16E-05	9,80E+08	3,16E+06
13000	3,40E-08	0,542	595710	300900	81640	5E-16	2,74E+04	7,52E+08	0,2938	7E+08	4E+08	3,34E+01	1,20E-05	9,89E+08	3,34E+06
14000	3,35E-08	0,525	581870	286400	87920	5E-16	2,70E+04	7,29E+08	0,2756	6E+08	3E+08	3,26E+01	1,23E-05	1,00E+09	3,52E+06
15000	3,30E-08	0,51	567820	273200	94200	5E-16	2,66E+04	7,09E+08	0,2601	6E+08	3E+08	3,19E+01	1,26E-05	1,01E+09	3,69E+06

16000	3,26E-08	0,497	552230	260800	1E+05	5E-16	2,63E+04	6,91E+08	0,247	6E+08	3E+08	3,10E+01	1,29E-05	1,00E+09	3,83E+06
17000	3,22E-08	0,485	540890	250100	1E+05	5E-16	2,60E+04	6,75E+08	0,2352	6E+08	3E+08	3,03E+01	1,32E-05	1,01E+09	4,01E+06
18000	3,19E-08	0,475	531300	240500	1E+05	5E-16	2,57E+04	6,60E+08	0,2256	6E+08	3E+08	2,98E+01	1,34E-05	1,02E+09	4,20E+06
19000	3,16E-08	0,465	521120	231600	1E+05	5E-16	2,54E+04	6,47E+08	0,2162	6E+08	3E+08	2,92E+01	1,37E-05	1,03E+09	4,37E+06
20000	3,13E-08	0,456	511380	223300	1E+05	5E-16	2,52E+04	6,34E+08	0,2079	6E+08	3E+08	2,87E+01	1,39E-05	1,03E+09	4,54E+06
21000	3,10E-08	0,448	502260	215700	1E+05	5E-16	2,50E+04	6,23E+08	0,2007	6E+08	3E+08	2,82E+01	1,42E-05	1,03E+09	4,71E+06
22000	3,07E-08	0,44	492760	208400	1E+05	5E-16	2,47E+04	6,13E+08	0,1936	6E+08	2E+08	2,76E+01	1,45E-05	1,03E+09	4,87E+06
24000	3,03E-08	0,428	476900	195700	2E+05	5E-16	2,44E+04	5,95E+08	0,1832	5E+08	2E+08	2,68E+01	1,50E-05	1,04E+09	5,21E+06
25000	3,01E-08	0,422	468860	189900	2E+05	5E-16	2,42E+04	5,87E+08	0,1781	5E+08	2E+08	2,63E+01	1,52E-05	1,04E+09	5,37E+06
26000	2,99E-08	0,417	461110	184400	2E+05	5E-16	2,41E+04	5,80E+08	0,1739	5E+08	2E+08	2,59E+01	1,55E-05	1,04E+09	5,52E+06
27000	2,97E-08	0,411	453480	179200	2E+05	5E-16	2,39E+04	5,72E+08	0,1689	5E+08	2E+08	2,54E+01	1,57E-05	1,04E+09	5,66E+06
29000	2,93E-08	0,401	435930	169200	2E+05	5E-16	2,36E+04	5,58E+08	0,1608	5E+08	2E+08	2,45E+01	1,64E-05	1,02E+09	5,85E+06
30000	2,91E-08	0,396	428930	164800	2E+05	5E-16	2,35E+04	5,51E+08	0,1568	5E+08	2E+08	2,41E+01	1,66E-05	1,02E+09	5,97E+06
31000	2,90E-08	0,392	422720	160800	2E+05	5E-16	2,33E+04	5,45E+08	0,1537	5E+08	2E+08	2,37E+01	1,69E-05	1,01E+09	6,11E+06
32000	2,88E-08	0,388	416900	156900	2E+05	5E-16	2,32E+04	5,39E+08	0,1505	5E+08	2E+08	2,34E+01	1,71E-05	1,01E+09	6,24E+06

33000	2,87E-08	0,384	411490	153300	2E+05	5E-16	2,31E+04	5,33E+08	0,1475	5E+08	2E+08	2,31E+01	1,73E-05	1,01E+09	6,38E+06
34000	2,85E-08	0,38	404470	149600	2E+05	5E-16	2,30E+04	5,28E+08	0,1444	5E+08	2E+08	2,27E+01	1,76E-05	1,00E+09	6,48E+06
36000	2,83E-08	0,374	394840	143300	2E+05	5E-16	2,28E+04	5,19E+08	0,1399	5E+08	2E+08	2,22E+01	1,81E-05	1,00E+09	6,76E+06
37000	2,82E-08	0,371	388550	140100	2E+05	5E-16	2,27E+04	5,15E+08	0,1376	5E+08	2E+08	2,18E+01	1,84E-05	9,95E+08	6,86E+06
38000	2,81E-08	0,369	380290	136800	2E+05	5E-16	2,26E+04	5,11E+08	0,1362	5E+08	2E+08	2,13E+01	1,87E-05	9,75E+08	6,87E+06
39000	2,80E-08	0,366	375260	134000	2E+05	5E-16	2,25E+04	5,07E+08	0,134	5E+08	2E+08	2,11E+01	1,90E-05	9,71E+08	6,98E+06
40000	2,79E-08	0,364	366810	130900	3E+05	5E-16	2,25E+04	5,04E+08	0,1325	5E+08	2E+08	2,06E+01	1,94E-05	9,49E+08	6,96E+06
41000	2,77E-08	0,361	358910	127900	3E+05	5E-16	2,23E+04	4,99E+08	0,1303	5E+08	2E+08	2,01E+01	1,99E-05	9,27E+08	6,93E+06
43000	2,75E-08	0,354	350300	123100	3E+05	5E-16	2,21E+04	4,90E+08	0,1253	5E+08	2E+08	1,97E+01	2,04E-05	9,17E+08	7,10E+06
44000	2,73E-08	0,351	347650	121100	3E+05	5E-16	2,20E+04	4,85E+08	0,1232	5E+08	2E+08	1,95E+01	2,05E-05	9,20E+08	7,25E+06
45000	2,72E-08	0,348	344310	119000	3E+05	5E-16	2,19E+04	4,81E+08	0,1211	5E+08	2E+08	1,93E+01	2,07E-05	9,19E+08	7,35E+06
46000	2,71E-08	0,345	341750	117100	3E+05	5E-16	2,18E+04	4,76E+08	0,119	5E+08	2E+08	1,92E+01	2,09E-05	9,21E+08	7,49E+06
47000	2,70E-08	0,342	338950	115300	3E+05	5E-16	2,17E+04	4,72E+08	0,117	4E+08	2E+08	1,90E+01	2,10E-05	9,22E+08	7,62E+06
48000	2,69E-08	0,339	336280	113500	3E+05	5E-16	2,16E+04	4,69E+08	0,1149	4E+08	2E+08	1,89E+01	2,12E-05	9,23E+08	7,76E+06
49000	2,68E-08	0,337	333370	111700	3E+05	5E-16	2,16E+04	4,65E+08	0,1136	4E+08	1E+08	1,87E+01	2,14E-05	9,23E+08	7,87E+06

50000	2,67E-08	0,335	330540	110000	3E+05	5E-16	2,15E+04	4,62E+08	0,1122	4E+08	1E+08	1,85E+01	2,16E-05	9,23E+08	7,99E+06
51000	2,66E-08	0,333	327550	108300	3E+05	5E-16	2,14E+04	4,59E+08	0,1109	4E+08	1E+08	1,84E+01	2,18E-05	9,21E+08	8,10E+06
53000	2,64E-08	0,329	322620	105200	3E+05	5E-16	2,13E+04	4,53E+08	0,1082	4E+08	1E+08	1,81E+01	2,21E-05	9,23E+08	8,37E+06
54000	2,63E-08	0,327	320040	103700	3E+05	5E-16	2,12E+04	4,50E+08	0,1069	4E+08	1E+08	1,80E+01	2,23E-05	9,23E+08	8,49E+06
55000	2,63E-08	0,325	317440	102300	3E+05	5E-16	2,11E+04	4,47E+08	0,1056	4E+08	1E+08	1,78E+01	2,25E-05	9,22E+08	8,60E+06
56000	2,62E-08	0,323	314680	100800	4E+05	5E-16	2,11E+04	4,45E+08	0,1043	4E+08	1E+08	1,77E+01	2,27E-05	9,20E+08	8,70E+06
58000	2,60E-08	0,32	309470	98120	4E+05	5E-16	2,10E+04	4,40E+08	0,1024	4E+08	1E+08	1,74E+01	2,30E-05	9,17E+08	8,92E+06
59000	2,60E-08	0,318	306590	96760	4E+05	5E-16	2,09E+04	4,37E+08	0,1011	4E+08	1E+08	1,72E+01	2,33E-05	9,13E+08	9,00E+06
60000	2,59E-08	0,317	303730	95460	4E+05	5E-16	2,09E+04	4,35E+08	0,1005	4E+08	1E+08	1,70E+01	2,35E-05	9,09E+08	9,08E+06
61000	2,58E-08	0,316	301470	94230	4E+05	5E-16	2,08E+04	4,33E+08	0,0999	4E+08	1E+08	1,69E+01	2,37E-05	9,08E+08	9,19E+06
62000	2,58E-08	0,314	298630	92990	4E+05	5E-16	2,07E+04	4,30E+08	0,0986	4E+08	1E+08	1,68E+01	2,39E-05	9,03E+08	9,26E+06
63000	2,57E-08	0,313	296150	91790	4E+05	5E-16	2,07E+04	4,28E+08	0,098	4E+08	1E+08	1,66E+01	2,41E-05	9,00E+08	9,36E+06
64000	2,56E-08	0,312	293700	90650	4E+05	5E-16	2,06E+04	4,26E+08	0,0973	4E+08	1E+08	1,65E+01	2,43E-05	8,98E+08	9,45E+06
65000	2,56E-08	0,31	291340	89520	4E+05	5E-16	2,06E+04	4,24E+08	0,0961	4E+08	1E+08	1,63E+01	2,45E-05	8,95E+08	9,54E+06
67000	2,54E-08	0,308	286440	87340	4E+05	5E-16	2,05E+04	4,20E+08	0,0949	4E+08	1E+08	1,61E+01	2,49E-05	8,88E+08	9,69E+06

68000	2,54E-08	0,306	283930	86280	4E+05	5E-16	2,05E+04	4,18E+08	0,0936	4E+08	1E+08	1,59E+01	2,51E-05	8,84E+08	9,76E+06
69000	2,53E-08	0,305	281380	85240	4E+05	5E-16	2,04E+04	4,16E+08	0,093	4E+08	1E+08	1,58E+01	2,53E-05	8,79E+08	9,82E+06
70000	2,53E-08	0,304	278880	84220	4E+05	5E-16	2,04E+04	4,14E+08	0,0924	4E+08	1E+08	1,56E+01	2,56E-05	8,74E+08	9,88E+06
71000	2,52E-08	0,303	276470	83230	4E+05	5E-16	2,03E+04	4,13E+08	0,0918	4E+08	1E+08	1,55E+01	2,58E-05	8,69E+08	9,93E+06
72000	2,52E-08	0,302	274220	82280	5E+05	5E-16	2,03E+04	4,11E+08	0,0912	4E+08	1E+08	1,54E+01	2,60E-05	8,65E+08	1,00E+07
73000	2,51E-08	0,301	272330	81370	5E+05	5E-16	2,02E+04	4,09E+08	0,0906	4E+08	1E+08	1,53E+01	2,62E-05	8,64E+08	1,01E+07
74000	2,51E-08	0,3	269940	80460	5E+05	5E-16	2,02E+04	4,07E+08	0,09	4E+08	1E+08	1,51E+01	2,64E-05	8,58E+08	1,01E+07
76000	2,50E-08	0,298	265100	78620	5E+05	5E-16	2,01E+04	4,04E+08	0,0888	4E+08	1E+08	1,49E+01	2,69E-05	8,47E+08	1,02E+07
78000	2,49E-08	0,296	260530	76900	5E+05	5E-16	2,00E+04	4,01E+08	0,0876	4E+08	1E+08	1,46E+01	2,74E-05	8,36E+08	1,03E+07
80000	2,48E-08	0,294	256410	75280	5E+05	5E-16	1,99E+04	3,98E+08	0,0864	4E+08	1E+08	1,44E+01	2,78E-05	8,28E+08	1,04E+07
82000	2,47E-08	0,292	252270	73740	5E+05	5E-16	1,99E+04	3,95E+08	0,0853	4E+08	1E+08	1,42E+01	2,83E-05	8,18E+08	1,05E+07
83000	2,46E-08	0,291	250690	73020	5E+05	5E-16	1,98E+04	3,93E+08	0,0847	4E+08	1E+08	1,41E+01	2,84E-05	8,17E+08	1,06E+07
84000	2,46E-08	0,29	248920	72310	5E+05	5E-16	1,98E+04	3,92E+08	0,0841	4E+08	1E+08	1,40E+01	2,86E-05	8,13E+08	1,07E+07
85000	2,45E-08	0,289	247140	71590	5E+05	5E-16	1,98E+04	3,91E+08	0,0835	4E+08	1E+08	1,39E+01	2,89E-05	8,10E+08	1,07E+07
86000	2,45E-08	0,289	245720	70930	5E+05	5E-16	1,97E+04	3,89E+08	0,0835	4E+08	1E+08	1,38E+01	2,90E-05	8,09E+08	1,08E+07

87000	2,44E-08	0,288	244200	70270	5E+05	5E-16	1,97E+04	3,88E+08	0,0829	4E+08	1E+08	1,37E+01	2,92E-05	8,07E+08	1,09E+07
89000	2,44E-08	0,286	241160	68990	6E+05	5E-16	1,96E+04	3,85E+08	0,0818	4E+08	1E+08	1,35E+01	2,96E-05	8,03E+08	1,10E+07
90000	2,43E-08	0,285	239600	68360	6E+05	5E-16	1,96E+04	3,84E+08	0,0812	4E+08	1E+08	1,34E+01	2,98E-05	8,00E+08	1,11E+07
91000	2,43E-08	0,285	237800	67720	6E+05	5E-16	1,96E+04	3,83E+08	0,0812	4E+08	1E+08	1,33E+01	3,00E-05	7,96E+08	1,11E+07
92000	2,42E-08	0,284	236310	67120	6E+05	5E-16	1,95E+04	3,81E+08	0,0807	4E+08	1E+08	1,33E+01	3,02E-05	7,93E+08	1,12E+07
94000	2,42E-08	0,283	232620	65890	6E+05	5E-16	1,95E+04	3,79E+08	0,0801	4E+08	1E+08	1,30E+01	3,07E-05	7,83E+08	1,12E+07
95000	2,41E-08	0,282	230880	65300	6E+05	5E-16	1,94E+04	3,78E+08	0,0795	4E+08	1E+08	1,30E+01	3,09E-05	7,78E+08	1,13E+07
96000	2,41E-08	0,282	229080	64690	6E+05	5E-16	1,94E+04	3,76E+08	0,0795	4E+08	1E+08	1,29E+01	3,11E-05	7,73E+08	1,13E+07
97000	2,40E-08	0,281	227520	64130	6E+05	5E-16	1,94E+04	3,75E+08	0,079	4E+08	1E+08	1,28E+01	3,13E-05	7,69E+08	1,13E+07
98000	2,40E-08	0,28	226190	63590	6E+05	5E-16	1,93E+04	3,74E+08	0,0784	4E+08	1E+08	1,27E+01	3,15E-05	7,67E+08	1,14E+07
99000	2,40E-08	0,28	224920	63080	6E+05	5E-16	1,93E+04	3,73E+08	0,0784	4E+08	1E+08	1,26E+01	3,17E-05	7,65E+08	1,15E+07
100000	2,39E-08	0,279	223660	62560	6E+05	5E-16	1,93E+04	3,72E+08	0,0778	4E+08	1E+08	1,25E+01	3,19E-05	7,63E+08	1,15E+07

Keratin-PVA-H₃PO₄

panjang 0,0102 lebar 0,0053 luas 5E-05

D 0,0003

Freq.	Cp	D	Rp	Z	ω	$A \times \epsilon_0$	ϵ_r	ϵ_r^2	D^2	ϵ_r'	ϵ_r''	$A \times R$	σ	$Z''(\text{imj})$	$Z'(\text{riil})$
2000	6,23E-11	0,893	1,51E+10	989500	12560	5E-16	3,93E+01	1,54E+03	0,7974	1151	1027,9	8,15E+05	3,68E-10	1,79E+14	1,53E+10
3000	5,66E-11	0,743	1,34E+10	778600	18840	5E-16	3,57E+01	1,27E+03	0,552	1022,4	759,64	7,18E+05	4,18E-10	1,90E+14	1,36E+10
4000	5,31E-11	0,656	1,21E+10	646500	25120	5E-16	3,35E+01	1,12E+03	0,4303	937,36	614,91	6,52E+05	4,60E-10	1,96E+14	1,24E+10
5000	5,07E-11	0,594	1,12E+10	554900	31400	5E-16	3,20E+01	1,02E+03	0,3528	878,68	521,94	6,00E+05	5,00E-10	1,98E+14	1,15E+10
6000	4,90E-11	0,553	1,04E+10	487700	37680	5E-16	3,09E+01	9,55E+02	0,3058	835,39	461,97	5,59E+05	5,36E-10	2,00E+14	1,08E+10
8000	4,66E-08	0,494	926450	395300	50240	5E-16	2,94E+04	8,62E+08	0,244	8E+08	4E+08	4,98E+01	6,02E-06	2,01E+09	5,62E+06
9000	4,57E-08	0,473	881570	361800	56520	5E-16	2,88E+04	8,29E+08	0,2237	7E+08	4E+08	4,74E+01	6,33E-06	2,01E+09	6,06E+06
10000	4,49E-08	0,456	841180	333800	62800	5E-16	2,83E+04	8,01E+08	0,2079	7E+08	3E+08	4,53E+01	6,63E-06	2,00E+09	6,46E+06
11000	4,41E-08	0,437	807790	310400	69080	5E-16	2,78E+04	7,73E+08	0,191	7E+08	3E+08	4,35E+01	6,90E-06	1,99E+09	6,86E+06
12000	4,33E-08	0,421	776660	290200	75360	5E-16	2,73E+04	7,46E+08	0,1772	7E+08	3E+08	4,18E+01	7,18E-06	1,98E+09	7,21E+06
13000	4,27E-08	0,407	748190	272500	81640	5E-16	2,69E+04	7,25E+08	0,1656	7E+08	3E+08	4,03E+01	7,45E-06	1,96E+09	7,55E+06
14000	4,21E-08	0,395	721490	256900	87920	5E-16	2,66E+04	7,05E+08	0,156	7E+08	3E+08	3,88E+01	7,73E-06	1,93E+09	7,86E+06
15000	4,17E-08	0,386	697770	243200	94200	5E-16	2,63E+04	6,90E+08	0,149	6E+08	2E+08	3,75E+01	7,99E-06	1,92E+09	8,20E+06
16000	4,13E-08	0,378	675900	231000	1E+05	5E-16	2,60E+04	6,78E+08	0,1429	6E+08	2E+08	3,64E+01	8,25E-06	1,90E+09	8,54E+06

17000	4,10E-08	0,372	655410	219900	1E+05	5E-16	2,58E+04	6,67E+08	0,1384	6E+08	2E+08	3,53E+01	8,51E-06	1,89E+09	8,87E+06
18000	4,06E-08	0,365	636500	210000	1E+05	5E-16	2,56E+04	6,57E+08	0,1332	6E+08	2E+08	3,42E+01	8,76E-06	1,87E+09	9,19E+06
19000	4,03E-08	0,358	618360	200900	1E+05	5E-16	2,54E+04	6,44E+08	0,1282	6E+08	2E+08	3,33E+01	9,02E-06	1,85E+09	9,44E+06
20000	3,99E-08	0,351	601840	192600	1E+05	5E-16	2,52E+04	6,33E+08	0,1232	6E+08	2E+08	3,24E+01	9,27E-06	1,82E+09	9,70E+06
21000	3,96E-08	0,345	586270	185100	1E+05	5E-16	2,50E+04	6,23E+08	0,119	6E+08	2E+08	3,15E+01	9,51E-06	1,80E+09	9,96E+06
22000	3,94E-08	0,34	571580	178100	1E+05	5E-16	2,48E+04	6,16E+08	0,1156	6E+08	2E+08	3,08E+01	9,76E-06	1,79E+09	1,02E+07
23000	3,91E-08	0,337	557650	171600	1E+05	5E-16	2,47E+04	6,09E+08	0,1136	6E+08	2E+08	3,00E+01	1,00E-05	1,77E+09	1,05E+07
25000	3,87E-08	0,329	531960	160200	2E+05	5E-16	2,44E+04	5,95E+08	0,1082	6E+08	2E+08	2,86E+01	1,05E-05	1,73E+09	1,10E+07
27000	3,83E-08	0,322	508770	150100	2E+05	5E-16	2,42E+04	5,84E+08	0,1037	6E+08	2E+08	2,74E+01	1,10E-05	1,69E+09	1,14E+07
28000	3,81E-08	0,319	497970	145600	2E+05	5E-16	2,40E+04	5,78E+08	0,1018	6E+08	2E+08	2,68E+01	1,12E-05	1,67E+09	1,17E+07
30000	3,79E-08	0,315	478160	137400	2E+05	5E-16	2,39E+04	5,71E+08	0,0992	5E+08	2E+08	2,57E+01	1,17E-05	1,64E+09	1,21E+07
31000	3,78E-08	0,313	468580	133600	2E+05	5E-16	2,38E+04	5,67E+08	0,098	5E+08	2E+08	2,52E+01	1,19E-05	1,63E+09	1,23E+07
32000	3,76E-08	0,31	460050	130100	2E+05	5E-16	2,37E+04	5,62E+08	0,0961	5E+08	2E+08	2,48E+01	1,21E-05	1,61E+09	1,26E+07
33000	3,75E-08	0,308	451960	126800	2E+05	5E-16	2,36E+04	5,58E+08	0,0949	5E+08	2E+08	2,43E+01	1,23E-05	1,60E+09	1,28E+07
34000	3,74E-08	0,306	443570	123600	2E+05	5E-16	2,36E+04	5,55E+08	0,0936	5E+08	2E+08	2,39E+01	1,26E-05	1,58E+09	1,30E+07

36000	3,70E-08	0,3	429860	117900
37000	3,68E-08	0,297	422800	115200
38000	3,66E-08	0,294	415860	112600
39000	3,66E-08	0,292	408780	110100
40000	3,65E-08	0,291	401850	107700
41000	3,64E-08	0,289	395900	105400
42000	3,62E-08	0,287	389780	103300
43000	3,62E-08	0,286	384500	101300
44000	3,60E-08	0,285	379320	99320
45000	3,59E-08	0,282	374440	97480
47000	3,57E-08	0,279	365460	94030
48000	3,55E-08	0,277	361030	92390
50000	3,53E-08	0,274	352520	89290
51000	3,52E-08	0,272	348370	87820
52000	3,52E-08	0,271	343980	86350

2E+05	5E-16	2,33E+04	5,45E+08	0,09	5E+08	2E+08	2,31E+01	1,30E-05	1,56E+09	1,34E+07
2E+05	5E-16	2,32E+04	5,40E+08	0,0882	5E+08	2E+08	2,27E+01	1,32E-05	1,54E+09	1,35E+07
2E+05	5E-16	2,31E+04	5,34E+08	0,0864	5E+08	2E+08	2,24E+01	1,34E-05	1,53E+09	1,36E+07
2E+05	5E-16	2,30E+04	5,31E+08	0,0853	5E+08	1E+08	2,20E+01	1,36E-05	1,51E+09	1,38E+07
3E+05	5E-16	2,30E+04	5,29E+08	0,0847	5E+08	1E+08	2,16E+01	1,39E-05	1,49E+09	1,39E+07
3E+05	5E-16	2,29E+04	5,26E+08	0,0835	5E+08	1E+08	2,13E+01	1,41E-05	1,48E+09	1,41E+07
3E+05	5E-16	2,28E+04	5,22E+08	0,0824	5E+08	1E+08	2,10E+01	1,43E-05	1,47E+09	1,43E+07
3E+05	5E-16	2,28E+04	5,20E+08	0,0818	5E+08	1E+08	2,07E+01	1,45E-05	1,46E+09	1,45E+07
3E+05	5E-16	2,27E+04	5,16E+08	0,0812	5E+08	1E+08	2,04E+01	1,47E-05	1,45E+09	1,46E+07
3E+05	5E-16	2,26E+04	5,12E+08	0,0795	5E+08	1E+08	2,01E+01	1,49E-05	1,44E+09	1,48E+07
3E+05	5E-16	2,25E+04	5,06E+08	0,0778	5E+08	1E+08	1,97E+01	1,53E-05	1,42E+09	1,52E+07
3E+05	5E-16	2,24E+04	5,02E+08	0,0767	5E+08	1E+08	1,94E+01	1,54E-05	1,41E+09	1,53E+07
3E+05	5E-16	2,23E+04	4,96E+08	0,0751	5E+08	1E+08	1,90E+01	1,58E-05	1,39E+09	1,56E+07
3E+05	5E-16	2,22E+04	4,93E+08	0,074	5E+08	1E+08	1,87E+01	1,60E-05	1,38E+09	1,58E+07
3E+05	5E-16	2,22E+04	4,92E+08	0,0734	5E+08	1E+08	1,85E+01	1,62E-05	1,37E+09	1,60E+07

53000	3,51E-08	0,271	339660	84940	3E+05	5E-16	2,22E+04	4,91E+08	0,0734	5E+08	1E+08	1,83E+01	1,64E-05	1,37E+09	1,61E+07
54000	3,51E-08	0,27	335430	83570	3E+05	5E-16	2,21E+04	4,89E+08	0,0729	5E+08	1E+08	1,80E+01	1,66E-05	1,35E+09	1,62E+07
55000	3,50E-08	0,269	331350	82240	3E+05	5E-16	2,21E+04	4,87E+08	0,0724	5E+08	1E+08	1,78E+01	1,68E-05	1,34E+09	1,64E+07
56000	3,50E-08	0,269	327080	80940	4E+05	5E-16	2,21E+04	4,87E+08	0,0724	5E+08	1E+08	1,76E+01	1,70E-05	1,33E+09	1,65E+07
57000	3,50E-08	0,269	323020	79690	4E+05	5E-16	2,21E+04	4,86E+08	0,0724	5E+08	1E+08	1,74E+01	1,73E-05	1,32E+09	1,67E+07
58000	3,49E-08	0,269	319130	78490	4E+05	5E-16	2,20E+04	4,85E+08	0,0724	5E+08	1E+08	1,72E+01	1,75E-05	1,31E+09	1,68E+07
59000	3,49E-08	0,268	316060	77380	4E+05	5E-16	2,20E+04	4,83E+08	0,0718	5E+08	1E+08	1,70E+01	1,76E-05	1,31E+09	1,70E+07
60000	3,48E-08	0,266	312870	76300	4E+05	5E-16	2,19E+04	4,81E+08	0,0708	5E+08	1E+08	1,68E+01	1,78E-05	1,30E+09	1,71E+07
61000	3,48E-08	0,266	309530	75220	4E+05	5E-16	2,19E+04	4,80E+08	0,0708	5E+08	1E+08	1,67E+01	1,80E-05	1,29E+09	1,73E+07
62000	3,47E-08	0,266	306410	74190	4E+05	5E-16	2,19E+04	4,80E+08	0,0708	5E+08	1E+08	1,65E+01	1,82E-05	1,29E+09	1,75E+07
64000	3,46E-08	0,264	299700	72150	4E+05	5E-16	2,18E+04	4,77E+08	0,0697	5E+08	1E+08	1,61E+01	1,86E-05	1,27E+09	1,77E+07
65000	3,45E-08	0,262	296370	71160	4E+05	5E-16	2,18E+04	4,74E+08	0,0686	5E+08	1E+08	1,59E+01	1,88E-05	1,25E+09	1,77E+07
66000	3,44E-08	0,261	293370	70240	4E+05	5E-16	2,17E+04	4,71E+08	0,0681	5E+08	1E+08	1,58E+01	1,90E-05	1,25E+09	1,78E+07
67000	3,44E-08	0,26	290290	69310	4E+05	5E-16	2,17E+04	4,69E+08	0,0676	5E+08	1E+08	1,56E+01	1,92E-05	1,24E+09	1,79E+07
68000	3,43E-08	0,259	287660	68460	4E+05	5E-16	2,16E+04	4,67E+08	0,0671	5E+08	1E+08	1,55E+01	1,94E-05	1,23E+09	1,80E+07

69000	3,42E-08	0,259	285320	67650
70000	3,41E-08	0,258	282910	66840
73000	3,39E-08	0,255	274820	64470
75000	3,37E-08	0,252	269650	62960
76000	3,36E-08	0,251	267510	62260
77000	3,35E-08	0,25	265450	61580
78000	3,35E-08	0,249	262960	60880
79000	3,34E-08	0,248	260760	60220
80000	3,33E-08	0,247	258600	59570
81000	3,33E-08	0,246	256540	58940
82000	3,32E-08	0,245	254380	58320
83000	3,31E-08	0,245	252290	57710
84000	3,31E-08	0,244	250110	57100
85000	3,30E-08	0,243	248020	56510
86000	3,30E-08	0,243	245980	55940

4E+05	5E-16	2,16E+04	4,65E+08	0,0671	4E+08	1E+08	1,54E+01	1,95E-05	1,22E+09	1,82E+07
4E+05	5E-16	2,15E+04	4,63E+08	0,0666	4E+08	1E+08	1,52E+01	1,97E-05	1,22E+09	1,83E+07
5E+05	5E-16	2,14E+04	4,57E+08	0,065	4E+08	1E+08	1,48E+01	2,03E-05	1,19E+09	1,85E+07
5E+05	5E-16	2,13E+04	4,52E+08	0,0635	4E+08	1E+08	1,45E+01	2,07E-05	1,17E+09	1,86E+07
5E+05	5E-16	2,12E+04	4,49E+08	0,063	4E+08	1E+08	1,44E+01	2,08E-05	1,17E+09	1,87E+07
5E+05	5E-16	2,11E+04	4,47E+08	0,0625	4E+08	1E+08	1,43E+01	2,10E-05	1,16E+09	1,88E+07
5E+05	5E-16	2,11E+04	4,45E+08	0,062	4E+08	1E+08	1,41E+01	2,12E-05	1,15E+09	1,88E+07
5E+05	5E-16	2,10E+04	4,43E+08	0,0615	4E+08	1E+08	1,40E+01	2,14E-05	1,14E+09	1,89E+07
5E+05	5E-16	2,10E+04	4,41E+08	0,061	4E+08	1E+08	1,39E+01	2,16E-05	1,14E+09	1,90E+07
5E+05	5E-16	2,10E+04	4,40E+08	0,0605	4E+08	1E+08	1,38E+01	2,17E-05	1,13E+09	1,91E+07
5E+05	5E-16	2,09E+04	4,38E+08	0,06	4E+08	1E+08	1,37E+01	2,19E-05	1,12E+09	1,92E+07
5E+05	5E-16	2,09E+04	4,37E+08	0,06	4E+08	1E+08	1,36E+01	2,21E-05	1,12E+09	1,92E+07
5E+05	5E-16	2,09E+04	4,35E+08	0,0595	4E+08	1E+08	1,35E+01	2,23E-05	1,11E+09	1,93E+07
5E+05	5E-16	2,08E+04	4,34E+08	0,059	4E+08	1E+08	1,33E+01	2,25E-05	1,10E+09	1,94E+07
5E+05	5E-16	2,08E+04	4,32E+08	0,059	4E+08	1E+08	1,32E+01	2,27E-05	1,10E+09	1,94E+07

87000	3,29E-08	0,242	244050	55380	5E+05	5E-16	2,08E+04	4,31E+08	0,0586	4E+08	1E+08	1,31E+01	2,28E-05	1,09E+09	1,95E+07
88000	3,29E-08	0,242	242020	54830	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,29E+08	0,0586	4E+08	1E+08	1,30E+01	2,30E-05	1,08E+09	1,96E+07
89000	3,28E-08	0,241	240090	54280	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,28E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,29E+01	2,32E-05	1,08E+09	1,96E+07
90000	3,28E-08	0,241	238200	53760	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,28E+01	2,34E-05	1,07E+09	1,97E+07
91000	3,28E-08	0,241	236430	53250	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,27E+01	2,36E-05	1,07E+09	1,98E+07
92000	3,28E-08	0,241	234590	52740	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,26E+01	2,38E-05	1,06E+09	2,00E+07
93000	3,28E-08	0,241	232660	52240	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,25E+01	2,40E-05	1,06E+09	2,01E+07
94000	3,28E-08	0,241	230640	51720	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,24E+01	2,42E-05	1,05E+09	2,02E+07
95000	3,28E-08	0,241	228670	51230	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,23E+01	2,44E-05	1,04E+09	2,02E+07
96000	3,28E-08	0,241	226750	50740	6E+05	5E-16	2,07E+04	4,27E+08	0,0581	4E+08	1E+08	1,22E+01	2,46E-05	1,04E+09	2,03E+07
98000	3,27E-08	0,239	223200	49810	6E+05	5E-16	2,06E+04	4,24E+08	0,0571	4E+08	1E+08	1,20E+01	2,50E-05	1,02E+09	2,04E+07
100000	3,26E-08	0,238	220210	48950	6E+05	5E-16	2,05E+04	4,22E+08	0,0566	4E+08	1E+08	1,18E+01	2,53E-05	1,01E+09	2,05E+07

PVA-keratin

panjang 0,0094 lebar 0,0051 luas 5E-05

d 0,0004

Freq. lin:	Cp	D	Rp	Z	ω	$A \times \epsilon_0$	ϵ_r	ϵ_r^2	D^2	ϵ_r'	ϵ_r''	$A \times R$	σ	$Z''(\text{imj})$	$Z'(\text{riil})$
2000	1,79E-11	1	4,59E+10	#####	12560	4E-16	1,69E+01	2,85E+02	2,0564	162,91	233,61	2,20E+06	1,82E-10	4,74E+14	4,60E+10
4000	1,51E-11	0,968	3,78E+10	#####	25120	4E-16	1,42E+01	2,03E+02	0,937	145,62	140,96	1,81E+06	2,21E-10	5,42E+14	3,80E+10
5000	1,43E-11	0,856	3,52E+10	#####	31400	4E-16	1,35E+01	1,82E+02	0,7327	138,08	118,2	1,69E+06	2,37E-10	5,55E+14	3,54E+10
6000	1,37E-11	0,777	3,29E+10	#####	37680	4E-16	1,29E+01	1,67E+02	0,6037	131,74	102,36	1,58E+06	2,54E-10	5,59E+14	3,32E+10
7000	1,32E-11	0,72	3,11E+10	#####	43960	4E-16	1,24E+01	1,55E+02	0,5184	125,69	90,495	1,49E+06	2,68E-10	5,61E+14	3,14E+10
16000	1,11E-08	0,478	2,22E+10	859900	1E+05	4E-16	1,05E+04	1,10E+08	0,2285	1E+08	5E+07	1,06E+06	3,76E-10	5,52E+17	6,16E+14
17000	1,10E-08	0,465	2,16E+10	820200	1E+05	4E-16	1,04E+04	1,07E+08	0,2162	1E+08	5E+07	1,03E+06	3,87E-10	5,47E+17	6,41E+14
18000	1,09E-08	0,452	2,10E+10	784400	1E+05	4E-16	1,02E+04	1,05E+08	0,2043	1E+08	4E+07	1,01E+06	3,97E-10	5,44E+17	6,68E+14
19000	1,08E-08	0,443	2,05E+10	751800	1E+05	4E-16	1,02E+04	1,03E+08	0,1962	9E+07	4E+07	9,83E+05	4,07E-10	5,42E+17	6,96E+14
20000	1,07E-08	0,433	2,00E+10	721600	1E+05	4E-16	1,01E+04	1,01E+08	0,1875	9E+07	4E+07	9,58E+05	4,17E-10	5,36E+17	7,18E+14
21000	1,06E-08	0,422	1,95E+10	694100	1E+05	4E-16	9,97E+03	9,93E+07	0,1781	9E+07	4E+07	9,36E+05	4,27E-10	5,32E+17	7,41E+14
22000	1,05E-08	0,414	1,91E+10	668900	1E+05	4E-16	9,87E+03	9,74E+07	0,1714	9E+07	4E+07	9,15E+05	4,37E-10	5,28E+17	7,63E+14
23000	1,04E-08	0,406	1,87E+10	645400	1E+05	4E-16	9,80E+03	9,60E+07	0,1648	9E+07	4E+07	8,96E+05	4,47E-10	5,25E+17	7,86E+14
24000	1,03E-08	0,398	1,82E+10	623100	2E+05	4E-16	9,72E+03	9,45E+07	0,1584	9E+07	3E+07	8,75E+05	4,57E-10	5,18E+17	8,04E+14

25000	1,02E-08	0,391	1,78E+10	602500
26000	1,02E-08	0,385	1,74E+10	583000
27000	1,01E-08	0,379	1,70E+10	564700
28000	1,00E-08	0,373	1,67E+10	547900
29000	9,97E-12	0,368	1,64E+10	532300
30000	9,93E-12	0,364	1,60E+10	516900
31000	9,88E-12	0,36	1,58E+10	503400
33000	9,79E-12	0,352	1,53E+10	478300
34000	9,73E-12	0,348	1,50E+10	466600
35000	9,68E-12	0,343	1,48E+10	455900
36000	9,62E-12	0,339	1,46E+10	445800
38000	9,53E-12	0,331	1,42E+10	426800
39000	9,49E-12	0,328	1,41E+10	417900
40000	9,45E-12	0,324	1,39E+10	409400
41000	9,41E-12	0,321	1,37E+10	401200

2E+05	4E-16	9,64E+03	9,30E+07	0,1529	9E+07	3E+07	8,55E+05	4,68E-10	5,12E+17	8,21E+14
2E+05	4E-16	9,58E+03	9,18E+07	0,1482	9E+07	3E+07	8,36E+05	4,78E-10	5,05E+17	8,37E+14
2E+05	4E-16	9,51E+03	9,05E+07	0,1436	8E+07	3E+07	8,17E+05	4,90E-10	4,98E+17	8,50E+14
2E+05	4E-16	9,45E+03	8,92E+07	0,1391	8E+07	3E+07	8,00E+05	5,00E-10	4,92E+17	8,65E+14
2E+05	4E-16	9,40E+00	8,84E+01	0,1354	82,918	30,514	7,86E+05	5,09E-10	4,88E+14	1,73E+10
2E+05	4E-16	9,36E+00	8,76E+01	0,1325	82,36	29,979	7,68E+05	5,21E-10	4,80E+14	1,69E+10
2E+05	4E-16	9,31E+00	8,68E+01	0,1296	81,637	29,389	7,56E+05	5,29E-10	4,79E+14	1,67E+10
2E+05	4E-16	9,23E+00	8,52E+01	0,1239	80,36	28,287	7,32E+05	5,47E-10	4,73E+14	1,62E+10
2E+05	4E-16	9,17E+00	8,42E+01	0,1211	79,477	27,658	7,20E+05	5,56E-10	4,69E+14	1,60E+10
2E+05	4E-16	9,13E+00	8,33E+01	0,1176	78,784	27,023	7,11E+05	5,63E-10	4,67E+14	1,58E+10
2E+05	4E-16	9,07E+00	8,23E+01	0,1149	77,905	26,41	7,01E+05	5,71E-10	4,65E+14	1,56E+10
2E+05	4E-16	8,98E+00	8,07E+01	0,1096	76,639	25,367	6,83E+05	5,86E-10	4,62E+14	1,53E+10
2E+05	4E-16	8,95E+00	8,01E+01	0,1076	76,064	24,949	6,74E+05	5,93E-10	4,60E+14	1,51E+10
3E+05	4E-16	8,91E+00	7,94E+01	0,105	75,513	24,466	6,66E+05	6,00E-10	4,58E+14	1,50E+10
3E+05	4E-16	8,87E+00	7,87E+01	0,103	74,941	24,056	6,58E+05	6,08E-10	4,56E+14	1,48E+10

42000	9,37E-12	0,319	1,35E+10	393300
43000	9,34E-12	0,316	1,34E+10	385800
44000	9,30E-12	0,313	1,32E+10	378400
45000	9,27E-12	0,311	1,30E+10	371300
46000	9,24E-12	0,308	1,29E+10	364600
48000	9,18E-12	0,304	1,25E+10	352000
49000	9,15E-12	0,302	1,24E+10	345700
51000	9,09E-12	0,298	1,21E+10	334300
52000	9,06E-12	0,296	1,20E+10	329100
53000	9,04E-12	0,294	1,19E+10	324000
55000	8,99E-12	0,291	1,17E+10	314000
56000	8,97E-12	0,288	1,15E+10	309200
57000	8,94E-12	0,287	1,14E+10	304800
59000	8,90E-12	0,284	1,12E+10	296200
60000	8,89E-12	0,283	1,11E+10	292100

3E+05	4E-16	8,83E+00	7,80E+01	0,1018	74,349	23,717	6,49E+05	6,16E-10	4,53E+14	1,47E+10
3E+05	4E-16	8,81E+00	7,75E+01	0,0999	73,937	23,364	6,41E+05	6,24E-10	4,51E+14	1,45E+10
3E+05	4E-16	8,77E+00	7,69E+01	0,098	73,368	22,964	6,33E+05	6,32E-10	4,48E+14	1,44E+10
3E+05	4E-16	8,74E+00	7,64E+01	0,0967	72,937	22,683	6,25E+05	6,40E-10	4,45E+14	1,42E+10
3E+05	4E-16	8,71E+00	7,59E+01	0,0949	72,527	22,338	6,17E+05	6,48E-10	4,43E+14	1,41E+10
3E+05	4E-16	8,65E+00	7,49E+01	0,0924	71,669	21,787	6,01E+05	6,65E-10	4,35E+14	1,37E+10
3E+05	4E-16	8,63E+00	7,44E+01	0,0912	71,24	21,515	5,94E+05	6,73E-10	4,33E+14	1,36E+10
3E+05	4E-16	8,57E+00	7,34E+01	0,0888	70,387	20,975	5,81E+05	6,88E-10	4,28E+14	1,34E+10
3E+05	4E-16	8,54E+00	7,30E+01	0,0876	69,961	20,708	5,75E+05	6,95E-10	4,26E+14	1,33E+10
3E+05	4E-16	8,52E+00	7,26E+01	0,0864	69,69	20,489	5,70E+05	7,02E-10	4,25E+14	1,32E+10
3E+05	4E-16	8,48E+00	7,18E+01	0,0847	68,977	20,072	5,59E+05	7,16E-10	4,22E+14	1,30E+10
4E+05	4E-16	8,46E+00	7,15E+01	0,0829	68,726	19,793	5,53E+05	7,24E-10	4,19E+14	1,29E+10
4E+05	4E-16	8,43E+00	7,10E+01	0,0824	68,285	19,598	5,48E+05	7,30E-10	4,18E+14	1,28E+10
4E+05	4E-16	8,39E+00	7,04E+01	0,0807	67,729	19,235	5,38E+05	7,44E-10	4,15E+14	1,26E+10
4E+05	4E-16	8,38E+00	7,02E+01	0,0801	67,594	19,129	5,33E+05	7,51E-10	4,14E+14	1,25E+10

61000	8,87E-12	0,282	1,10E+10	288200
62000	8,85E-12	0,281	1,09E+10	284300
63000	8,83E-12	0,279	1,08E+10	280500
64000	8,81E-12	0,278	1,07E+10	276800
65000	8,79E-12	0,276	1,06E+10	273100
66000	8,77E-12	0,275	1,05E+10	269600
68000	8,74E-12	0,274	1,03E+10	262900
70000	8,71E-12	0,272	1,01E+10	256200
71000	8,70E-12	0,271	999110	253000
72000	8,67E-12	0,27	985640	249600
73000	8,67E-12	0,269	973820	246500
74000	8,66E-12	0,269	964120	243400
75000	8,65E-12	0,268	957480	240600
76000	8,63E-12	0,267	949120	237800
77000	8,61E-12	0,266	943440	235300

4E+05	4E-16	8,36E+00	6,99E+01	0,0795	67,308	18,981	5,28E+05	7,58E-10	4,11E+14	1,24E+10
4E+05	4E-16	8,34E+00	6,96E+01	0,079	67,023	18,833	5,21E+05	7,67E-10	4,07E+14	1,23E+10
4E+05	4E-16	8,32E+00	6,93E+01	0,0778	66,755	18,625	5,18E+05	7,73E-10	4,07E+14	1,22E+10
4E+05	4E-16	8,31E+00	6,90E+01	0,0773	66,47	18,479	5,12E+05	7,81E-10	4,04E+14	1,21E+10
4E+05	4E-16	8,29E+00	6,87E+01	0,0762	66,202	18,272	5,08E+05	7,87E-10	4,03E+14	1,20E+10
4E+05	4E-16	8,27E+00	6,84E+01	0,0756	65,918	18,128	5,03E+05	7,95E-10	4,01E+14	1,20E+10
4E+05	4E-16	8,24E+00	6,79E+01	0,0751	65,485	17,943	4,94E+05	8,09E-10	3,97E+14	1,18E+10
4E+05	4E-16	8,21E+00	6,74E+01	0,074	65,069	17,699	4,84E+05	8,26E-10	3,91E+14	1,16E+10
4E+05	4E-16	8,20E+00	6,73E+01	0,0734	64,936	17,598	4,79E+01	8,35E-06	3,87E+06	9,99E+05
5E+05	4E-16	8,17E+00	6,68E+01	0,0729	64,505	17,416	4,73E+01	8,47E-06	3,81E+06	9,86E+05
5E+05	4E-16	8,17E+00	6,68E+01	0,0724	64,522	17,356	4,67E+01	8,57E-06	3,77E+06	9,74E+05
5E+05	4E-16	8,16E+00	6,67E+01	0,0724	64,373	17,316	4,62E+01	8,65E-06	3,74E+06	9,64E+05
5E+05	4E-16	8,16E+00	6,65E+01	0,0718	64,24	17,216	4,59E+01	8,71E-06	3,74E+06	9,57E+05
5E+05	4E-16	8,14E+00	6,62E+01	0,0713	63,96	17,077	4,55E+01	8,79E-06	3,71E+06	9,49E+05
5E+05	4E-16	8,12E+00	6,59E+01	0,0708	63,679	16,939	4,52E+01	8,84E-06	3,71E+06	9,43E+05

78000	8,59E-12	0,264	934450	232700
79000	8,57E-12	0,263	921200	230000
80000	8,56E-12	0,263	911940	227400
81000	8,55E-12	0,262	909670	225100
82000	8,53E-12	0,261	903010	222800
83000	8,52E-12	0,26	896970	220500
84000	8,50E-12	0,26	885280	218400
85000	8,49E-12	0,259	886840	216200
86000	8,48E-12	0,258	880570	214000
87000	8,46E-12	0,257	874230	211900
88000	8,45E-12	0,256	867860	209800
89000	8,44E-12	0,255	860950	207800
90000	8,43E-12	0,255	853920	205700
91000	8,42E-12	0,254	848180	203800
92000	8,41E-12	0,254	843070	202000

5E+05	4E-16	8,10E+00	6,56E+01	0,0697	63,415	16,742	4,48E+01	8,93E-06	3,67E+06	9,34E+05
5E+05	4E-16	8,08E+00	6,53E+01	0,0692	63,136	16,605	4,42E+01	9,06E-06	3,61E+06	9,21E+05
5E+05	4E-16	8,07E+00	6,51E+01	0,0692	62,989	16,566	4,37E+01	9,15E-06	3,58E+06	9,12E+05
5E+05	4E-16	8,06E+00	6,50E+01	0,0686	62,857	16,469	4,36E+01	9,17E-06	3,60E+06	9,10E+05
5E+05	4E-16	8,04E+00	6,47E+01	0,0681	62,579	16,333	4,33E+01	9,24E-06	3,58E+06	9,03E+05
5E+05	4E-16	8,03E+00	6,45E+01	0,0676	62,447	16,236	4,30E+01	9,30E-06	3,57E+06	8,97E+05
5E+05	4E-16	8,01E+00	6,42E+01	0,0676	62,154	16,16	4,24E+01	9,42E-06	3,51E+06	8,85E+05
5E+05	4E-16	8,00E+00	6,41E+01	0,0671	62,023	16,064	4,25E+01	9,41E-06	3,56E+06	8,87E+05
5E+05	4E-16	7,99E+00	6,39E+01	0,0666	61,892	15,968	4,22E+01	9,48E-06	3,55E+06	8,81E+05
5E+05	4E-16	7,98E+00	6,36E+01	0,066	61,615	15,835	4,19E+01	9,54E-06	3,53E+06	8,74E+05
6E+05	4E-16	7,97E+00	6,35E+01	0,0655	61,485	15,74	4,16E+01	9,61E-06	3,52E+06	8,68E+05
6E+05	4E-16	7,96E+00	6,33E+01	0,065	61,354	15,645	4,13E+01	9,69E-06	3,50E+06	8,61E+05
6E+05	4E-16	7,95E+00	6,32E+01	0,065	61,209	15,608	4,09E+01	9,77E-06	3,47E+06	8,54E+05
6E+05	4E-16	7,94E+00	6,30E+01	0,0645	61,078	15,514	4,07E+01	9,84E-06	3,46E+06	8,48E+05
6E+05	4E-16	7,93E+00	6,29E+01	0,0645	60,933	15,477	4,04E+01	9,90E-06	3,45E+06	8,43E+05

93000	8,39E-12	0,253	837680	200100
94000	8,38E-12	0,252	832410	198400
95000	8,37E-12	0,251	826870	196600
96000	8,36E-12	0,251	821180	194800
97000	8,35E-12	0,25	815210	193000
98000	8,34E-12	0,25	809840	191400
99000	8,33E-12	0,249	803980	189700
100000	8,32E-12	0,249	799500	188100

Tanpa membran

panjang 0,006 lebar 0,006 luas 4E-05
d 0,0003

Freq, lin:	Cp	D	Rp	Z
2000	1,42E-11	2,09	3,26E+10	2,85E+09
3000	1,29E-11	2	3,04E+10	2,48E+09
4000	1,21E-11	1	2,87E+10	2,21E+09
5000	1,15E-11	1,2	2,73E+10	1,99E+09

6E+05	4E-16	7,91E+00	6,26E+01	0,064	60,658	15,346	4,02E+01	9,96E-06	3,44E+06	8,38E+05
6E+05	4E-16	7,90E+00	6,24E+01	0,0635	60,528	15,253	3,99E+01	1,00E-05	3,43E+06	8,32E+05
6E+05	4E-16	7,89E+00	6,23E+01	0,063	60,398	15,16	3,96E+01	1,01E-05	3,41E+06	8,27E+05
6E+05	4E-16	7,88E+00	6,21E+01	0,063	60,254	15,124	3,94E+01	1,02E-05	3,40E+06	8,21E+05
6E+05	4E-16	7,87E+00	6,20E+01	0,0625	60,124	15,031	3,91E+01	1,02E-05	3,38E+06	8,15E+05
6E+05	4E-16	7,86E+00	6,18E+01	0,0625	59,98	14,995	3,88E+01	1,03E-05	3,37E+06	8,10E+05
6E+05	4E-16	7,85E+00	6,17E+01	0,062	59,85	14,903	3,85E+01	1,04E-05	3,35E+06	8,04E+05
6E+05	4E-16	7,84E+00	6,15E+01	0,062	59,706	14,867	3,83E+01	1,04E-05	3,34E+06	8,00E+05

ω	$A \times \epsilon_0$	ϵ_r	ϵ_r^2	D^2	ϵ_r'	ϵ_r''	$A \times R$	σ	$Z''(\text{imj})$	$Z'(\text{riil})$
12560	3,19E-16	1,34E+01	1,79E+02	4,3681	77,1645	161,274	1,17E+06	2,56E-10	1,89E+14	3,26E+10
18840	3,19E-16	1,21E+01	1,48E+02	2,595321	77,8147	125,359	1,10E+06	2,74E-10	2,25E+14	3,05E+10
25120	3,19E-16	1,14E+01	1,30E+02	1,844164	76,9741	104,531	1,03E+06	2,90E-10	2,51E+14	2,88E+10
31400	3,19E-16	1,08E+01	1,17E+02	1,44	75,0675	90,081	9,84E+05	3,05E-10	2,70E+14	2,74E+10

10000	9,89E-12	0,821	2,29E+10	1,35E+09	62800	3,19E-16	9,31E+00	8,67E+01	0,674041	67,0287	55,0305	8,24E+05	3,64E-10	3,26E+14	2,31E+10
11000	9,68E-12	0,776	2,22E+10	1,27E+09	69080	3,19E-16	9,11E+00	8,31E+01	0,602176	65,6367	50,9341	7,99E+05	3,75E-10	3,29E+14	2,24E+10
12000	9,50E-12	0,74	2,16E+10	1,20E+06	75360	3,19E-16	8,95E+00	8,00E+01	0,5476	64,3234	47,5993	7,77E+05	3,86E-10	3,33E+14	2,18E+10
13000	9,33E-12	0,705	2,10E+10	1,14E+09	81640	3,19E-16	8,79E+00	7,72E+01	0,497025	63,0812	44,4722	7,56E+05	3,97E-10	3,36E+14	2,12E+10
14000	9,18E-12	0,676	2,05E+10	1,08E+09	87920	3,19E-16	8,64E+00	7,47E+01	0,456976	61,9028	41,8463	7,37E+05	4,07E-10	3,38E+14	2,07E+10
15000	9,08E-12	0,656	1,99E+10	1,03E+09	94200	3,19E-16	8,55E+00	7,31E+01	0,430336	61,1229	40,0966	7,18E+05	4,18E-10	3,40E+14	2,02E+10
16000	8,98E-12	0,64	1,94E+10	983400	100480	3,19E-16	8,46E+00	7,15E+01	0,4096	60,2221	38,5421	6,97E+05	4,30E-10	3,39E+14	1,97E+10
17000	8,86E-12	0,62	1,89E+10	942500	106760	3,19E-16	8,34E+00	6,96E+01	0,3844	59,1545	36,6758	6,82E+05	4,40E-10	3,40E+14	1,93E+10
18000	8,79E-12	0,607	1,85E+10	904600	113040	3,19E-16	8,28E+00	6,85E+01	0,368449	58,5618	35,547	6,67E+05	4,50E-10	3,41E+14	1,89E+10
19000	8,69E-12	0,59	1,81E+10	869700	119320	3,19E-16	8,18E+00	6,70E+01	0,3481	57,6673	34,0237	6,53E+05	4,60E-10	3,41E+14	1,85E+10
20000	8,59E-12	0,574	1,77E+10	836600	125600	3,19E-16	8,09E+00	6,54E+01	0,329476	56,741	32,5693	6,37E+05	4,71E-10	3,38E+14	1,81E+10
21000	8,50E-12	0,559	1,74E+10	808200	131880	3,19E-16	8,00E+00	6,41E+01	0,312481	55,9168	31,2575	6,27E+05	4,79E-10	3,40E+14	1,78E+10
22000	8,44E-12	0,548	1,71E+10	781200	138160	3,19E-16	7,95E+00	6,32E+01	0,300304	55,3877	30,3525	6,15E+05	4,88E-10	3,41E+14	1,75E+10
23000	8,36E-12	0,537	1,68E+10	755700	144440	3,19E-16	7,87E+00	6,20E+01	0,288369	54,5938	29,3169	6,04E+05	4,97E-10	3,39E+14	1,72E+10
25000	8,24E-12	0,519	1,63E+10	711700	157000	3,19E-16	7,76E+00	6,02E+01	0,269361	53,4334	27,7319	5,86E+05	5,12E-10	3,43E+14	1,67E+10
26000	8,19E-12	0,51	1,60E+10	691300	163280	3,19E-16	7,71E+00	5,95E+01	0,2601	52,9805	27,0201	5,77E+05	5,20E-10	3,44E+14	1,65E+10

27000	8,14E-12	0,503	1,58E+10	672700	169560	3,19E-16	7,66E+00	5,87E+01	0,253009	52,4835	26,3992	5,70E+05	5,26E-10	3,46E+14	1,63E+10
28000	8,10E-12	0,497	1,56E+10	654800	175840	3,19E-16	7,63E+00	5,82E+01	0,247009	52,0938	25,8906	5,63E+05	5,33E-10	3,48E+14	1,61E+10
29000	8,05E-12	0,489	1,54E+10	637000	182120	3,19E-16	7,58E+00	5,75E+01	0,239121	51,6162	25,2403	5,53E+05	5,42E-10	3,46E+14	1,59E+10
30000	8,00E-12	0,482	1,51E+10	620300	188400	3,19E-16	7,53E+00	5,67E+01	0,232324	51,1174	24,6386	5,45E+05	5,51E-10	3,45E+14	1,57E+10
31000	7,96E-12	0,475	1,49E+10	604500	194680	3,19E-16	7,50E+00	5,62E+01	0,225625	50,7456	24,1042	5,36E+05	5,60E-10	3,44E+14	1,54E+10
32000	7,91E-12	0,469	1,47E+10	589300	200960	3,19E-16	7,45E+00	5,55E+01	0,219961	50,2263	23,5561	5,27E+05	5,69E-10	3,41E+14	1,52E+10
33000	7,88E-12	0,463	1,43E+10	573300	207240	3,19E-16	7,42E+00	5,51E+01	0,214369	49,9606	23,1318	5,15E+05	5,82E-10	3,35E+14	1,49E+10
34000	7,84E-12	0,458	1,40E+10	558200	213520	3,19E-16	7,38E+00	5,45E+01	0,209764	49,5488	22,6933	5,04E+05	5,96E-10	3,27E+14	1,45E+10
35000	7,79E-12	0,452	1,38E+10	545200	219800	3,19E-16	7,34E+00	5,38E+01	0,204304	49,0295	22,1614	4,95E+05	6,05E-10	3,24E+14	1,43E+10
36000	7,75E-12	0,445	1,35E+10	532400	226080	3,19E-16	7,30E+00	5,33E+01	0,198025	48,6543	21,6512	4,87E+05	6,16E-10	3,20E+14	1,41E+10
38000	7,68E-12	0,435	1,31E+10	508700	238640	3,19E-16	7,23E+00	5,23E+01	0,189225	47,9558	20,8608	4,71E+05	6,37E-10	3,14E+14	1,37E+10
39000	7,64E-12	0,429	1,29E+10	497900	244920	3,19E-16	7,19E+00	5,18E+01	0,184041	47,5614	20,4038	4,64E+05	6,47E-10	3,10E+14	1,35E+10
40000	7,60E-12	0,423	1,27E+10	488100	251200	3,19E-16	7,16E+00	5,12E+01	0,178929	47,1666	19,9515	4,58E+05	6,55E-10	3,09E+14	1,33E+10
41000	7,56E-12	0,418	1,26E+10	478800	257480	3,19E-16	7,12E+00	5,07E+01	0,174724	46,7548	19,5435	4,53E+05	6,62E-10	3,08E+14	1,32E+10
43000	7,49E-12	0,408	1,24E+10	461700	270040	3,19E-16	7,05E+00	4,97E+01	0,166464	46,0552	18,7905	4,45E+05	6,75E-10	3,09E+14	1,30E+10
44000	7,46E-12	0,404	1,22E+10	453300	276320	3,19E-16	7,02E+00	4,93E+01	0,163216	45,7508	18,4833	4,40E+05	6,82E-10	3,08E+14	1,29E+10

45000	7,43E-12	0,401	1,21E+10	445300	282600	3,19E-16	7,00E+00	4,89E+01	0,160801	45,4307	18,2177	4,35E+05	6,89E-10	3,07E+14	1,27E+10
46000	7,41E-12	0,397	1,19E+10	436900	288880	3,19E-16	6,98E+00	4,87E+01	0,157609	45,2487	17,9637	4,29E+05	6,99E-10	3,04E+14	1,26E+10
47000	7,37E-12	0,393	1,18E+10	429400	295160	3,19E-16	6,94E+00	4,82E+01	0,154449	44,8228	17,6153	4,24E+05	7,07E-10	3,02E+14	1,24E+10
48000	7,35E-12	0,39	1,18E+10	423300	301440	3,19E-16	6,92E+00	4,79E+01	0,1521	44,6252	17,4038	4,23E+05	7,09E-10	3,06E+14	1,24E+10
49000	7,32E-12	0,386	1,17E+10	417400	307720	3,19E-16	6,89E+00	4,75E+01	0,148996	44,3214	17,1081	4,22E+05	7,11E-10	3,09E+14	1,24E+10
50000	7,30E-12	0,383	1,16E+10	411100	314000	3,19E-16	6,87E+00	4,72E+01	0,146689	44,1239	16,8995	4,19E+05	7,16E-10	3,10E+14	1,23E+10
51000	7,28E-12	0,38	1,15E+10	404800	320280	3,19E-16	6,85E+00	4,70E+01	0,1444	43,9263	16,692	4,16E+05	7,22E-10	3,11E+14	1,23E+10
52000	7,26E-12	0,378	1,14E+10	398600	326560	3,19E-16	6,84E+00	4,67E+01	0,142884	43,7143	16,524	4,12E+05	7,29E-10	3,10E+14	1,22E+10
53000	7,24E-12	0,376	1,13E+10	392400	332840	3,19E-16	6,82E+00	4,65E+01	0,141376	43,5025	16,3569	4,08E+05	7,36E-10	3,09E+14	1,21E+10
54000	7,22E-12	0,374	1,12E+10	386100	339120	3,19E-16	6,80E+00	4,62E+01	0,139876	43,2909	16,1908	4,03E+05	7,44E-10	3,07E+14	1,19E+10
55000	7,20E-12	0,371	1,10E+10	379800	345400	3,19E-16	6,78E+00	4,60E+01	0,137641	43,0937	15,9877	3,98E+05	7,54E-10	3,03E+14	1,18E+10
56000	7,18E-12	0,368	1,09E+10	374100	351680	3,19E-16	6,76E+00	4,57E+01	0,135424	42,8964	15,7859	3,93E+05	7,63E-10	3,01E+14	1,17E+10
57000	7,16E-12	0,365	1,08E+10	368800	357960	3,19E-16	6,74E+00	4,55E+01	0,133225	42,6991	15,5852	3,90E+05	7,69E-10	3,01E+14	1,16E+10
58000	7,13E-12	0,362	1,07E+10	363400	364240	3,19E-16	6,71E+00	4,51E+01	0,131044	42,3829	15,3426	3,86E+05	7,77E-10	2,99E+14	1,15E+10
59000	7,11E-12	0,359	1,06E+10	358200	370520	3,19E-16	6,69E+00	4,48E+01	0,128881	42,1858	15,1447	3,82E+05	7,85E-10	2,97E+14	1,14E+10
60000	7,09E-12	0,356	1,05E+10	353500	376800	3,19E-16	6,68E+00	4,46E+01	0,126736	41,9887	14,948	3,79E+05	7,91E-10	2,97E+14	1,13E+10

61000	7,07E-12	0,354	1,05E+10	348800	383080	3,19E-16	6,66E+00	4,43E+01	0,125316	41,7785	14,7896	3,76E+05	7,97E-10	2,96E+14	1,13E+10
62000	7,05E-12	0,352	1,04E+10	344400	389360	3,19E-16	6,64E+00	4,41E+01	0,123904	41,5685	14,6321	3,74E+05	8,02E-10	2,96E+14	1,12E+10
63000	7,03E-12	0,35	1,03E+10	339400	395640	3,19E-16	6,62E+00	4,38E+01	0,1225	41,3588	14,4756	3,69E+05	8,13E-10	2,92E+14	1,11E+10
64000	7,01E-12	0,347	1,01E+10	334800	401920	3,19E-16	6,60E+00	4,36E+01	0,120409	41,1622	14,2833	3,65E+05	8,21E-10	2,90E+14	1,10E+10
65000	6,99E-12	0,345	1,01E+10	330400	408200	3,19E-16	6,58E+00	4,33E+01	0,119025	40,953	14,1288	3,62E+05	8,29E-10	2,88E+14	1,09E+10
66000	6,98E-12	0,343	997800	326400	414480	3,19E-16	6,57E+00	4,32E+01	0,117649	40,861	14,0153	3,59E+01	8,35E-06	2,88E+06	9,98E+05
67000	6,97E-12	0,342	994680	322900	420760	3,19E-16	6,56E+00	4,31E+01	0,116964	40,7565	13,9387	3,58E+01	8,38E-06	2,90E+06	9,95E+05
68000	6,95E-12	0,341	988340	319100	427040	3,19E-16	6,54E+00	4,28E+01	0,116281	40,5353	13,8226	3,56E+01	8,43E-06	2,90E+06	9,88E+05
69000	6,94E-12	0,34	974860	314600	433320	3,19E-16	6,53E+00	4,27E+01	0,1156	40,4311	13,7466	3,51E+01	8,55E-06	2,86E+06	9,75E+05
70000	6,93E-12	0,339	965280	310700	439600	3,19E-16	6,53E+00	4,26E+01	0,114921	40,327	13,6708	3,48E+01	8,63E-06	2,84E+06	9,65E+05
71000	6,92E-12	0,337	960280	307300	445880	3,19E-16	6,52E+00	4,25E+01	0,113569	40,2351	13,5592	3,46E+01	8,68E-06	2,85E+06	9,60E+05
72000	6,90E-12	0,334	954090	303900	452160	3,19E-16	6,50E+00	4,22E+01	0,111556	40,039	13,373	3,43E+01	8,73E-06	2,84E+06	9,54E+05
73000	6,88E-12	0,333	945370	300200	458440	3,19E-16	6,48E+00	4,20E+01	0,110889	39,8192	13,2598	3,40E+01	8,81E-06	2,82E+06	9,45E+05
74000	6,87E-12	0,331	933080	296400	464720	3,19E-16	6,47E+00	4,18E+01	0,109561	39,7273	13,1497	3,36E+01	8,93E-06	2,78E+06	9,33E+05
75000	6,86E-12	0,33	925570	293000	471000	3,19E-16	6,46E+00	4,17E+01	0,1089	39,6235	13,0758	3,33E+01	9,00E-06	2,77E+06	9,26E+05
76000	6,85E-12	0,329	919350	289800	477280	3,19E-16	6,45E+00	4,16E+01	0,108241	39,5198	13,002	3,31E+01	9,06E-06	2,76E+06	9,19E+05

77000	6,84E-12	0,328	912110	286700	483560	3,19E-16	6,44E+00	4,15E+01	0,107584	39,4162	12,9285	3,28E+01	9,14E-06	2,75E+06	9,12E+05
78000	6,82E-12	0,327	906020	283600	489840	3,19E-16	6,42E+00	4,12E+01	0,106929	39,1976	12,8176	3,26E+01	9,20E-06	2,74E+06	9,06E+05
79000	6,81E-12	0,325	898270	280500	496120	3,19E-16	6,41E+00	4,11E+01	0,105625	39,1058	12,7094	3,23E+01	9,28E-06	2,73E+06	8,98E+05
80000	6,80E-12	0,324	893350	277700	502400	3,19E-16	6,40E+00	4,10E+01	0,104976	39,0025	12,6368	3,22E+01	9,33E-06	2,73E+06	8,93E+05
81000	6,78E-12	0,322	890340	275100	508680	3,19E-16	6,38E+00	4,08E+01	0,103684	38,7961	12,4923	3,21E+01	9,36E-06	2,73E+06	8,90E+05
82000	6,77E-12	0,321	886190	272500	514960	3,19E-16	6,37E+00	4,06E+01	0,103041	38,693	12,4205	3,19E+01	9,40E-06	2,74E+06	8,86E+05
83000	6,76E-12	0,319	884560	270200	521240	3,19E-16	6,37E+00	4,05E+01	0,101761	38,6012	12,3138	3,18E+01	9,42E-06	2,76E+06	8,85E+05
84000	6,75E-12	0,318	881360	267800	527520	3,19E-16	6,36E+00	4,04E+01	0,101124	38,4982	12,2424	3,17E+01	9,46E-06	2,77E+06	8,81E+05
85000	6,74E-12	0,317	875970	265100	533800	3,19E-16	6,35E+00	4,03E+01	0,100489	38,3953	12,1713	3,15E+01	9,51E-06	2,76E+06	8,76E+05
86000	6,73E-12	0,316	872040	262700	540080	3,19E-16	6,34E+00	4,02E+01	0,099856	38,2925	12,1004	3,14E+01	9,56E-06	2,76E+06	8,72E+05
87000	6,72E-12	0,315	868880	260400	546360	3,19E-16	6,33E+00	4,00E+01	0,099225	38,1897	12,0298	3,13E+01	9,59E-06	2,77E+06	8,69E+05
88000	6,71E-12	0,314	864130	258000	552640	3,19E-16	6,32E+00	3,99E+01	0,098596	38,087	11,9593	3,11E+01	9,64E-06	2,77E+06	8,64E+05
89000	6,70E-12	0,313	858770	255600	558920	3,19E-16	6,31E+00	3,98E+01	0,097969	37,9844	11,8891	3,09E+01	9,70E-06	2,76E+06	8,59E+05
90000	6,69E-12	0,312	853920	253200	565200	3,19E-16	6,30E+00	3,97E+01	0,097344	37,8819	11,8192	3,07E+01	9,76E-06	2,76E+06	8,54E+05
91000	6,68E-12	0,311	846590	250700	571480	3,19E-16	6,29E+00	3,96E+01	0,096721	37,7795	11,7494	3,05E+01	9,84E-06	2,74E+06	8,47E+05
92000	6,67E-12	0,31	840170	248300	577760	3,19E-16	6,28E+00	3,94E+01	0,0961	37,6771	11,6799	3,02E+01	9,92E-06	2,72E+06	8,40E+05

93000	6,66E-12	0,309	834280	246000	584040	3,19E-16	6,27E+00	3,93E+01	0,095481	37,5748	11,6106	3,00E+01	9,99E-06	2,71E+06	8,34E+05
94000	6,65E-12	0,307	830240	243900	590320	3,19E-16	6,26E+00	3,92E+01	0,094249	37,4832	11,5073	2,99E+01	1,00E-05	2,71E+06	8,30E+05
95000	6,63E-12	0,306	824360	241600	596600	3,19E-16	6,24E+00	3,90E+01	0,093636	37,2685	11,4042	2,97E+01	1,01E-05	2,69E+06	8,24E+05
96000	6,62E-12	0,304	819460	239500	602880	3,19E-16	6,23E+00	3,89E+01	0,092416	37,1769	11,3018	2,95E+01	1,02E-05	2,68E+06	8,19E+05
97000	6,61E-12	0,303	810970	237100	609160	3,19E-16	6,22E+00	3,87E+01	0,091809	37,0749	11,2337	2,92E+01	1,03E-05	2,65E+06	8,11E+05
98000	6,61E-12	0,303	805700	235000	615440	3,19E-16	6,22E+00	3,87E+01	0,091809	37,0749	11,2337	2,90E+01	1,03E-05	2,64E+06	8,06E+05
99000	6,60E-12	0,303	801310	233000	621720	3,19E-16	6,21E+00	3,86E+01	0,091809	36,9629	11,1997	2,88E+01	1,04E-05	2,63E+06	8,01E+05
100000	6,60E-12	0,302	796300	231000	628000	3,19E-16	6,21E+00	3,86E+01	0,091204	36,9731	11,1659	2,87E+01	1,05E-05	2,63E+06	7,96E+05