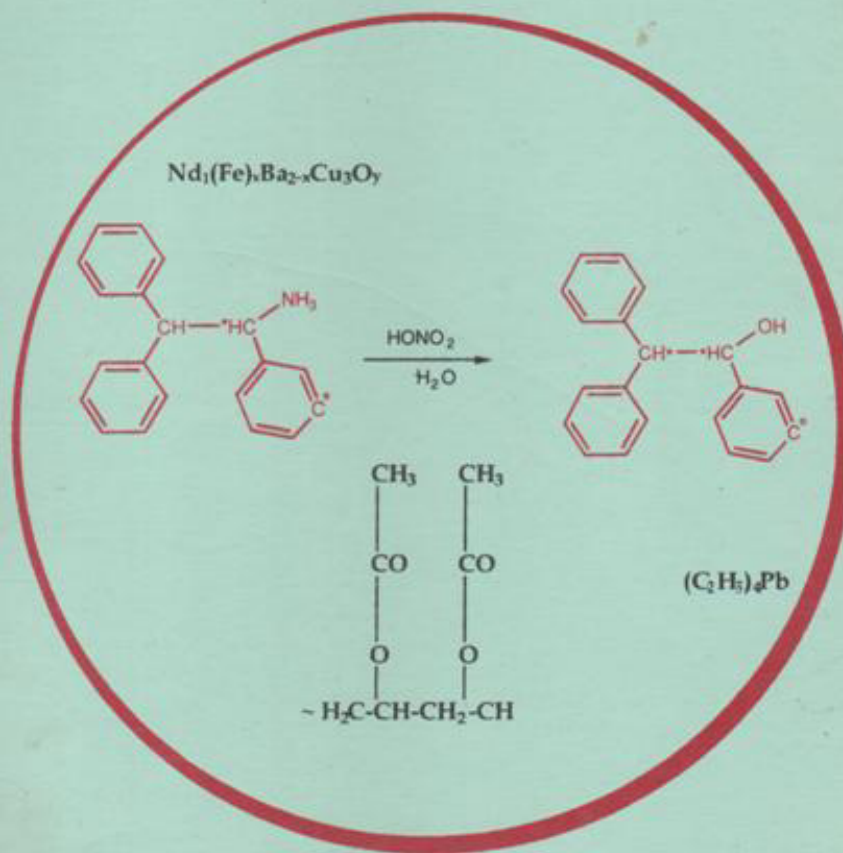


# CHEMICA

Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia



Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Makassar  
2006

# CHEMICA

ISSN 1411-6502

Jurnal Tengah Tahunan : Desember – Juni

---

CHEMICA adalah jurnal yang memuat informasi ilmiah bidang kimia dan pendidikan kimia berupa hasil penelitian, telaah pustaka, opini, makalah teknis, dan kajian buku.

Ketua Dewan Penyunting  
Dr. Tabrani Gani, M.Pd.

Dewan Penelaah:  
Prof. Dr. Ir. T. Harlim  
Drs.H.Muhammad Yudi, M.Si  
Dr. rer. nat H.Muharram, M.Si  
Drs.Alimin, MS  
Dr. Sudding, MS

Dewan Penyunting :  
Drs. Muh.Danial, M.Si  
Dra.Hasri, M.Si  
Muh.Syahrir, S.Pd,M.Si  
Drs.Darminto, M.Si  
Dra.Halimah Husain,M.Si  
Drs.MuhammadYunus, M.Si

---

CHEMICA diterbitkan oleh Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Makassar (UNM)

Alamat Redaksi dan Penerbit  
Jurusan Kimia, Fakultas MIPA UNM  
Jl. Dg Tata Parangtambung, Makassar 90224  
Telp. 0411-840295; email : [chemica@unm.ac.id](mailto:chemica@unm.ac.id)

Tahun pertama terbit: 2000

## DAFTAR ISI

No.	Judul	Halaman
1.	Penentuan Kadar Protein pada Berbagai Umur Cacing Tanah <i>Lumbricuss rubellus</i> <i>Army Auliah</i> .....	1-14
2.	Analisis Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Dielektrik Polivinil Asetat Dengan Pendekatan Havrilliak Negami <i>Muh.Tawil</i> .....	15 -32
3.	Aplikasi Radioisotop Sebagai Perunut Mekanisme Reaksi <i>Darminto</i> .....	33 - 37
4.	Karakteristik Paduan Oksida $Nd_1(Fe)_xBa_{2-x}Cu_3O_y$ <i>Eko. H. Sujiono dan Muharram</i> .....	38 - 45
5.	Analisis Kadar Timah Hitam Pada Daging Ikan Betok ( <i>Anabas testudineus</i> Bloch) Di Kanal Borong Makassar <i>Tabrani Gani dan Andi Zupriati</i> .....	44 - 49
6.	Pengaruh Konsentrasi HCl Sebagai Aktivator Zeolit Alam Terhadap Pelunakan Air Sadah <i>Netty Herawaty</i> .....	50 - 54
7.	Analisis Hubungan Nilai Kimia Analitik I dengan Nilai Kimia Analisis Instrumen Mahasiswa Kependidikan Tiga Tahun Terakhir (Angkatan 2001 – 2004) <i>Muhammad Yunus</i> .....	55 - 60
8.	Analisis Pengelolaan Kegiatan Praktikum IPA Di SMA Negeri Kabupaten Bantaeng <i>Sumiati &amp; Tabrani Gani</i> .....	61 - 72
9.	Pencemaran Air dan Penanggulangannya <i>Sugiarti</i> .....	73 - 78
10.	Implementasi Pendekatan Problem Posing dalam Meminimalkan Miskonsepsi dan Meningkatkan Hasil Belajar Mahasiswa pada Pembelajaran Mata Kuliah Kimia Dasar II. <i>Abdul Hamid</i> .....	79 - 90

Keterangan sampul: Paduan Oksida, Tetra etil lead, 1,2,2-tripheniletllamin dengan asam nitrit,  
dan PVAC.

**ANALISIS PENGARUH SUHU TERHADAP KOEFISIEN DIELEKTRIK POLIVINIL ASETAT DENGAN PENDEKATAN HAVRILLIAK NEGAMI**

**ANALYSE of THE TEMPERATURE INFLUENCE to DIELECTRIC COEFFICIENT of POLIVINIL ACETATE by THE NEGAMI HAVRILLIAK APPROACH**

Muh.Tawil\*

<sup>\*)</sup>Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNM Makassar

**Abstrak**

Telah dilakukan analisis mengenai pengaruh suhu terhadap koefisien dielektrik polivinil asetat dengan pendekatan Havrilliak Negami. Dari hasil ini ditemukan bahwa : (1).Pergeseran suhu mengakibatkan terjadinya perubahan pada sifat dielektrik bahan.;(2). Besarnya kerugian dielektrik dapat dijelaskan dengan mengaitkannya terhadap besarnya frekuensi dan besarnya sudut sapuan orientasi dipol. Semakin lebar sudut sapuan orientasi dipol. Semakin besar energi yang dibuang ke lingkungan, maka kerugian dielektriknya akan semakin besar; (3).Perubahan yang terjadi disekitar suhu transisi gelas  $T_g$  dan yang masih menampik hingga suhu  $47^\circ\text{C}$ , dapat dijelaskan dengan mengamati perubahan: frekuensi dari kerugian dielektrik maksimum,  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\Delta\epsilon$  yang diplot terhadap besarnya suhu. Perubahan ini berkaitan dengan perubahan besarnya hambatan terhadap orientasi dipol, konektivitas antar rantai, fluktuasi rapat massa setempat, dan daerah respon frekuensi dan (4). Penggambaran spektral relaksasi, dapat memperjelas terjadinya perubahan di sekitar suhu transisi gelas  $T_g$ .

**Kata Kunci:** *Dielektrik, polivinil asetat, Havrilliak Negami.*

**Abstract**

It has been conducted analysis of temperature influence to dielectric coefficient of polivinil acetate with the approach of Havrilliak Negami. From this result is found that: (1).The change of temperature result the change of nature of material dielectric; (2). The level of explainable dielectric loss by hooking correlating to level of frequency and level of sweep angle; corner orient the dipole. Wide progressively sweep angle;corner orient the dipol, ever greater of energi thrown to environment, hence dielectric loss will be ever greater; (3).The change that happened around temperature of transition of glass  $T_g$  and which still slap down till temperature  $47^\circ\text{C}$ . explainable by perceiving change: frequency from dielectric loss maximum, and plotted to level of temperature. This change go together the change of [is level of resistance to orientation dipole, konektivitas usher to enchain the, local mass density fluctuation, and area of respon frequency and (4). Visualization of spektral relaxation can clarify the happening of change of around transition temperature of glass  $T_g$ .

**Keywords:** *Dielectric, polivinil acetate, Havrilliak Negami.*

## PENDAHULUAN

Dewasa ini sedang terjadi tekanan dalam penelitian kopolimeran, yaitu aspek kimia polimer ke aspek-aspek fisika dan perekayasaan sistem polimer yang telah mapan, misalnya hubungan antara struktur dan sifat listrik polimer yang merupakan bidang kunci, dan sifat listrik polimer (M.A Cowd, 1991).

Polimer, nampaknya merupakan salah satu bahan yang memiliki kegunaan sangat penting pada saat sekarang maupun di masa mendatang. Bila bahan polimer ini digunakan sebagai peralatan teknik, seringkali diperlukan sifat kelistrikan bahan tersebut. Parameter yang menjelaskan sifat kelistrikan bahan diantaranya adalah koefisien dielektrik. Pada penelitian ini akan disaji sifat dielektrik polimer, dengan kajian khusus pada poli-vinil-asetat (PVAC).

Poli-vinil-asetat dipilih sebagai bahan kajian, karena suhu transisi gelas (Tg) pada PVAC berada disekitar suhu kamar, juga karena PVAC memiliki struktur amorf dan bersifat polar (R.H. Boyd, 1980).

Suhu transisi gelas (Tg) merupakan suatu parameter yang penting, karena suhu di bawah Tg dan di atas Tg memiliki keadaan yang berbeda. Adanya gerak molekul dapat dipengaruhi oleh besarnya koefisien dielektrik, sehingga pengukuran koefisien dielektrik dilakukan disekitar Tg, diharapkan dapat menjelaskan tentang karakteristik transisi.

Adapun masalah utama yang akan diteliti dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- (1). Seberapa besar suhu transisi gelas (Tg) bahan PVAC?;
- (2). Bagaimana model kurva dispersi kerugian dielektrik dari persamaan Cole dan Cole?;
- (3). Bagaimana model kurva dispersi kerugian dielektrik dari persamaan Davidson dan Cole?;
- (4).

Bagaimana model kurva dispersi kerugian dielektrik dari persamaan Havrilliak Negami?; dan (5). Bagaimana model kurva yang menggambarkan koefisien dielektrik kompleks secara lengkap?

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mensimulasikan persamaan Havrilliak Negami dengan menggunakan program MATHCAD Versi 7.0 Secara khusus tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh jawaban atas pertanyaan-pertanyaan yang dikemukakan pada permasalahan. Tujuan itu adalah untuk mengetahui : (1). seberapa besar suhu transisi gelas (Tg) bahan PVAC; (2). model kurva dispersi kerugian dielektrik dari persamaan Cole dan Cole, (3). mengetahui model kurva dispersi kerugian dielektrik dari persamaan Davidson dan Cole; (4). model kurva dispersi kerugian dielektrik dari persamaan Havrilliak Negami; dan (5) model kurva yang menggambarkan koefisien dielektrik kompleks secara lengkap.

Penelitian ini sangat penting dalam perkembangan ilmu material, khususnya pada pengembangan polimer di Indonesia. Polimer PVAC merupakan salah satu bahan yang dapat dipertimbangkan dalam pengembangan industri elektronik, berdasarkan hal tersebut maka bahan polimer PVAC memiliki prospek aplikasi yang sangat cerah pada masa sekarang dan di masa akan datang.

## KAJIAN TEORI

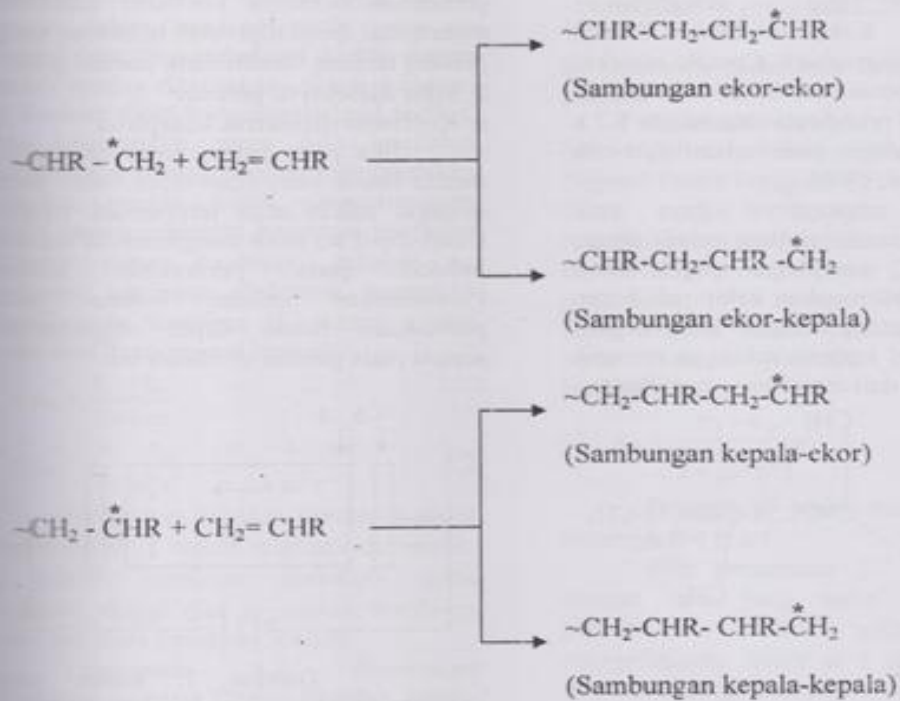
### 1. Struktur dan sifat poli-vinil-asetat (PVAC)

Molekul polimer adalah sebuah molekul besar yang terdiri atas banyak gugus sederhana (monomer), yang berkaitan secara berturutan, sehingga dapat disebut molekul rantai. Misalnya poli-vinil-asetat (PVAC) terdiri atas monomer yang

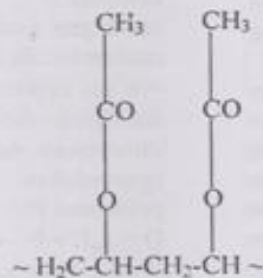
umumnya bersambungan secara kepala-ekor (Endang, M., 1990).

Pada polimerisasi vinil, ada tiga tipe yang berbeda dalam penyambungan yang dibentuk oleh setiap molekul monomer, yaitu bentuk penyambungan

yang seluruhnya terdiri atas kepala-ekor atau ekor-kepala, kepala-kepala atau ekor-ekor, dan penyambungan acak. Bentuk penyambungannya dapat digambarkan sebagai berikut:

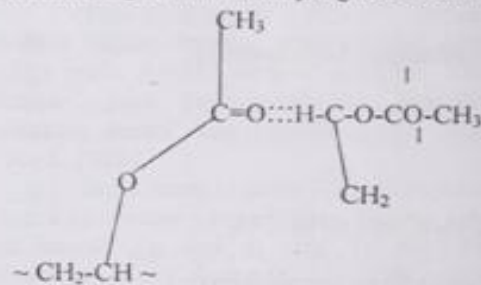


Bentuk penyambungan yang umum terjadi pada PVAC adalah kepala ekor yang digambarkan sebagai berikut:



Polimer PVAC kebanyakan molekulnya terdiri atas molekul yang panjang, dan adanya agitasi termal menyebabkan molekul bertekuk-tekok, sehingga molekul PVAC menjadi sulit untuk tetap terarah. Penurunan suhu kadang-kadang dapat menimbulkan penyerahan yang menghasilkan pengkristalan, maka molekul PVAC memiliki struktur amorf. Contoh molekul PVAC yang berukuran besar mempunyai massa molekul relatif rata-rata sekitar  $8,2 \times 10^4$  dengan derajat polimerisasi rata-rata 950 (R.H. Boyd, 1990).

PVAC mempunyai gaya tarik menarik antar molekul yang relatif besar, karena PVAC mempunyai gugus keton ( $=C=O$ ) yang merupakan kelompok besar. Pada gugus keton, oksigen lebih negatif dari pada atom karbon, sehingga menarik atom hidrogen dari rantai yang berdekatan.



Karena besarnya gaya tarik menarik antar molekul yang berdekatan ini, molekul PVAC tidak mudah bergeser bila ada gaya geser, sehingga memiliki titik gelas yang relatif tinggi.

Jika pada bahan diterapkan medan luar  $E$ , medan ini menyebabkan gugus keton akan berorientasi. Orientasi ini memerlukan pergerakan atom dalam bahan. Kemungkinan terjadinya pergerakan atom dalam bahan membesar bila bahan berada di atas temperatur transisi gelas  $T_g$ .

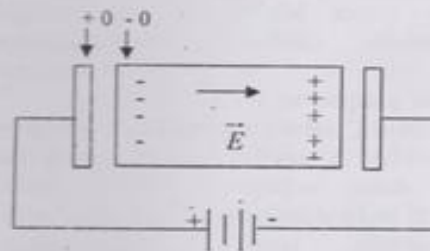
karena adanya agitasi termal memudahkan molekul mengalir atau bergerak.

Pergerakan atom dalam bahan menyebabkan terjadinya gerak rantai molekul. Pergerakan atom ini mempengaruhi besarnya koefisien dielektrik, sehingga dengan mempelajari perubahan besarnya koefisien dielektrik diharapkan dapat diperoleh informasi yang penting tentang karakteristik transisi gelas.

## 2. Sifat dielektrik polimer

### a. Koefisien dielektrik kompleks

Jika pada bahan polar diterapkan medan listrik luar, dipol-dipol listrik pada molekul bahan akan terorientasi sejajar. Dipol-dipol itu akan menghasilkan muatan induksi pada permukaan bahan. Pembentukan muatan induksi pada permukaan bahan dapat digambarkan seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Bahan yang terletak dalam kapasitor keping sejajar

Di bawah ini akan dijelaskan suatu pernyataan bagi koefisien dielektrik kompleks, yang didefinisikan dari hubungan antara perpindahan listrik  $D$  dan medan listrik  $E$  yang sinusoidal, yaitu  $D(t) = \epsilon^* \epsilon_0 E(t)$  dengan  $E(t) = E_0 \sin \omega t$ . Besarnya koefisien dielektrik kompleks  $\epsilon^*$  akan diturunkan dari keterkaitan antar medan perpindahan  $D$ , kuat medan  $E$  dan polarisasi  $P$ :

$$D = \epsilon_0 E + P \quad 3.1$$

Bila kapasitor sejajar seperti pada gambar 1 dihubungkan pada sumber

tegangan, dalam bahan akan terbentuk medan. Adanya medan listrik menyebabkan dipol-dipol dalam bahan akan berorientasi rata-rata sejajar medan listrik luar. Jika waktu mencukupi, besar polarisasi rata-rata akan mencapai kesetimbangan, kemudian bila diamati besarnya koefisien dielektriknya sama dengan dalam keadaan statis yaitu  $\epsilon_s$ . Dipihak lain, jika polarisasi diukur segera setelah medan diterapkan, dalam keadaan ini keadaan dipol baru terpolarisasi sedikit, atau keadaannya sama bila koefisien dielektriknya diukur dengan menggunakan frekuensi medan listrik yangditerapkan sangat besar, sehingga besarnya koefisien dielektrik dapat dituliskan sebagai  $\epsilon_\infty$ . Besarnya koefisien dielektrik kompleks seperti pada lampiran B, secara umum dapat dituliskan seperti berikut:

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + i\omega\tau}$$

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} - i \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad 3.2$$

Dengan  $\omega$  sebagai frekuensi sudut medan listrik,  $\tau$  waktu relaksasi dielektrik,  $\epsilon_\infty$  adalah koefisien dielektrik pada frekuensi tinggi dan  $\epsilon_s$  adalah koefisien dielektrik pada frekuensi rendah.

Persamaan 3.2 dinamakan persamaan disperse Debye (Blythe, 1980), yang dapat dituliskan dengan bagian real dan bagian imajiner seperti berikut:

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' \quad 3.3$$

Dengan  $\epsilon'$  adalah koefisien dielektrik dan  $\epsilon''$  adalah faktor kerugian dielektrik, bila bagian real dan bagian imajiner bersamaan 3.2 dan 3.3 dituliskan kembali, akan diperoleh:

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} \quad 3.4$$

dan

$$\epsilon'' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2} \quad 3.5$$

Jika kita mengeliminasi faktor  $\omega\tau$  dalam persamaan 3.4 dan persamaan 3.5 akan diperoleh persamaan lingkaran seperti berikut:

$$\left(\epsilon' - \frac{\epsilon_s + \epsilon_\infty}{2}\right)^2 + \epsilon''^2 = \left(\frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2}\right)^2 \quad 3.6$$

#### b. Koefisien dielektrik kompleks untuk polimer

Relaksasi dielektrik yang diamati pada polimer, memperlihatkan kurva dispersi faktor kerugian elektrik yang lebih besar, dan kerugian dielektrik maksimumnya lebih rendah dari yang telah diperkirakan model Debye. Cole dan Cole pada tahun 1941 mengusulkan persamaan semi empiris untuk relaksasi dielektrik pada polimer (Blythe, 1980) seperti berikut:

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (\omega^2\tau^2)^\beta} \quad 3.7$$

Dengan  $\beta$  suatu parameter yang besarnya  $0 < \beta \leq 1$ .

Bila persamaan 3.7 diperlakukan dengan cara yang sama seperti pada persamaan 3.2, yaitu dengan mengeliminasi faktor  $\omega\tau$  akan diperoleh persamaan lingkaran seperti berikut:

$$\left(\epsilon' - \frac{\epsilon_s + \epsilon_\infty}{2}\right)^2 + \left(\epsilon'' + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)^{\cot \log \beta \pi / 2}}{2}\right)^2 =$$

$$\left(\frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2}\right)^2 \cot^2 \beta \pi / 2 \quad 3.8$$

Pada tahun 1950 Davidson dan Cole memperbaiki kecocokan terhadap hasil eksperimen untuk bahan tertentu, dengan menggunakan suatu bahan yang sedikit berbeda dari persamaan Cole dan Cole.



Persamaan semi empirisnya seperti berikut:

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (\omega^2 \tau^2)^\alpha} \quad 3.9$$

Dengan  $\alpha$  adalah parameter yang besarnya  $0 \leq \alpha \leq 1$

Polimer amorf mempunyai kekhususan untuk relaksasi dielektriknya. Havrilliak Negami mendapatkan bentuk persamaan yang dapat menggambarkan koefisien dielektrik kompleks secara lengkap, yang berlaku untuk bahan polimer amorf. Persamaan Havrilliak-Negami (HN) adalah sebagai berikut:

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{[1 + (\omega^2 \tau^2)^\alpha]^\beta} \quad 3.10$$

Dengan  $\alpha$  suatu karakteristik pelebaran distribusi waktu relaksasi yang tidak simetris,  $\beta$  adalah karakteristik pelebaran yang simetris,  $\tau$  adalah waktu relaksasi yakni waktu yang dibutuhkan suatu molekul polimer untuk mencapai keseimbangannya setelah mengalami osilasi karena pengaruh medan listrik (Endang M., 1990).

#### c. Pengaruh temperatur terhadap koefisien dielektrik kompleks polivinil-Asetat (PVAC)

Sifat dielektrik polimer akan dipelajari dengan mengambil contoh polivinil-asetat (PVAC), karena merupakan polimer yang bersifat polar dan mempunyai temperatur transisi gelas disekitar suhu kamar. Sifat seperti ini memudahkan dalam melakukan percobaan, sehingga memudahkan dalam mempelajari karakteristik transisi koefisien dielektrik kompleksnya.

Pengaruh temperatur terhadap koefisien dielektrik kompleks  $\epsilon^*$ , dengan mengambil contoh perubahan pada poli-

vinil-asetat. Pengaruh temperatur terhadap  $\epsilon^*$  dapat dijelaskan dengan lebih baik dengan menggunakan bentuk persamaan (HN), karena persamaan ini adalah bentuk persamaan yang dapat menggambarkan  $\epsilon^*$  dengan baik. Yang menyangkut polimer amorf PVAC, semua parameter yang terdapat pada persamaan HN, akan diamati perubahannya bila temperatur sampel berubah. Parameter-parameter tersebut adalah waktu relaksasi  $\tau$ , koefisien dielektrik  $\epsilon'$ , kerugian dielektrik  $\epsilon''$ , kekuatan relaksasi dielektrik  $\Delta\epsilon$ , konektivitas antar rantai  $\alpha$ , dan fluktuasi rapat massa  $\beta$ .

Hubungan antara frekuensi pada kerugian dielektrik maksimum dengan temperatur, digambarkan oleh persamaan Williams-Landel-Ferry (WLF) sebagai berikut:

$$\log f_m = C - \frac{D}{T - T_0} \quad 3.11$$

$$\log f_m = 12,67 - \frac{900,5}{T_i - 245,3}$$

dengan  $f_m$  adalah frekuensi pada kerugian dielektrik maksimum, C dan D suatu konstanta, dan  $T_0$  temperatur kritis (Nozaki dan Mashimo, 1987)

#### d. Koefisien Dielektrik

Bahan ditempatkan pada kapasitor keping sejajar. Jika frekuensi medan listrik yang diterapkan cukup kecil terhadap daerah respon frekuensi, hampir semua dipol dapat terorientasi menyesejajar dan bertahan beberapa saat sebelum medan listrik berbalik arah. Kondisi seperti ini memungkinkan besarnya rapat muatan induksi pada permukaan bahan yang menempel pada keping kapasitor, berada dalam keadaan maksimum. Pada kapasitor keping sejajar, besarnya rapat muatan induksi adalah sama dengan polarisasi P.

sehingga besarnya koefisien dielektrik  $\epsilon'$  dalam keadaan maksimum, dan besarnya relatif tetap sama, sampai besarnya frekuensi mendekati daerah respon frekuensi.

Bila frekuensi diperbesar hingga berada dalam daerah respon frekuensi, ada dipol yang mulai bolak-balik dengan orientasi yang tidak sepenuhnya. Adanya dipol yang tidak terorientasi penuh, menunjukkan dipol yang dapat sejajar terhadap medan listrik luar mulai berkurang jumlahnya. Dipol yang tidak sempat sejajar terhadap medan listrik luar, karena medan listrik segera berbalik arah akan semakin besar jumlahnya, bila frekuensinya diperbesar. Semakin banyak dipol yang tidak sempat sejajar terhadap medan listrik luar, besarnya medan induksi dalam bahan dan muatan induksi pada permukaan bahan akan semakin kecil, karena vektor arah dipol banyak yang tidak sejajar. Jadi bila frekuensinya semakin besar dalam daerah respon frekuensi, jumlah muatan induksi semakin kecil, berarti besarnya koefisien dielektrik jadi semakin kecil. Akhirnya perubahannya menjadi semakin landai bila frekuensinya makin besar menjauhi daerah respon frekuensi. Hal ini diakibatkan karena keadaan dipol pada frekuensi yang lebih tinggi dari daerah respon frekuensi adalah relatif sama, sebab dipol hanya dapat berorientasi sedikit sekali. Jadi bila frekuensinya semakin besar dalam daerah respon frekuensi, besarnya  $\epsilon'$  akan terus semakin kecil.

#### c. Kerugian Dielektrik $\epsilon''$

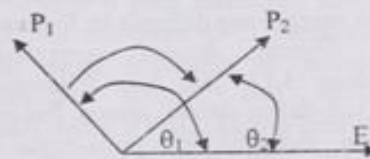
Kerugian dielektrik  $\epsilon''$  dapat dipahami dengan mengaitkan terhadap jumlah energi yang dibuang dalam bentuk panas ke lingkungan, karena adanya orientasi dipol. Semakin sering dipol melakukan rotasi, maka energi yang

dibuang ke lingkungan menjadi semakin besar karena kemungkinan dipol bertumbukan dengan lingkungan semakin besar, berarti besarnya kerugian dielektrik  $\epsilon''$  akan semakin besar.

Adapun besarnya energi yang dibuang ke lingkungan, akibat adanya orientasi dipol untuk satu kali siklus adalah :

$$\omega = \int_{\theta_1}^{\theta_2} P \cdot E d\theta \quad 3.12$$

dengan P adalah polarisasi dielektrik dan E merupakan medan listrik luar yang diterapkan.



Gambar 4.3 Orientasi Dipol

Jadi besarnya energi yang dibuang setiap detik, dapat dituliskan seperti berikut :

$$\omega = 2f \int_{\theta_1}^{\theta_2} P \cdot E d\theta \quad 3.13$$

dengan f adalah frekuensi medan listrik yang diterapkan.

Bila frekuensi yang diterapkan bersesuaian dengan besarnya waktu relaksasi rata-rata, yaitu frekuensi  $f_m$ , maka jumlah dipol yang dapat bolak balik dengan melakukan rotasi yang terus menerus adalah maksimum. Bila dipol berorientasi penuh secara terus menerus yaitu bila frekuensinya  $f_m$ , jumlah energi yang dibuang ke lingkungan akan maksimum, jadi kerugian dielektriknya maksimum.

Bila frekuensi diturunkan dari  $f_m$ , dipol yang dapat berorientasi penuh dengan berkesempatan tinggal mensejajar beberapa

saat, jumlahnya akan semakin banyak. Dipol yang sedang sejajar terhadap medan luar, tidak membuang energi ke lingkungan. Jadi jika frekuensinya semakin kecil dari  $f_m$ , besarnya energi per detik yang dibuang akan semakin kecil, berarti kerugian dielektriknya akan semakin kecil. Berbeda keadaanya jika frekuensinya dibuat semakin besar dari  $f_m$ , jumlah dipol yang tidak sempat berorientasi penuh akan semakin banyak, dan perubahan sudut orientasinya akan semakin sempit. Keadaan tersebut mengakibatkan besarnya energi yang dibuang ke lingkungan karena reorientasi dipol akan semakin kecil, maka kerugian dielektriknya akan semakin kecil. Jumlah energi yang dibuang ke lingkungan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.13, jadi bila frekuensinya dinaikkan dalam daerah respon frekuensi, kerugian dielektrik  $\epsilon''$  mula-mula naik hingga mencapai harga maksimum selanjutnya turun kembali.

#### f. Kekuatan Relaksasi Dielektrik $\Delta\epsilon$

Dipol terletak dalam rantai, karena itu adanya kebebasan gerak rantai, mempengaruhi kebebasan orientasi dipol. Kebebasan orientasi dipol ini dapat diamati dengan memperhatikan besarnya waktu relaksasi. Jika tahanan terhadap orientasi dipol besar, misalnya bila bahan dalam bentuk padatan, maka waktu relaksasinya akan menjadi besar.

Pada suhu di bawah  $T_g$  besarnya  $\Delta\epsilon$  akan relatif besar, karena gerak dipolnya dipengaruhi oleh adanya medan listrik saja, sebab pengaruh getaran termal masih relatif cukup kecil. Bila suhu pada bahan dinaikkan terus, maka besarnya  $\Delta\epsilon = \epsilon_s - \epsilon_\infty$  akan semakin kecil, karena dengan semakin besarnya pengaruh getaran termal, dipol akan semakin sulit menyejajar terhadap medan listrik luar memperkecil besarnya koefisien dielektrik  $\epsilon_s$ , sedangkan

$\epsilon_\infty$  relatif tetap.  $\epsilon_s$  menunjukkan besarnya koefisien dielektrik pada frekuensi kecil, sedangkan  $\epsilon_\infty$  adalah koefisien dielektrik saat frekuensinya semakin besar.

#### g. Konektivitas Antar Rantai $\alpha$

Parameter  $\alpha$  adalah suatu parameter yang menunjukkan besarnya interaksi antar rantai, yang menghubungkan ikatan antar rantai molekul yang bertetangga, yang dapat disebut sebagai konektivitas antar rantai (Endang M., 1990). Bila besarnya  $\alpha$  semakin kecil, konektivitas antar rantai molekul tampak makin kecil. Hal ini dapat diamati pada bentuk kurva  $\alpha$  terhadap suhu, dengan anggapan bila suhu pada sampel dinaikkan, getaran termal semakin besar sehingga memungkinkan terjadinya pemutusan hubungan antar rantai molekul.

Di bawah suhu transisi gelas  $T_g$ , yaitu bahan dalam keadaan padat, getaran termalnya relatif lemah, sehingga dapat dikatakan keadaan molekul tersebut relatif statik, yang dapat diartikan kuatnya interaksi antar rantai. Keadaan ini dapat dilukiskan sebagai adanya konektivitas antar rantai molekul yang kuat, dengan harga  $\alpha$  yang relatif besar. Kemudian bila suhunya dinaikkan mendekati  $T_g$ , peranan getaran termal untuk melepas hubungan antar rantai dengan cepat semakin besar. Makin dekat suhunya terhadap  $T_g$ , konektivitas antar rantai semakin lemah, karena pada suhu  $T_g$  getaran termal mulai berperan untuk melepas hubungan antar rantai. Perubahan yang cepat dari keadaan pasif hingga peranan getaran termal menjadi jelas untuk melepas hubungan antar rantai, mengakibatkan konektivitas antar rantai berubah dengan cepat semakin lemah. Perubahan tersebut selaras dengan perubahan  $\alpha$  yang menurun dengan cepat, bila suhunya dinaikkan mendekati  $T_g$ .

Bila suhunya dinaikkan, antara suhu  $T_g$  dengan  $45^\circ\text{C}$ , perubahan kekuatan

konektivitas antar rantai agak landai. Pada daerah suhu ini keadaannya relatif tetap. Getaran termal telah berperan, walaupun getaran termal belum mampu memutuskan ikatan van der Waals yang mengikat hubungan antar rantai. Getaran termal semakin berperan jika suhunya dinaikkan, sehingga konektivitas antar rantai semakin lemah, walaupun perubahannya tidak besar.

Setelah suhunya melewati 45°C, dengan meningkatnya suhu konektivitas antar rantai semakin kuat. Getaran termal yang semakin besar, menyebabkan getaran rantai molekul jadi semakin aktif. Di pihak lain, molekul mempunyai struktur amorf. Keadaan struktur yang acak dan rantai panjang yang saling kait mengait, bila bergetar interaksinya jadi semakin kuat, karena antar molekul saling bertumbukan. Ini dapat diartikan, bila suhu dinaikkan interaksi antar rantai akan semakin kuat kembali.

### **3. Fluktuasi Rapat Massa $\beta$**

Bila suhu pada bahan diturunkan melewati suhu  $T_g$ , rapat massa polimer amorf tidak mudah merata, sehingga banyak rongga-rongga yang terbentuk. Jarak antara atom yang berdekatan menyebabkan hambatan dipol dalam berotasi makin besar, sehingga waktu relaksasi dipol dalam berotasi makin besar dan beragam. Pelebaran distribusi waktu relaksasi yang diakibatkan karena dekatnya jarak antar atom, secara statistik distribusi waktu relaksasinya akan tetap simetris digambarkan oleh parameter  $\beta$ . Jadi dapat disimpulkan bahwa parameter  $\beta$  menggambarkan beragamnya keadaan lingkungan yang mengakibatkan beragamnya waktu relaksasi  $\tau$ . Keadaan ini oleh Nozaki dan Mashimo dikatakan

bahwa parameter  $\beta$  berkaitan dengan "fluktuasi rapat massa setempat".

Besarnya parameter  $\beta$  menurun dengan tajam bila suhunya diturunkan dibawah  $T_g$ . Ini dapat diartikan, makin berfluktuasi rapat massa sampel akan diperoleh harga  $\beta$  yang makin kecil.

Pada suhu 45°C, rantai molekul telah dapat bebas bergerak, sehingga rapat massa dapat dinyatakan merata, dan rapat massanya akan tetap merata walaupun suhunya dinaikkan. Keadaan ini ditunjukkan oleh harga  $\beta$  yang tinggi dan relatif konstan, bila suhunya dinaikkan di atas 45°C.

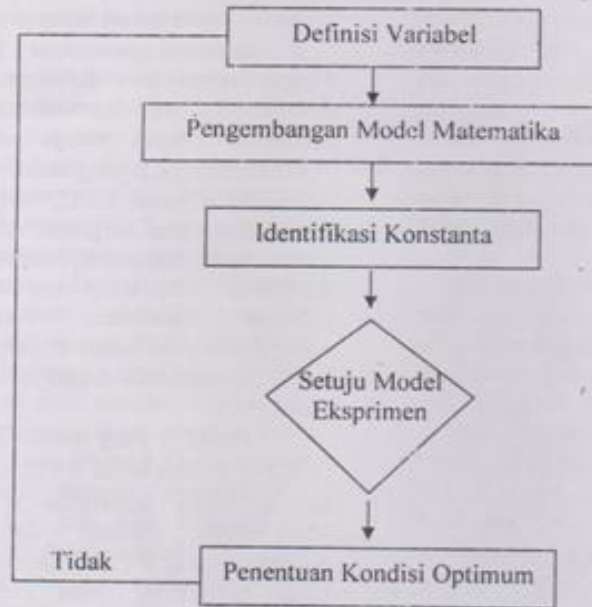
Harga  $\beta$  yang mendekati konstanta ( $\cong 0,87$ ) di atas suhu 45°C, menunjukkan bahwa harga konstanta  $\beta$  merupakan karakteristik inheren dari spektrum relaksasi untuk PVAC, karena besarnya  $\beta$  tidak bergantung pada efek sekeliling rantai (Mashimo, Nozaki, Yagihara, dan Takeishi, 1982).

### **METODE PENELITIAN**

Pelaksanaan penelitian yang terdiri dari uraian-uraian tentang langkah-langkah atau prosedur yang ditempuh dan metode-metode yang digunakan dalam proses pelaksanaan penelitian. Hal-hal yang dibahas dalam bab ini meliputi uraian tentang : Desain penelitian, metode penelitian, teknik pengambilan data dan teknik analisa data.

#### **A. Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan desain "analisis program" pada komputer dengan program Mathcad versi 7. Adapun desain simulasi program ini untuk menentukan sifat konstanta PVAC adalah sebagai berikut:



## B. Langkah-langkah Penelitian

### 1. Metode Analisis

Untuk memperoleh data konstanta dielektrik PVAC dalam penelitian ini digunakan analisis pengaruh temperatur terhadap konstanta dielektrik dengan pendekatan persamaan HN. Adapun langkah simulasi yang dilakukan adalah:

- Menjabarkan persamaan HN yang sesuai dengan sifat karakteristik dari PVAC dengan menggunakan beberapa pendekatan-pendekatan dan beberapa asumsi.
- Menguji cobakan data-data ke dalam program simulasi
- Melakukan modifikasi program apabila hasil uji coba tersebut belum memenuhi hasil eksperimen.

### 2. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Adapun teknik dan prosedur pengumpulan data yang digunakan dalam

penelitian ini melalui pengujian bentuk kurva dilakukan dengan cara mengubah besarnya parameter temperatur karakteristik pelebaran distribusi, waktu relaksasi yang simetris ( $\alpha$ ) karakteristik pelebaran simetris ( $\beta$ ), dan waktu relaksasi. Bentuk kurva yang akan dicari yaitu hubungan antara konstanta dielektrik real ( $\epsilon'$ ) dan konstanta dielektrik khayal ( $\epsilon''$ ) terhadap frekuensi medan listrik, dan plot cole-cole dari persamaan Debye.

### 3. Teknik Pengolahan dan Analisa Data

Teknik pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memasukkan data-data parameter  $\tau$ ,  $\epsilon$ ,  $\Delta\epsilon$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$  ke persamaan HN dan persamaan Debye, Cole-Cole. Selanjutnya untuk menyelesaikan persamaan ini dibuatkan program simulasi yang diselesaikan dengan menggunakan program Matchad versi 7.0 selanjutnya menganalisis hasil penelitian

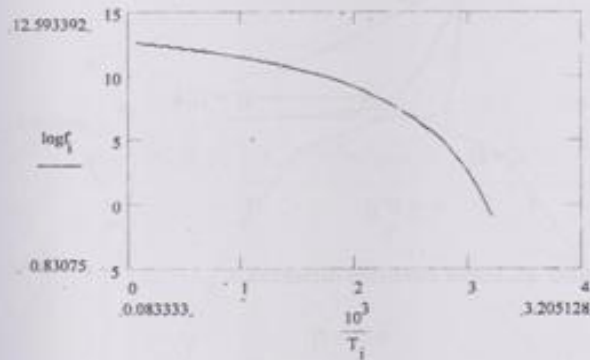
kurva hubungan antara konstanta dielektrik real ( $\epsilon'$ ) dan konstanta dielektrik khayal ( $\epsilon''$ ) terhadap frekuensi medan listrik, dan plot Cole-cole dari persamaan Debye.

### 1. Hubungan antara frekuensi terhadap suhu

Berdasarkan dari hasil pendekatan persamaan William-Landel-Ferry (WLF) pada persamaan (3.11) diperoleh seperti berikut ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Penelitian

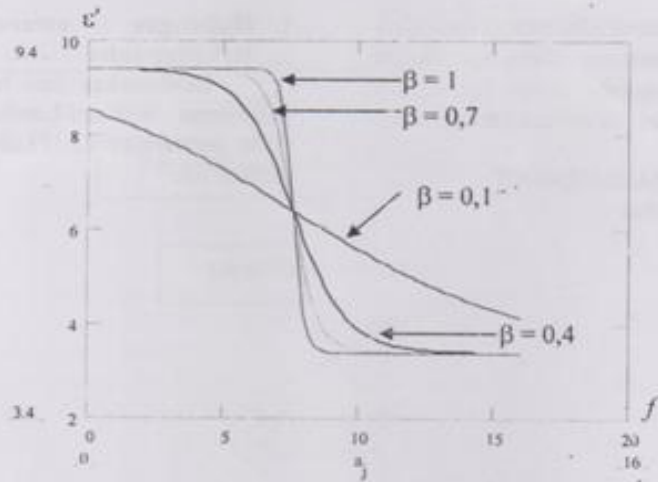


Gambar 1. Plot  $\log f_m$  terhadap  $1/T$  untuk persamaan WLF

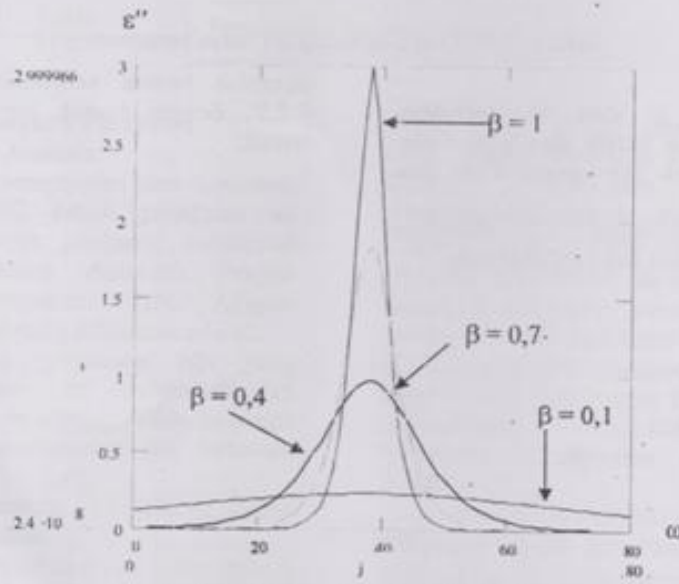
### 2. Hubungan $\epsilon'$ dan $\epsilon''$ terhadap frekuensi medan listrik dan plot Cole-cole dari bentuk persamaan Cole dan Cole

Bila persamaan 3.7 diuraikan menjadi bagian real dan imajiner akan

diperoleh bentuk persamaan C.2.4 dan C.2.5., dengan bentuk kurvanya seperti bentuk:



Gambar 2a. kurva koefisien dielektrik  $\epsilon'$

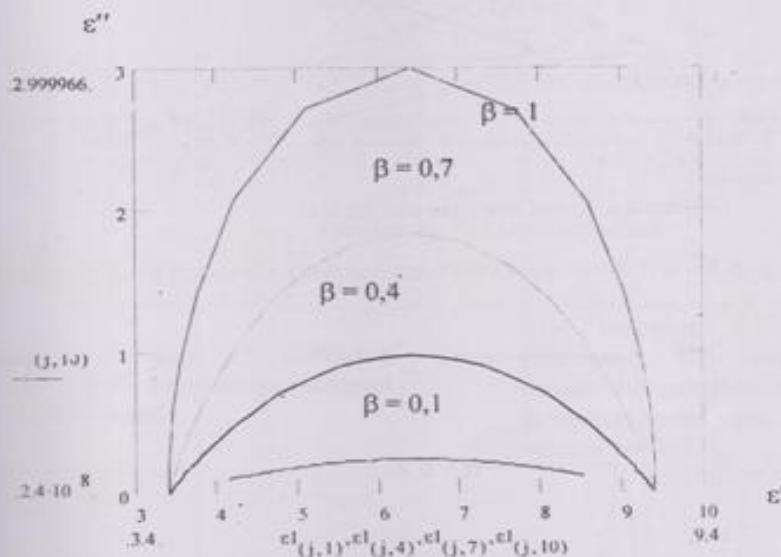


Gambar 2b. kurva kerugian dielektrik  $\epsilon''$

Gambar 2. Kurva persamaan Cole dan Cole dengan  $\beta = 0,1$ ,  $\beta = 0,4$ ,  $\beta = 0,7$ ,  $\beta = 1$

Persamaan 3.7. memperlihatkan hasil yang lebih baik dalam menggambarkan kurva dispersi kerugian dielektrik yang melebar. Jika antara  $\epsilon'$  dan

$\epsilon''$  diplot akan diperoleh gambar sebagai berikut:



Gambar 3. Plot  $\epsilon'$  dan  $\epsilon''$  dari persamaan 3.8

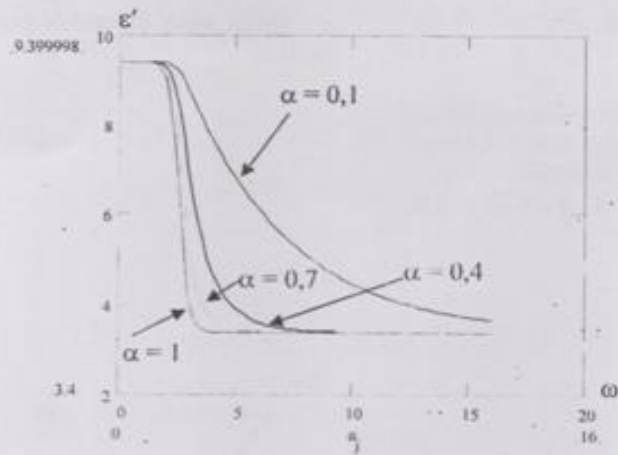
## 2. Hubungan $\epsilon'$ dan $\epsilon''$ terhadap frekuensi medan listrik dan plot Cole-Cole dari bentuk persamaan Davidson dan Cole

Selanjutnya dari persamaan 3.9 yakni persamaan Davidson dan Cole

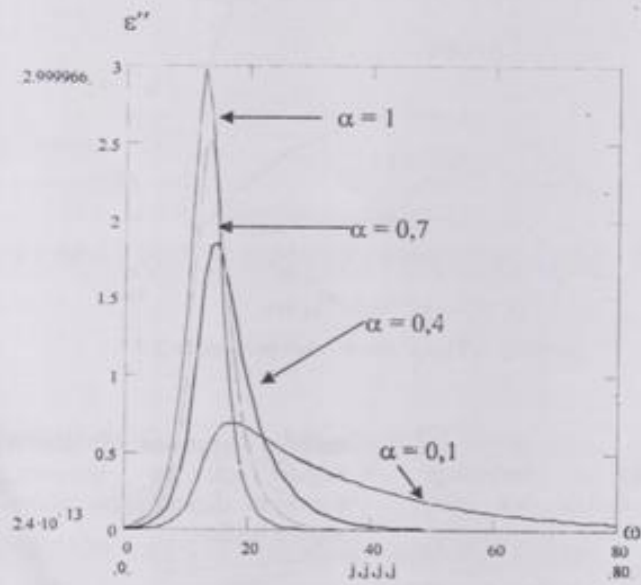
apabila persamaan ini diuraikan menjadi bagian real dan imajiner, kemudian kurvanya digambarkan, diperoleh bentuk seperti berikut:



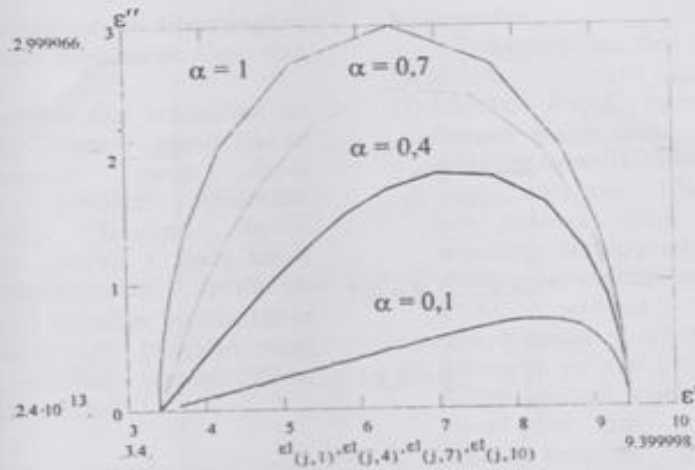




Gambar 4.a. Kurva koefisien dielektrik  $\epsilon'$



Gambar 4b. Kurva kerugian dielektrik  $\epsilon''$

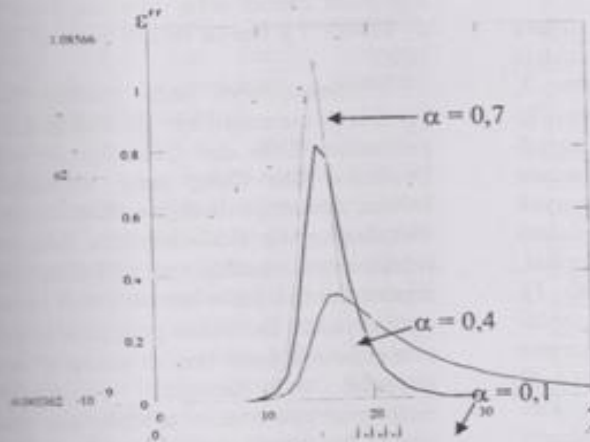


Gambar 4c. Plot Davidson -Cole

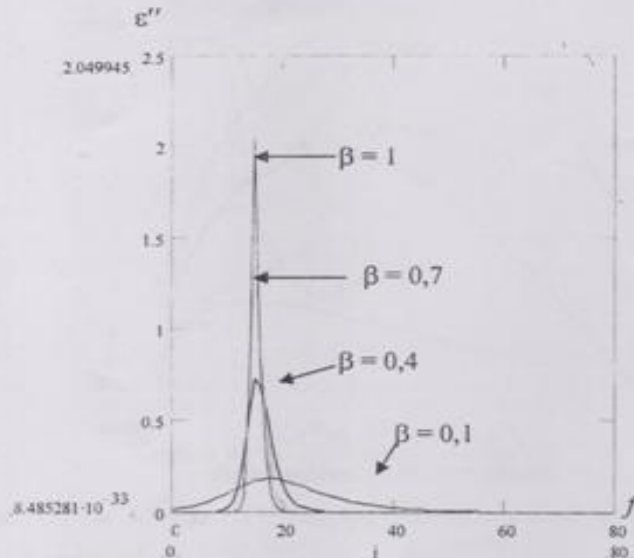
Gambar 4. Kurva persamaan Davidson dan Cole dengan  $\alpha = 0.1$ ,  $\alpha = 0.4$ ,  $\alpha = 0.7$ , dan  $\alpha = 1$

**3. Hubungan  $\epsilon'$  dan  $\epsilon''$  terhadap frekuensi dari bentuk persamaan Havriliak Negami**

Bila kerugian dielektrik  $\epsilon''$  dari persamaan HN dibuat grafiknya, dengan mengubah-ubah besarnya  $\alpha$  dan  $\beta$ , bentuk kurva yang diperoleh adalah sebagai berikut:



Gambar 5a.  $\beta = 0.5$  dengan  $\alpha = 0.1$ ,  $\alpha = 0.4$ , dan  $\alpha = 0.7$



Gambar 5b.  $\alpha = 0.5$  dengan  $\beta = 0.1, \beta = 0.4, \text{ dan } \beta = 0.7$

Gambar 5. Kurva persamaan  $\alpha$  dan  $\beta$  pada bentuk kurva  $\epsilon''$  dan  $\epsilon_\infty = 3.4, \Delta\epsilon = 6$  dan  $\tau_0 = 2.5 \times 10^{-15}$

### B. Pembahasan Penelitian

Pada grafik hubungan antara frekuensi pada kerugian dielektrik maksimum dengan suhu pada gambar 1, menunjukkan bahwa temperatur gelas ( $T_g$ ) berkisar  $47^\circ\text{C}$ . Penyimpangan yang terjadi di sekitar  $T_g$ , menunjukkan bahwa keadaan di bawah  $T_g$  dengan di atas  $T_g$  banyak berbeda, walaupun sampel di buat dalam keadaan kesetimbangan termal. Penyimpangan yang terjadi di bawah  $T_g$  dari persamaan WLF, menunjukkan rantai molekul tidak bebas bergerak, karena persamaan WLF berlaku bila suhunya di atas  $T_g$ . Misalkan suhu sampel diturunkan terus mulai dari suhu di atas  $47^\circ\text{C}$ , berarti pada suhu tersebut kebebasan gerak rantai mulai berkurang. Penyimpangannya semakin jelas pada suhu di bawah  $T_g$ , karena gerak rantai tidak banyak terjadi

lagi pada daerah suhu tersebut. Pada suhu di bawah  $T_g$  hanya terjadi getaran termal saja.

Selanjutnya pada gambar 3 dan gambar 4, menunjukkan gambar grafik dari persamaan Cole dan Cole dan persamaan Davidson dan Cole, yang menunjukkan bahwa keduanya menghasilkan hubungan distribusi yang tidak simetris dari waktu relaksasi di sekitar  $\tau_0$  (Blythe, 1980), seperti tampak pada bentuk kurva kerugian dielektrik  $\epsilon''$ . Demikian pula terlihat bahwa bila  $\alpha$  makin kecil bentuk kurva  $\epsilon''$  makin simetris. Kerugian dielektrik maksimumnya makin rendah, dan daerah respon frekuensinya makin melebar ke arah frekuensi yang lebih besar. Namun demikian, jika dibandingkan dari hasil kurva ke dua persamaan ini menunjukkan bahwa persamaan Davidson dan Cole

hasilnya lebih hampir simetri dibandingkan dengan kurva dari persamaan Cole dan Cole.

Berdasarkan dari kelemahan ini maka Havrilliak-Negami menunjukkan bentuk persamaan yang dapat menggambarkan koefisien dielektrik kompleks secara lengkap seperti ditunjukkan pada gambar 5. pada kurva tersebut memperlihatkan pengaruh besarnya  $\alpha$  dan  $\beta$  terhadap bentuk kurva kerugian dielektrik  $\epsilon''$ . Pengaruh dari masing-masing variabel tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Pengaruh  $\alpha$

Bila  $\alpha$  harganya makin kecil maka kerugian dielektrik maksimumnya makin rendah, bentuk kurva makin tidak simetris, dan daerah respon frekuensinya makin lebar dengan penyebaran ke arah frekuensi yang lebih besar serta respon frekuensi terkecilnya relatif tetap.

b. Pengaruh  $\beta$

Bila  $\beta$  dibuat makin kecil maka kerugian dielektrik maksimumnya makin kecil dan daerah respon frekuensinya melebar dengan penyebarannya simetris.

Bentuk kurva  $\epsilon''$  memiliki  $\epsilon''$  maksimum yang makin rendah, bila  $\alpha$  dan  $\beta$  makin kecil. Hal ini berarti bila  $\alpha$  dan  $\beta$  makin kecil dipol yang dapat berotasi dengan waktu relaksasi rata-rata jumlahnya makin berkurang. Daerah respon frekuensi yang makin melebar, menunjukkan bahwa waktu relaksasinya makin beragam. Adanya perbedaan waktu relaksasi dipol menunjukkan bahwa hambatan dipol individual dalam berotasi tidak sama.

### Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah.

- (1) Molekul PVAC merupakan polimer dengan massa molekul relatif besar, sehingga memiliki suhu titik gelas yang tinggi. Jika suhu PVAC diturunkan, konfigurasi tidak memungkinkan terjadinya pengkristalan, karena PVAC mempunyai struktur amorf. Pada rantai PVAC terdapat gugus keton, menyebabkan PVAC termasuk kelompok polimer yang bersifat polar. Kedua keadaan tersebut, yaitu struktur amorf dan sifat polar, merupakan keadaan yang penting dalam mengkaji koefisien dielektrik di sekitar suhu transisi gelas.
- (2) Bila pada bahan ditetapkan medan listrik luar, ternyata diperoleh respon yang unik, yang dapat digambarkan oleh kurva dispersi koefisien dielektrik. Keadaan khusus ini, untuk polimer amorf seperti PVAC, koefisien dielektriknya dapat digambarkan secara cukup baik oleh persamaan Havrilliak-Negami (HN).
- (3) Pergeseran suhu mengakibatkan terjadinya perubahan pada sifat dielektrik bahan. Perubahan sifat dielektrik ini, berakibat dengan kebebasan orientasi dipol dalam bahan, yang berhubungan dengan adanya gerak rantai. Kebebasan orientasi dipol dapat digambarkan oleh besarnya waktu relaksasi rata-rata, yang dapat diamati dari besarnya frekuensi pada kerugian dielektrik maksimum.
- (4) Besarnya kerugian dielektrik dapat dijelaskan dengan mengaitkannya terhadap besarnya frekuensi dan besarnya sudut sapuan orientasi dipol. Semakin lebar sudut sapuan orientasi dipol, semakin besar energi yang

dibuang ke lingkungan, maka kerugian dielektriknya akan semakin besar.

- (5) Perubahan yang terjadi disekitar suhu transisi gelas  $T_g$  dan yang masih menampak hingga suhu  $47^\circ\text{C}$ , dapat dijelaskan dengan mengamati perubahan: frekuensi dari kerugian dielektrik maksimum,  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\Delta\epsilon$  yang diplot terhadap besarnya suhu. Perubahan ini berkaitan dengan perubahan besarnya hambatan terhadap orientasi diol, konektivitas antar rantai, fluktuasi rapat massa setempat, dan daerah respon frekuensi.
- (6) Penggambaran spektral relaksasi, dapat memperjelas terjadinya perubahan di sekitar suhu transisi gelas  $T_g$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Blythe, A. R., *Electrical Properties of Polimers*, Cambridge U.P, Cambridge. 15-67 (1980).
- Endang, M., *Sifat dielektrik Polimer*, ITB, Bandung, 1990.
- M. A. Cowd. *Kimia Polimer*. 1991. ITB
- Soeparno Satira., *Analisis Fisis Polimer*, 1990. ITB, Bandung
- Richard H. Boyd., *Dielectric Constant and Loss*, 1990.
- Kho Hong Cen, *Mathcad*, 1990. Gramedia, Jakarta.