

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

**RESPON KRISTAL CAIR NEMATIK
PADA ALIRAN GESER OSILASI**

Ketua Peneliti :

Drs. Siswanto, M.Si.

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

PAMERAN



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP OPF Unair 1994/1995

SK.Rektor Nomor : 5655/PT03.1/N/1994

Nomor Urut : 154

KRISTAL CAIR

IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

Res
kk
548-9
Res

**RESPON KRISTAL CAIR NEMATIK
PADA ALIRAN GESER OSILASI**

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

3000420963141-1

Ketua Peneliti :

Drs. Siswanto, M.Si.

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibiayai Oleh : DIP OPF Unair 1994/1995
SK.Rektor Nomor : 5655/PT03.1/N/1994
Nomor Urut : 154

3000 426 98 3141

Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Universitas Airlangga

.. I L I K
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

RESPON KRISTAL CAIR NEMATIK PADA ALIRAN GESER OSILASI

Oleh :

**Drs. Siswanto, M.Si.
Drs. Djajadi, M.Eng.Sc.
Drs. Adri Supardi, M.S.
Drs. Pujiyanto, M.S.
Drs. Hamdani**

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

**Dibiayai Oleh: DIP/OPF Unair 1994/1995
SK. Rektor Nomor: 5655/PT03.H/N/1994**

RINGKASAN PENELITIAN

Judul : Respon Kristal Cair Nematik Pada Aliran Geser Osilasi

Ketua Peneliti : Siswanto

Anggota : Djajadi
Adri Supardi
Pujiyanto
Hamdani

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Airlangga

Dibiayai oleh : DIP Operasional Perawatan dan Fasilitas
Universitas Airlangga Tahun 1994/1995
SK. Rektor Nomor: 5655/PT03.H/N/1994

Dengan di temukannya kristal cair polimer sebagai material dalam berbagai teknologi, bahan ini menarik perhatian untuk diteliti sifat reologinya. Oleh adanya derajat penjajaran molekul, kristal cair polimer memiliki waktu relaksasi relatif lama dari pada cairan isotrop, sehingga menimbulkan efek viskoelastik.

Penelitian tentang kristal cair polimer yang mengalami osilasi kecil telah dibahas oleh Larson dan Mead, tetapi mereka mengabaikan efek viskoelastik yaitu efek distorsi Frank.

Fokus penelitian ini ditujukan pada peranan elastisitas Frank pada aliran geser osilasi. Pembahasannya dilakukan secara kuantitatif dan menggunakan asumsi bahwa bahan nematik terletak antara dua pelat sejajar yang tipis dan struktur nematik hanya mengalami distorsi kecil.

Dari hasil perhitungan dan analisis grafik diperoleh hasil sebagai berikut. Pada frekuensi rendah dan tinggi, respon didominasi oleh efek viskos sedangkan pada frekuensi menengah efek distorsi Frank berpengaruh pada respon makroskopiknya. Efek distorsi Frank ini terekspresikan melalui sifat viskoelastik yang digambarkan oleh kelakuan viskositasnya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami haturkan ke hadirat Alloh swt., karena atas karunia-Nya semata : penelitian OPF ini dapat diselesaikan.

Penelitian ini membahas kristal cair nematik dan reologinya. Bahan ini menarik perhatian karena sifat dan karakteristiknya yang berbeda dengan cairan biasa (isotrop). Secara fisis mereka bersifat fluida, tetapi memiliki juga sifat elastik, sehingga sering dinamakan bahan viskoelastik.

Nematik berkembang pesat dalam dua dasa warsa terakhir. Hal ini disebabkan konfigurasi molekulnya yang relatif sederhana dibanding kristal cair jenis lainnya. Bahan ini banyak digunakan dalam berbagai teknologi display.

Dikesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada para anggota yang telah saling membantu sehingga penelitian ini bisa selesai. Tak lupa diucapkan terima kasih kepada pihak terkait atas kepercayaannya kepada kami untuk melakukan penelitian OPF ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

Surabaya, Oktober 1995

Peneliti

DAFTAR ISI

RINGKASAN PENELITIAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II KRISTAL CAIR	4
2.1. Klasifikasi Kristal Cair	5
2.1.1. Nematik	8
2.1.2. Kolesterik	10
2.1.3. Smektik	16
2.2. Parameter Keteraturan	23
2.3. Kegunaan Kristal Cair	25
2.4. Struktur Kimia Nematik	26
BAB III RESPON CAIRAN POLIMER NEMATIK	28
3.1. Aliran Geser	28
3.2. Aliran Geser Osilasi	30
3.2.1 Analisis Geometri	31
3.2.2. Respon Aliran Nematik	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
BAB V KESIMPULAN	42
DAFTAR PUSTAKA	43

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kristal cair ditemukan pertama oleh Reitzner tahun 1811 (de Gennes, 1974). Bahan ini memiliki sifat dualisme; bersifat seperti cairan biasa dan bersifat sebagai kristal dalam keanisotropian optis, listrik dan magnetnya.

Berkaitan dengan struktur molekulnya, kristal cair dapat dibedakan menjadi nematik, kolesterik dan smektik. Nematik memiliki struktur molekul paling sederhana dibandingkan dengan kolesterik dan smetik. Selain itu strukturnya sangat labil, oleh gangguan eksternal yang relatif kecil nematik akan bertransisi menjadi cairan isotrop. Dengan alasan inilah penelitian ini difokuskan pada kristal cair nematik.

Nematik pada mulanya hanya digunakan untuk penelitian. Setelah diteliti tentang sifat optoelektroniknya, nematik mengalami perkembangan yang sangat pesat khususnya nematogen yang dapat mengalami elektrohidrodinamik (Castellano, 1979)

Dengan ditemukannya kristal cair polimer nematik sebagai material dalam berbagai teknologi, bahan ini menarik perhatian untuk diteliti sifat reologinya. Kelakuan dinamik sistem polimer lebih "komplis" dibandingkan cairan biasa [Wissbrun, 1981] Oleh adanya derajat penjajaran molekul, kristal cair polimer nematik memiliki waktu relaksasi relatif lama, yang akan menimbulkan efek viskoelatik.



Salah satu karakteristik dari nematik adalah sifat-sifat viskoelastiknya bergantung kuat terhadap arah orientasinya [de Gennes, 1974]. Hal ini telah dibuktikan oleh Larson dan Mead [Larson & Mead, 1989] dalam perhitungan viskoelastik linear dengan menggunakan model molekul Doi.

Dalam perhitungannya, Larson dan Mead mengabaikan perubahan spatial (spatial Variation) molekul-molekul penyusun nematik dengan arah orientasinya. Perubahan spatial ini berkaitan dengan elastisitas distorsi (elastisitas Frank) yang dapat diekspresikan melalui energi bebasnya [Frank, 1983]. Dengan demikian, fokus penelitian ini ditujukan pada peranan elastisitas Frank dalam aliran geser osilasi. Diharapkan elastisitas Frank bersama dengan distorsi arah akan menentukan tanggapan makroskopik viskoelastik nematik.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh elastisitas Frank terhadap respon makroskopik nematik, terutama tentang viskositas dan modulusnya bila dikenakan aliran geser osilasi.
2. Bagaimana pengaruh frekuensi aliran osilasi pada respon makroskopiknya.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain ;

1. Mempelajari sifat-sifat dan karakteristik kristal cair, khususnya kristal cair nematik.
2. Mengetahui efek elastik distorsi (distorsi Frank) terhadap osilasi amplitudo kecil pada bahan polimer kristal cair nematik.
3. Ikut "bermain" dalam riset dan pengembangan Fisika material, khususnya di Universitas Airlangga.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi Interpretasi tentang kristal cair nematik, yang saat ini banyak digunakan dalam teknologi bahan. Selain itu dapat meningkatkan keterampilan dan profesionalisme peneliti dalam bidang penelitian.

BAB II

KRISTAL CAIR

Padatan kristal merupakan zat padat yang atom-atom atau molekul-molekulnya secara ideal mempunyai keteraturan susunan sempurna, baik posisinya yang periodik maupun orientasinya yang teratur dan terarah pada suatu arah tertentu. Pusat massa molekulnya terletak pada kisi periodik berdimensi tiga, sehingga pola difraksi sinar X kristal memperlihatkan refleksi Bragg yang tajam.

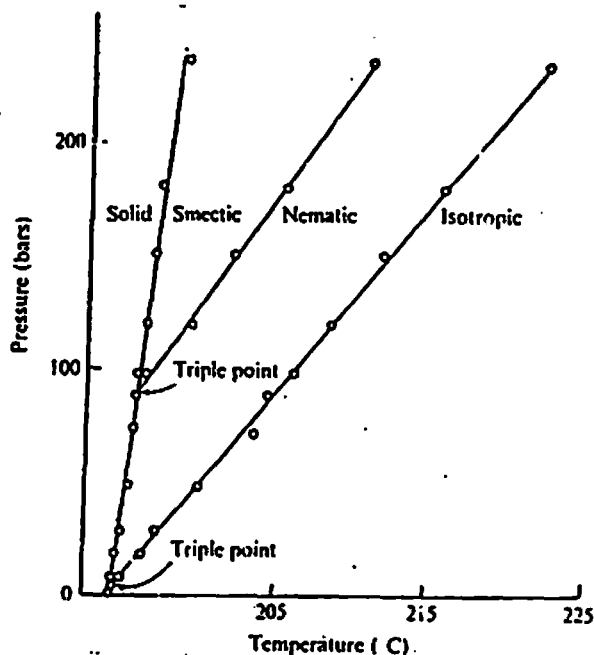
Cairan isotrop tersusun atas molekul-molekul yang tidak teratur, baik posisi maupun orientasinya. Pusat massa molekulnya tidak mempunyai keteraturan, dan mudah mengalir.

Istilah kristal cair menunjukkan suatu keadaan terkondensasi yang struktur atom-atom atau molekul-molekulnya terletak antara struktur kristal dan struktur cairan isotrop. Mereka mempunyai sifat mekanik dan sifat simetri antara cairan isotrop dan kristal. Oleh karena itu kristal cair sering dinamakan pula fase tengah (mesophase).

Bab ini akan membahas kristal cair, yaitu klasifikasi, sifat-sifat, dan strukturnya. Selanjutnya dengan pembahasan ini diharapkan dapat ditentukan gejala yang ditimbulkan pada keadaan tertentu, dan dapat diaplikasikan dalam teknologi.

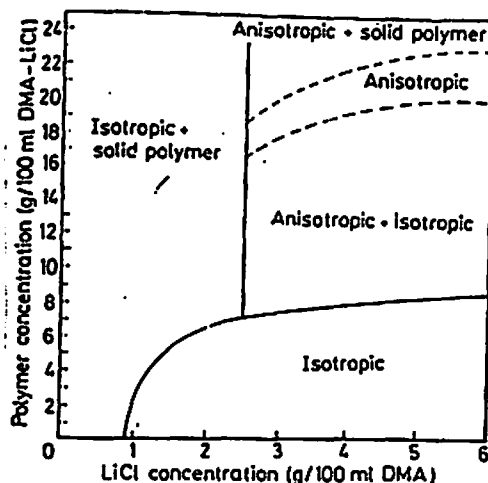
2.1. Klasifikasi Kristal Cair

Bila kristal padat dinaikkan temperaturnya, maka pada temperatur tertentu akan mencair menjadi kristal cair. Kristal cair yang diperoleh dengan cara pelelehan ini dinamakan kristal cair termotropik (untuk selanjutnya ditulis KCT). Bila dipanaskan terus, KCT ini akan menjadi cairan isotrop. KCT ini memiliki molekul-molekul yang panjang dan tegar, semacam pelurusan benang panjang dan berukuran panjang 1,5–4 nm (D. Tarigan, 1991). Pada KCT temperatur merupakan parameter utama yang menentukan perubahan fase. Tekanan dapat pula menyebabkan perubahan fase KCT, tetapi pengaruhnya tidak sekuat pengaruh temperatur (gambar 2.1). KCT biasanya banyak dijumpai pada molekul-molekul senyawa organik murni (de Gennes, 1974).

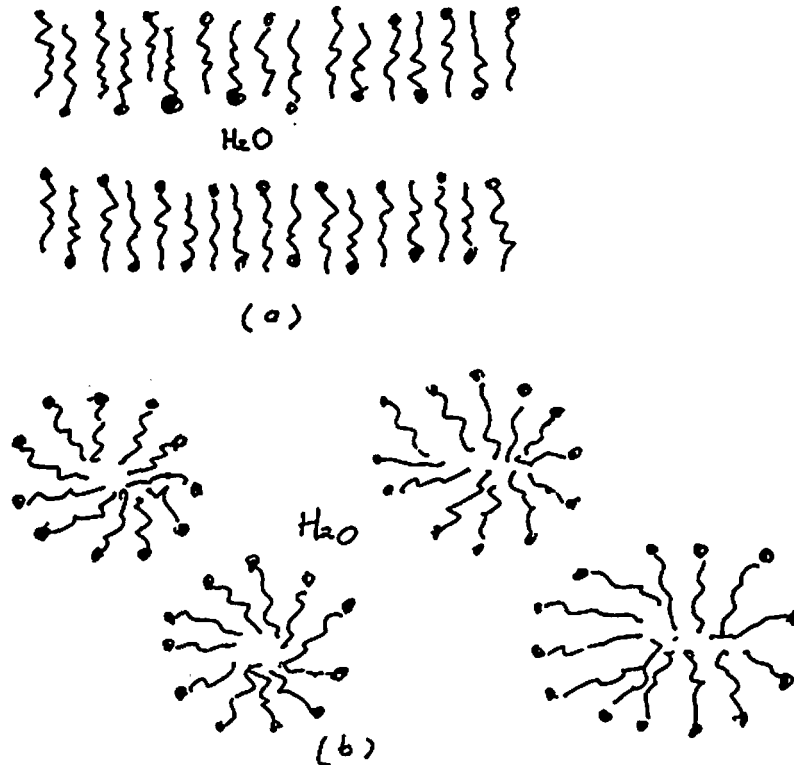


Gambar 2.1 Diagram fase asam para-ethoxybenzoat (sumber : Chandrasekhar, 1992, hal. 29)

Kristal cair dapat ditemui pula dalam sejumlah larutan polimer. Pada sistem tersebut parameter utama yang menentukan perubahan fase adalah konsentrasi (gambar 2.2). Temperatur dapat pula menyebabkan perubahan fase tetapi pengaruhnya tidak sekuat pengaruh konsentrasi. Kristal cair semacam ini dinamakan kristal cair lyotropik (untuk selanjutnya ditulis KCL). KCL ini tersusun atas dua atau banyak komponen. Biasanya salah satu komponen KCL adalah amphipilik (terdiri atas kelompok ujung yang polar dan rantai hidrokarbon), dan komponen lainnya adalah air. Sistem air-sabun merupakan contoh KCL. Pada sistem ini terdapat anion alifatik $\text{CH}_2(\text{CH}_2)_{n-2}\text{CO}_2^-$ (dengan n antara 12 - 20) dan ion positif (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , atau yang lain). Ujung polar asam (seperti gugus- CO_2^-) cenderung menarik molekul-molekul air, sebaliknya rantai alifatik non polar menjauhi air. Fenomena ini dapat membentuk sistem lamellar atau sistem heksagonal (gambar 2.3) atau yang lainnya.



Gambar 2.2. Diagram fase larutan poli-p-benzamida dalam dimetil asetamida/litium chlorida. (sumber : Finkelmann & Rehage, 1984, hal. 67).



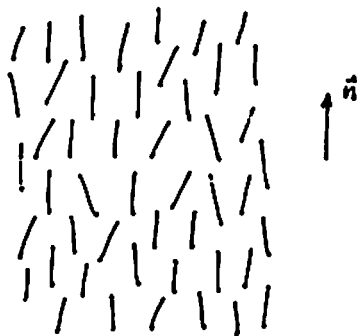
Gambar 2.3 Sistem asam-air. Gambar (a) adalah sistem lamellar, dan (b) adalah sistem heksagonal.

Selanjutnya pembahasan kristal cair dalam penelitian akan difokuskan pada KCT. Berdasarkan strukturnya, KCT oleh G. Friedel tahun 1922 (de Gennes, 1974) dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

1. Kristal cair nematik (untuk selanjutnya dinamakan nematik).
2. Kristal cair kolesterik (untuk selanjutnya dinamakan kolesterik).
3. Kristal cair smektik (untuk selanjutnya dinamakan smektik).

2.1.1. Nematik

Kata nematik berasal dari bahasa Yunani *nema*, artinya benang. Ciri utama struktur nematik adalah keteraturan orientasi berjangkau panjang (long range orientational order) ; molekul-molekulnya cenderung paralel pada satu sumbu tertentu. Sumbu yang dicenderung ini merupakan arah nematik, dan biasanya ditandai oleh unit vektor \vec{n} (gambar 2.4).



Gambar 2.4. Susunan molekul-molekul nematik. Arah orientasi molekul ditandai dengan \vec{n} .

Pusat massa molekul nematik terdistribusi secara uniform dalam medium. Secara posisi tidak terdapat keteraturan berjangkauan panjang, tetapi tersusun dari keteraturan berjangkauan pendek seperti cairan biasa, sehingga tidak ada puncak Bragg dalam pola difraksi sinar-X.

Arah orientasi molekul \vec{n} dan $-\vec{n}$ tidak terbedakan. Sifat ini menyebabkan sistem dalam nematik invarian terhadap pergeseran $\vec{n} \rightarrow -\vec{n}$. Secara optis nematik merupakan medium yang uniaksial dan tidak mempunyai polaritas.

Nematik hanya timbul pada bahan-bahan yang tidak terbedakan antara sistem putar kanan dan sistem putar kiri (de Gennes, 1974). Setiap molekul harus identik dengan bayangan cerminnya (achiral) atau sistem harus merupakan campuran rasemik (1:1) antara bahan putar kanan dan bahan putar kiri.

Nematik dapat mengalir semudah cairan organik (Perhann, 1988). Molekul-molekulnya bergerak bebas dalam semua arah dan menjaga orientasi rata-rata sepanjang arah \vec{n} . Sebagai contoh, nematik dari senyawa para-azoxy anisole viskositasnya $\sim 10^{-2}$ Pa.s, dan sebagai perbandingan viskositas air pada suhu kamar $\sim 10^{-3}$ Pa.s.

Fluktuasi termal pada bahan nematik akan menyebabkan deviasi penjajaran molekul-molekul. Sumbu-sumbu molekul membentuk sudut terhadap sumbu orientasi. Distribusi sudut ini dapat dinyatakan dengan parameter keteraturan (akan dibahas bab 2.3), dan dapat melukiskan derajat keanisotropian bahan.

Penambahan kalor pada bahan nematik akan menyebabkan transisi menjadi cairan isotrop. Besarnya kalor bergantung pada jenis senyawa nematik. Transisi nematik-isotrop mempunyai entalpi relatif kecil - bervariasi antara 0,1 - 4 kJ/mol (Perhann, 1988).

2.1.2. Kolesterik

Kolesterik dapat dipandang sebagai nematik terputar. Molekul- molekulnya memiliki keteraturan orientasi berjangkauan panjang. Pusat massa molekulnya terdistribusi secara acak seperti dalam nematik dan tidak ada puncak-puncak Bragg dalam pola difraksi sinar-X .

Secara lokal kolesterik mirip dengan nematik. Orientasi molekul menunjukkan sumbu yang dicenderung dan ditandai oleh arah \vec{n} . Arah \vec{n} ini tidak tetap dalam ruang. Konformasi yang dicenderung adalah heliks (gambar 2.4). Bila sumbu Z merupakan sumbu heliks, maka \vec{n} mempunyai arah :

$$\begin{aligned} n_x &= \cos (t_o Z + \theta) \\ n_y &= \sin (t_o Z + \theta) \\ n_z &= 0 \end{aligned} \quad (2- 1)$$

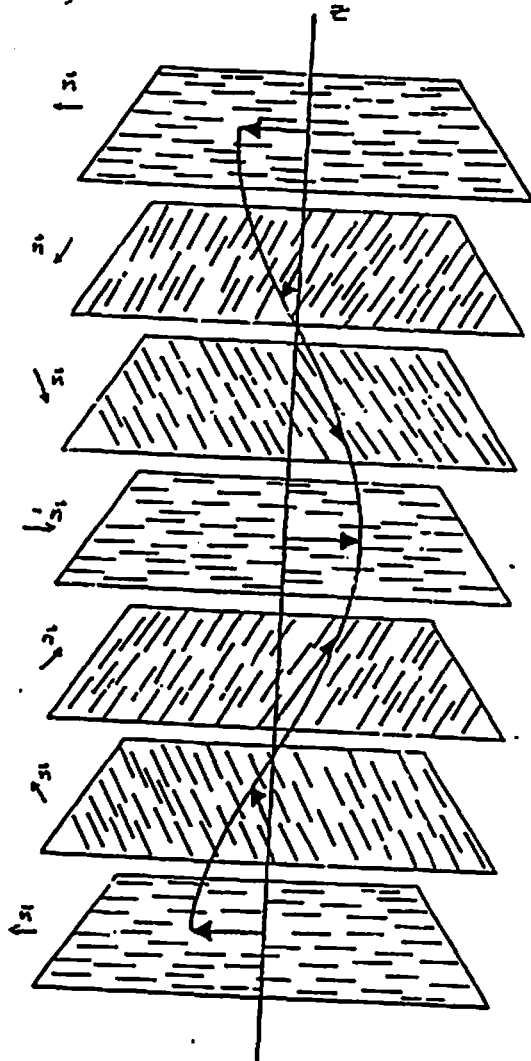
Struktur heliks pada kolesterik berperiodik sepanjang sumbu Z. Bila \vec{n} dan $-\vec{n}$ ekuivalen, periodenya (L) adalah setengah pitch :

$$L = 1/2 P = \frac{\pi}{|t_o|} \quad (2. 2)$$

dengan P : pitch, yaitu panjang sumbu heliks bila \vec{n} berotasi satu putaran penuh.

t_o : vektor propagasi.

Periode \vec{n} berorde $\sim 0,3 \mu\text{m}$ dan sebanding dengan panjang gelombang tampak (Wissbrun, 1981).



Gambar 2.5. Susunan molekul-molekul dalam kolesterik
Arah orientasi \vec{n} berputar secara periodik
membentuk sumbu heliks Z.

Besar dan tanda t_o kolesterik mempunyai arti yang penting. Tanda akan membedakan heliks putar kanan dan heliks putar kiri. Bila vektor propagasi t_o positif, diperoleh heliks putar kanan. System ini dapat ditemukan pada kolesterol klorida. Bila t_o negatif, diperoleh heliks putar kiri. Sistem ini banyak ditemukan pada ester alifatik kolesterol.

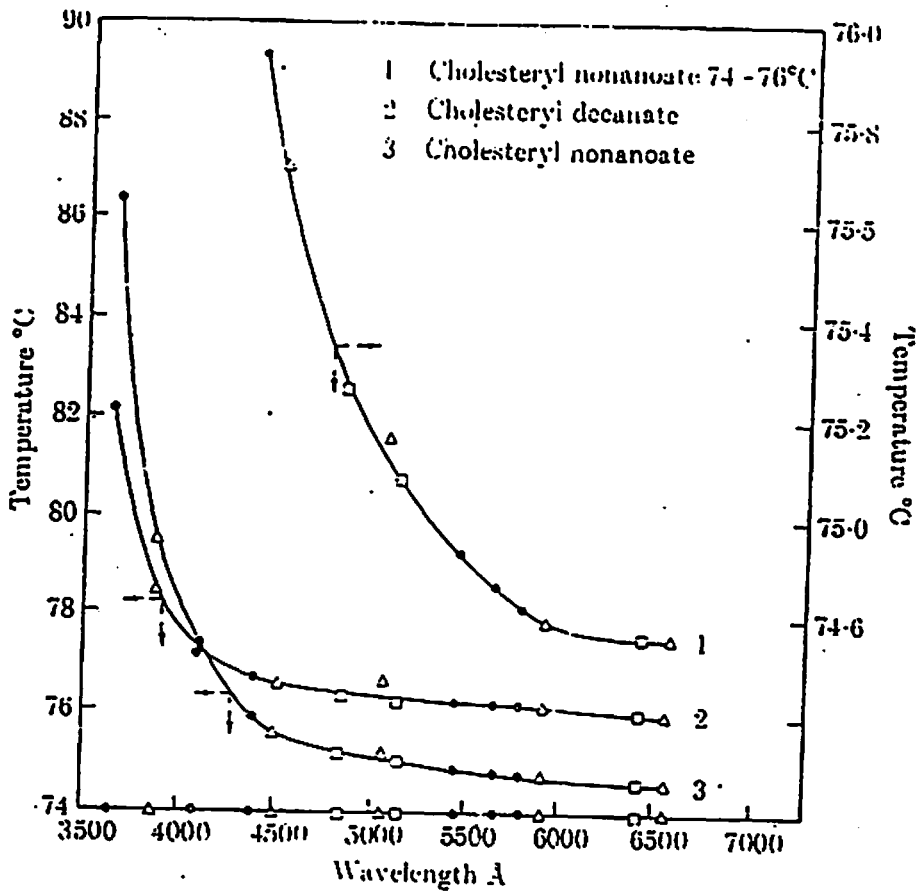
Perubahan temperatur kolesterik akan mengubah harga t_o (gambar 2.6). Perubahan temperatur kolesterik ini diikuti pula dengan perubahan warnanya (tabel 2.1.). Perubahan warna ini berkaitan dengan perubahan jarak antar bidang atau perubahan panjang pitch, dan kuat lemahnya interferensi.

Tabel 2.1

Perubahan Warna sebagai fungsi temperatur ($^{\circ}\text{C}$) dalam kolesterik (sumber : Castellano, 1978)

Human body temperature	36,9
Colorless → red	39,5
Red → orange	39,7
Orange → yellow	40,0
Yellow → green	40,2
Green → Cyan	40,6
Cyan → blue	41,2
Blue → violet	42,0
Violet → colorless	43,0

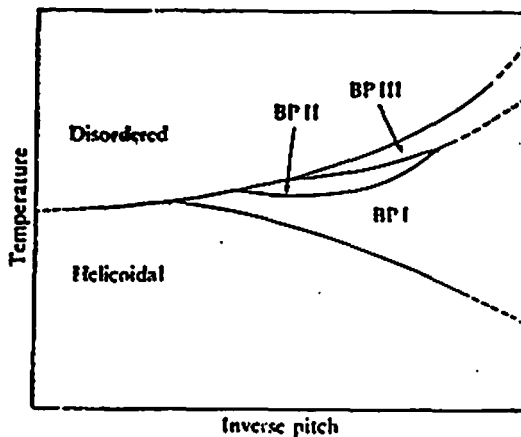




Gambar 2.6 Hubungan antara pitch dan temperatur pada kolesterik (sumber : de Gennes, 1974 hal. 10)

Kolesterik yang memiliki pitch rendah, kurang dari 500 nm (Chadraskhar, 1992) dapat menunjukkan "fase biru". Fase biru ini timbul hanya pada interval suhu yang kecil ($\sim 1^\circ \text{C}$), antara fase kolesterik dengan fase isotropik.

Fase biru dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu; fase biru I, fase biru II, dan fase biru III, sesuai dengan pertambahan temperaturnya (gambar 2.7). Fase biru I struktur molekulnya membentuk body-centered cubic lattice. Fase biru II struktur molekulnya membentuk simple cubic lattice, dan fase biru III struktur molekulnya amorf (Collings, 1990 & Chandrasekhar, 1992).



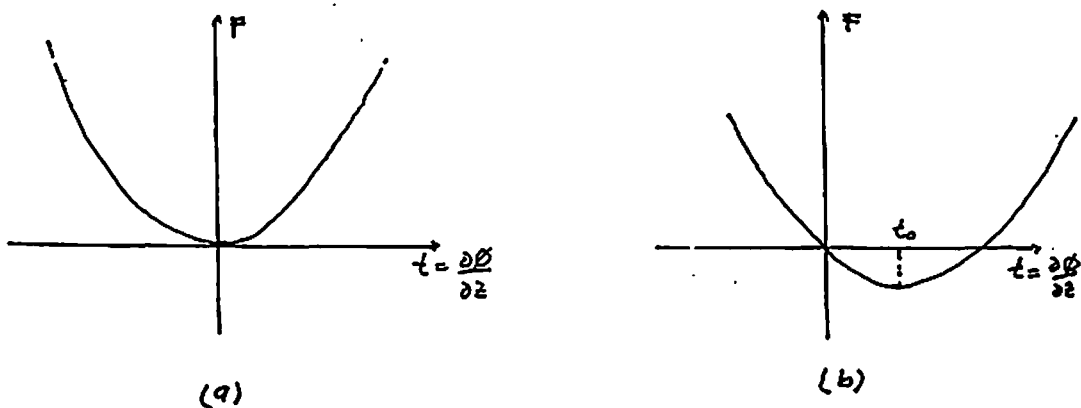
Gambar 2.7 Diagram fase pada fase biru
(sumber : Chandrasekhar, 1992, hal. 292).

Banyak senyawa-senyawa kristal cair yang hanya merupakan fase kolesterik. Tidak ada senyawa yang telah diketahui memiliki fase nematik dan kolesterik (de Gennes, 1974).

Kolesterik terdapat hanya pada sistem yang non rasemik. Bila arah putaran kolesterik $n_x = \cos \theta(Z)$, $n_y = \sin \theta(Z)$ dan energi bebas F (per satuan volume) sebagai fungsi twist $t = \frac{\partial \theta}{\partial Z}$ maka:

- Bahan yang tidak terbedakan antara putar kanan dan putar kiri, plot $F(t)$ harus simetri $F(-t) = F(t)$. F minimum pada saat $t = 0$ (gambar 2.8 a), dan hal ini merupakan fase nematik.
- Bahan berbeda dari bayangan cerminnya (mirror image), plot $F(t)$ tidak bersifat simetri. Nilai minimum F tidak pada $t=0$ dan twist t_0 optimum tidak sama dengan nol (gambar 2.8b). Sifat ini merupakan fase kolesterik.

Dengan demikian nematik dan kolesterik dapat dianggap dua sub kelas dari famili yang sama. Bila sistem bersifat rasemik atau achiral dikelompokkan ke fase nematik, tetapi bila sistem berbeda dari bayangan cerminnya dikelompokkan ke fase kolesterik.



Gambar 2.8 Perubahan energi bebas F terhadap twist untuk sistem yang berbeda sifat fisisnya. (a) plot sistem rasemik atau achiral. (b) plot sistem chiral.

Penambahan kalor pada bahan kolesterik akan menyebabkan taransisi menjadi cairan isotrop. Entalpinya relatif kecil, antara 0,8 - 2,2 kJ/mol (Pershann, 1988).

2.1.3. Smektik

Istilah smektik berasal dari bahasa Yunani Smegma, artinya sabun. Nama ini diberikan oleh G. Friedel (de Gennes, 1974), untuk mencirikan kristal cair yang sifat mekaniknya menyerupai sabun.

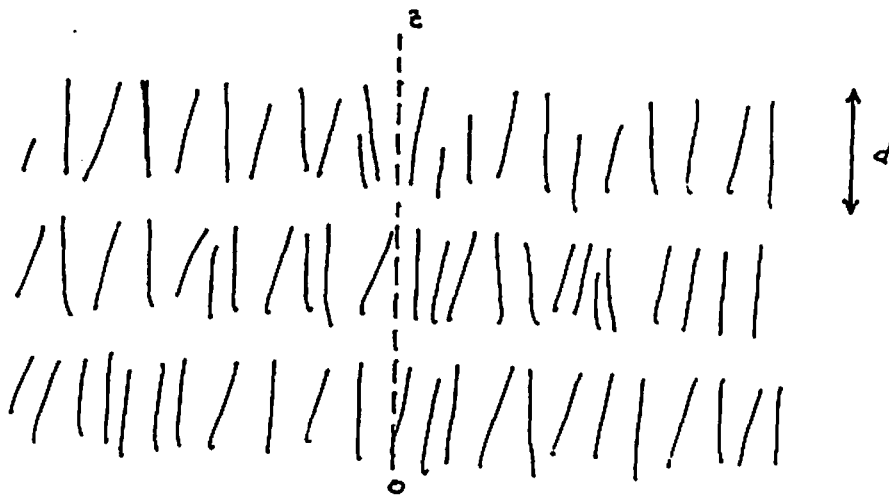
Smektik memiliki keteraturan susunan molekul lebih baik dari nematik atau kolesterik. Molekul-molekulnya tersusun dalam lapisan-lapisan. Lapisan-lapisan molekul ini ada yang teratur dan ada yang tidak teratur. Pada kelompok pertama, molekul-molekul pada lapisan memiliki keteraturan berjangkauan panjang dan tersusun dalam dua dimeensi. Kelompok kedua, molekul-molekul pada lapisan tidak mempunyai keteraturan berjangkauan panjang, dan pusat massanya terdistribusi secara acak.

Smektik dapat dikelompokkan menjadi beberapa subklas. Pengelompokan ini didasarkan pada struktur molekul lapisan dan sifat simetrinya (Johnson & Porter, 1974). Subklas smektik tersebut ditandai dengan huruf A sampai K dan yang diketahui dengan baik adalah S_A , S_B , dan S_C .

Smektik A (S_A)

Susunan molekul-molekul smektik A ditunjukkan oleh gambar 2.9. Fase ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

1. Strukturnya berbentuk lapisan-lapisan, dengan tebal lapisan sama dengan panjang molekul bahan.
2. Dalam setiap lapisan, pusat massa molekul tidak menunjukkan keteraturan berjangkauan panjang.
3. Secara optis, S_A merupakan sistem uniaksial. Sumbu optik O_z normal terhadap bidang lapisan.
4. Arah Z dan $-Z$ ekuivalen.



Gambar 2.9. Struktur molekul dalam smektik A. O_z adalah sumbu optik, dan tebal lapisan adalah d /

Sifat (1) dan (2) bersama-sama mendefinisikan tipe keteraturan berdimensi satu. Sifat (3) dan (4) mirip dengan sifat nematik. Bila nematik didoping dengan bahan yang enantiomorf akan menjadi kolesterik, distorsi serupa ini tidak terjadi pada S_A .

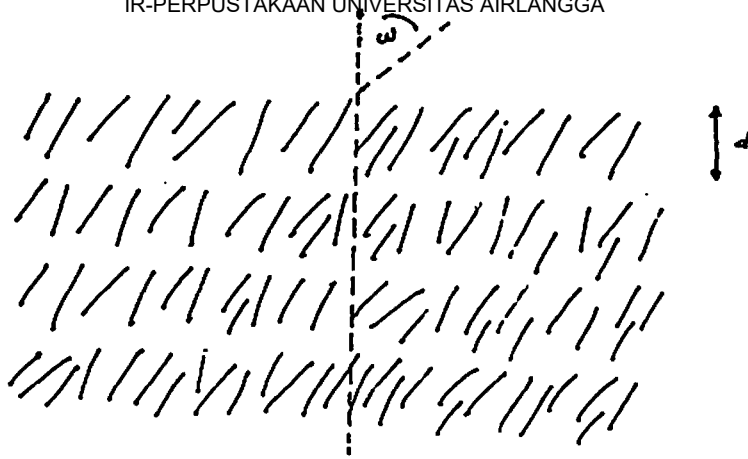
Penambahan kalor pada S_A akan menyebabkan transisi menjadi nematik atau kolesterik. Entalpinya berkisar antara 0,8 - 2,2 kJ/mol. S_A dapat pula bertransisi langsung menjadi isotrop, dengan entalpi 6-8 kJ/mol (Pershann, 1988).

Smektik C (S_C)

Smektik C memiliki struktur molekul dan sifat yang berbeda dengan S_A . Fase ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

1. Pusat massa molekul setiap lapisan tidak memiliki keteraturan berjangkauan panjang. Struktur ini sama dengan struktur S_A .
2. Secara optis bahan-bahan smektik C merupakan sistem biaksial.

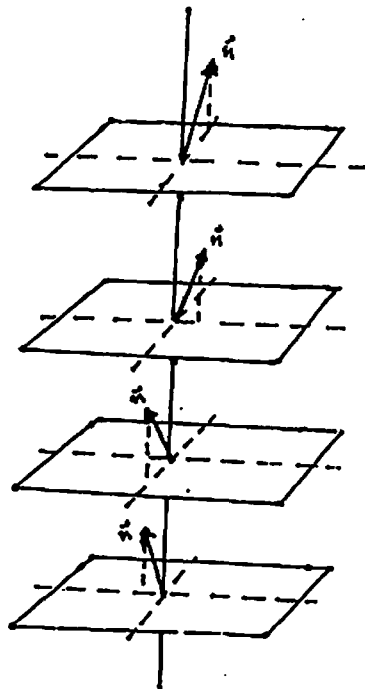
Tebal lapisan S_C tidak sama dengan panjang molekul penyusunnya. Sumbu panjang molekul S_C miring terhadap lapisan normal Z (gambar 2.10). Sejumlah eksperimen dengan sinar-X (Johnson & Porter, 1974) menunjukkan bahwa tebal lapisan smektik C adalah $d = L \cos \omega$, dimana L adalah panjang molekul, dan ω adalah sudut kemiringannya.



Gambar 2.10. Susunan molekul-molekul Smektik C. Sumbu molekul L membuat sudut ω terhadap normal.

3. Struktur S_C yang dilukiskan (1) dan (2) di atas diperoleh hanya bila molekul-molekulnya bersifat optik tidak aktif atau campuran rasemik.

Bila ditambahkan molekul-molekul yang optis aktif pada S_C , strukturnya akan terdistorsi. Sumbu molekul miring terhadap sumbu Z dan membentuk konfigurasi heliks (gambar 2.11).

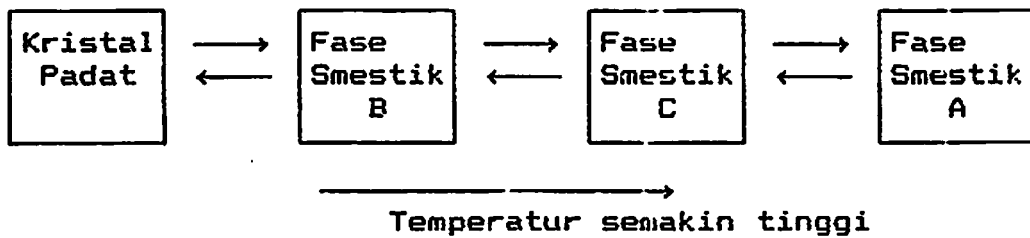


Gambar 2.11. Struktur molekul smektik C yang disebabkan oleh chiral

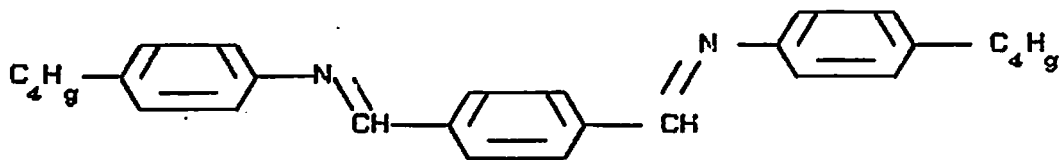
Smektik B (S_B)

Lapisan-lapisan molekul S_B berbeda dengan lapisan-lapisan molekul S_A dan S_C . Lapisan S_B memiliki periodisitas dan rigiditas padatan berdimensi dua, sehingga lapisan ini tidak sefleksibel lapisan S_A atau lapisan S_C , dan tidak mudah mengalami pelengkungan lapisan. Lapisan-lapisan S_B memiliki keteraturan kristal heksagonal (de Gennes & Sarma, 1972).

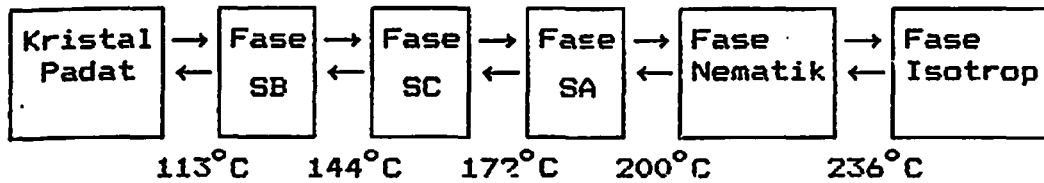
Struktur molekul S_B memiliki keteraturan lebih baik dari struktur molekul S_A dan S_C . Bila bahan dapat menunjukkan ketiga fase tersebut, urutan sesuai dengan penambahan temperatur selalu :



Contoh bahan yang dapat menunjukkan semua fase di atas adalah terephthal-bis (para-butylaniline) (TBBA), dengan rumus kimia,



Temperatur transisi bahan TBBA ini adalah (de Gennes, 1974).



Berdasarkan simetrinya, S_B dapat dikelompokkan menjadi dua : Smektik B_A dan Smektik B_C . Molekul-molekul dalam smektik B_A normal terhadap lapisan, sedangkan susunan molekul-molekul dalam smektik B_C membentuk sudut terhadap lapisan.

Smektik Lain

Telah disebutkan bahwa smektik dapat dikelompokkan menjadi subklas $S_A \dots S_K$. Alasan Sackman dan Demus (de Gennes, 1974 dan Chandraskhar, 1992) mengelompokkan smektik ini adalah berdasarkan pada sifat optik dan tidak adanya keidentikan secara sistematis.

Bila dua bahan X dan Y memiliki struktur sama dan identik dalam semua hal, maka X dan Y diklasifikasikan dalam kelompok yang sama. Bila tidak proporsi secara kontinu, tidak ada konklusi yang dapat diambil. Andai subkelompok bahan $Y_1, Y_2, \dots Y_p$, semua menunjukkan susunan S_B , semua saling ada keidentikan tetapi semuanya tidak ada yang identik dengan standar S_B , maka akan berkecenderungan untuk memberi label baru S_G .

Smektik D memiliki struktur kubik dengan 10^9 molekul per unit sel (Chandrasekhar, 1992). Smektik D timbul antara S_C dan S_A atau antara S_C dan fase isotropik.

Smektik E memiliki struktur lapisan yang derajat keteraturan molekulnya tinggi (Stephen & Straley, 1974). Struktur molekul S_E membentuk struktur orthorhombik.

Smektik F memiliki struktur C-centered monoclinic (sumbu kristal $a > b$). Molekulnya miring terhadap lapisan, seperti struktur molekul pada S_C .

Smektik G memiliki struktur kristal berdimensi tiga (three dimensional crystal), berbentuk C-centered monoclinic (sumbu kristal $a > b$).

Smektik H memiliki struktur kristal berdimensi tiga, yang berbentuk monoclinic (sumbu kristal $a > b$).

Smektik I memiliki struktur molekul berbentuk C-centered monoclinic (sumbu kristal $b > a$) pada lapisannya. Molekul-molekulnya miring terhadap lapisan, seperti pada struktur molekul S_F .

Smektik J memiliki struktur kristal berdimensi tiga, yang berbentuk C-centered monoclinic (sumbu kristal $b > a$).

Smektik K memiliki struktur kristal berdimensi tiga, yang berbentuk monoclinic (sumbu kristal $b > a$).

2.2. Parameter Keteraturan

Fase nematik mempunyai simetri lebih rendah (lower simetry) dari pada cairan isotrop. Secara kualitatif dikatakan bahwa fase nematik lebih teratur dari pada cairan isotrop. Secara kuantitatif hal ini dapat dinyatakan oleh parameter keteraturan, yaitu suatu parameter yang dapat melukiskan derajat keteraturan orientasi molekul dan keanisotropan bahan nematik.

Bila θ adalah sudut antara sumbu molekul dengan sumber simetri makroskopis nematik, maka parameter keteraturan dapat dinyatakan oleh

$$S = 1/2 (3 \cos^2 \theta - 1) \quad (2.3)$$

Untuk keteraturan yang sempurna, yaitu semua molekul paralel dengan sumbu makroskopis, $\cos^2 \theta = 1$ dan $S = 1$.

Untuk keadaan yang tidak teratur, yaitu susunan molekul-molekulnya acak, $\cos^2 \theta = 1/3$ dan $S = 0$. fase nematik dikarakterisasi oleh $0 < S < 1$, dan fase isotropik $S = 0$.

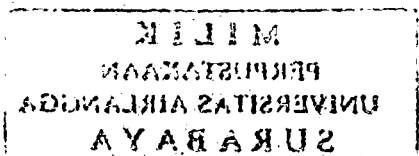
Pengukuran S untuk molekul kristal cair umumnya bernilai $0,4 - 0,7$ berhubungan dengan sudut orientasi RMS $39 - 27^\circ$ (Wissbrun, 1981).

Parameter keteraturan S dapat ditulis sebagai tensor derajat dua (Pershann, 1988):

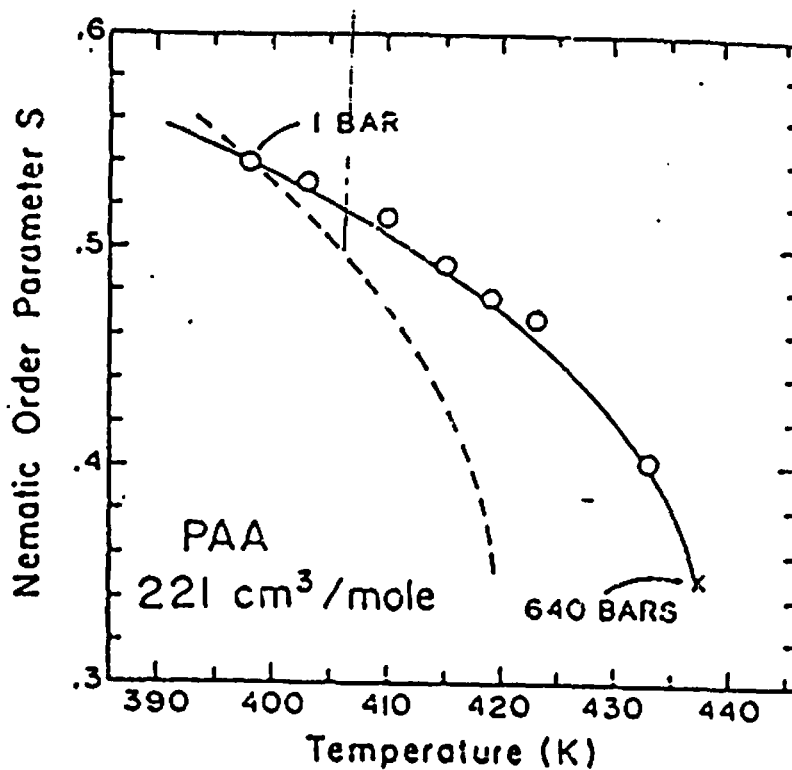
$$S_{ij} = \frac{1}{2} \langle 3 \cos \theta_i \cdot \cos \theta_j - \delta_{ij} \rangle \quad (2.4)$$

dengan $i, j = x, y, z$ yaitu koordinat kartesian molekul x, y, z , dengan arah \vec{n} ; $\langle \rangle$ adalah rata-rata dari semua molekul. Tensor ini simetris dan tracenya sama dengan nol.

[Faint, mostly illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]



Perubahan temperatur nematik akan mengubah susunan molekulnya. Semakin tinggi temperatur bahan, distribusi molekul penyusunnya semakin acak dan derajat keteraturannya semakin kecil (gambar 2.12)



Gambar 2.12 Parameter keteraturan nematik PAA versus temperatur (sumber : Stephen & Straley, 1974)

2.3. Kegunaan Kristal Cair

Secara optis, nematik dan smektik A bersifat uniaksial. Kolesterik, karena struktur periodiknya menimbulkan refleksi Bragg pada panjang gelombang optik. Nematik dan kolesterik merupakan bahan yang fleksibel dan sensitif terhadap gangguan eksternal yang lemah.

Senyawa nematik, sebagian besar turunan aromatik schiff base (Clark, Harrison & Raynes, 1980) banyak digunakan dalam teknologi display. Senyawa-senyawa tersebut biasanya dapat mengalami hamburan dinamik, yaitu hamburan yang disebabkan oleh ketidak stabilan elektro hidro dinamik.

Ada beberapa alasan mengapa nematik digunakan dalam sistem display. Energi konfigurasi kesetimbangannya kecil, sehingga tenaga yang diperlukan kecil, harganya murah, dan fleksibilitas design yang memungkinkan pembentukan dan penampilan menarik di pasaran. Misalnya untuk arloji, jam, kalkulator, meteran panel digital.

Pitch kolesterik bergantung pada temperatur dan warna bahan tersebut berubah tajam oleh perubahan kecil temperatur (tabel 2.1). Hal ini dapat dimanfaatkan dalam thermal mapping komponen elektronik, alat pengujian aerodinamika, penentuan lintasan sistem syaraf dan peredaran darah (Castellano, 1979), pendeteksi tumor payudara (de Gennes, 1974).

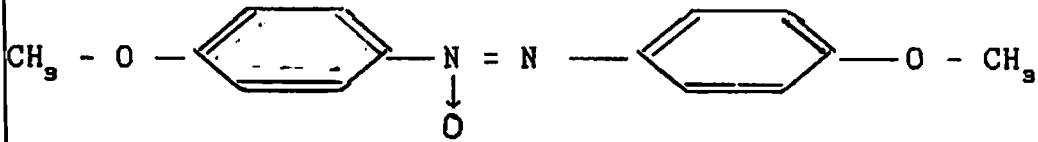
Dalam bidang bisnis, kolesterik dapat digunakan sebagai mainan anak-anak dan memberi etek dekoratif pada suatu permukaan. Dengan membuat pola warna-warni pada permukaan (tembus cahaya atau tak tembus cahaya), akan memberikan keindahan bahan tersebut. Misalnya pada logam, kain tenun, kulit, keramik, dan kertas.

Kenyataan di atas menyebabkan penggunaan nematik dan kolesterik berkembang pesat sejak tahun 1965. Sebaliknya, viskositas yang tinggi menyebabkan smektik kurang menarik dalam perindustrian. Namun demikian, smektik masih dapat digunakan dalam berbagai hal seperti : detergen dan membran biofisik (de Gennes, 1974). Smektik A sangat sensitif terhadap gangguan mekanik, suatu petunjuk penting untuk penggunaan lebih lanjut. Jadi kristal cair (khususnya KCT) merupakan bahan yang menarik dalam dua dekade terakhir dan yang akan datang.

2.4. Struktur Kimia Nematik

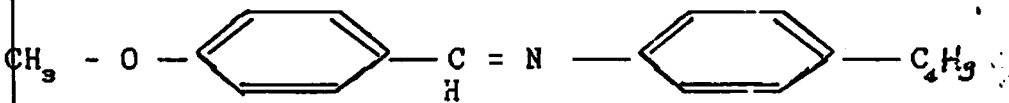
Nematik terdapat pada senyawa-senyawa organik dari berbagai senyawa kimia. Misalnya; senyawa asam, senyawa azo atau azoxy, (Stephen & Straley, 1974). Molekul-molekulnya dapat terulur dan memiliki senyawa siklis, yang dihubungkan oleh ikatan rangkap. Ikatan rangkap ini memberikan kekakuan molekul dan mencegah pelenturan sumbu.

Contoh senyawa yang membentuk nematik adalah paraazoxyanisole (PAA).

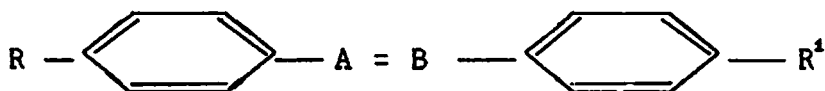


Molekul ini dapat dipandang sebagai batang kaku, dengan panjang $\sim 20 \text{ \AA}$ dan lebar $\sim 5 \text{ \AA}$ (de Gennes, 1974). Keadaan nematik terbentuk pada temperatur $116^\circ\text{C} - 135^\circ\text{C}$ tekanan atmosfer.

Contoh senyawa lain yang dapat membentuk nematik adalah N - (P - methoxy bentylidene) - P - butylaniline (MBBA).



Senyawa MBBA ini merupakan senyawa nematik pada temperatur $20^\circ\text{C} - 47^\circ\text{C}$ tekanan atmosfer. Secara umum senyawa-senyawa nematik terdiri atas senyawa siklis yang dihubungkan oleh ikatan rangkap dan memiliki pola yang hampir sama yaitu;



R dan R^1 merupakan senyawa kimia rantai pendek dan fleksibel. Ikatan A - B merupakan ikatan rangkap, berfungsi memberikan kekakuan molekul dan menjaga pelenturan sumbunya.

BAB III

RESPON CAIRAN POLIMER NEMATIK

Di Bab 2 telah diuraikan tentang sifat-sifat dan struktur nematik. Bahan ini banyak ditemukan dalam bahan organik, sehingga memiliki susunan molekul yang berbeda dengan cairan isotrop. Dalam rheologi bahan ini sering dinamakan fluida non - Newton, sedangkan cairan isotrop dinamakan fluida Newton. Pengkategorian ini lebih spesifik ditujukan pada perbedaan sifat viskositasnya.

Viskositas fluida Newton tidak bergantung laju geser dan berharga konstan. Berbeda dengan Newtonian, fluida non Newton memiliki viskositas yang bergantung pada laju geser. Berkaitan dengan hal ini terdapat istilah "Shear thinning" dan "Shear thickening" pada fluida non-Newton. Viskositas bersama dengan modulus ini selanjutnya dinamakan fungsi bahan, yang merupakan respon fluida bila dikenakan gaya eksternal.

Bab ini akan membahas aliran geser dan responnya. Dimulai dari deskripsi tentang aliran geser secara umum, kemudian khusus untuk aliran geser osilasi dan responnya

3.1. Aliran Geser.

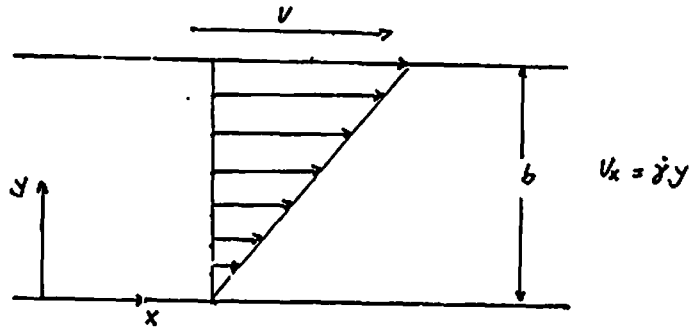
Terdapat dua macam aliran yang sering digunakan untuk mengkarakterisasi cairan polimer nematik yaitu; aliran geser sederhana dan aliran geser bebas .

A. Aliran Geser Sederhana (*Simple Shear Flow*).

Aliran geser sederhana dikarakterisasi oleh persamaan (Bird, et.al, 1987)

$$V_x = \dot{\gamma}_{yx} Y ; \quad V_y = 0 ; \quad V_z = 0 \quad (3-1)$$

dengan gradien kecepatan $\dot{\gamma}_{yx}$ merupakan fungsi waktu. Nilai absolut $\dot{\gamma}_{yx}$ dinamakan laju geser $\dot{\gamma}$. Untuk aliran geser tunak (*Steady shear flow*) laju geser tidak bergantung waktu. Aliran geser sederhana dapat diperoleh dengan menempatkan bahan pada dua plat sejajar (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Aliran geser sederhana dengan laju geser $\dot{\gamma} = V/b$

B. Aliran Geser Bebas (*Shearfree flow*)

Aliran geser bebas dikarakterisasi oleh persamaan (Bird, et.al, 1987)

$$\begin{aligned} V_x &= -\frac{1}{2} \dot{\epsilon} (1+b)x \\ V_y &= -\frac{1}{2} \dot{\epsilon} (1-b)y \\ V_z &= \dot{\epsilon} z \end{aligned} \quad (3-2)$$

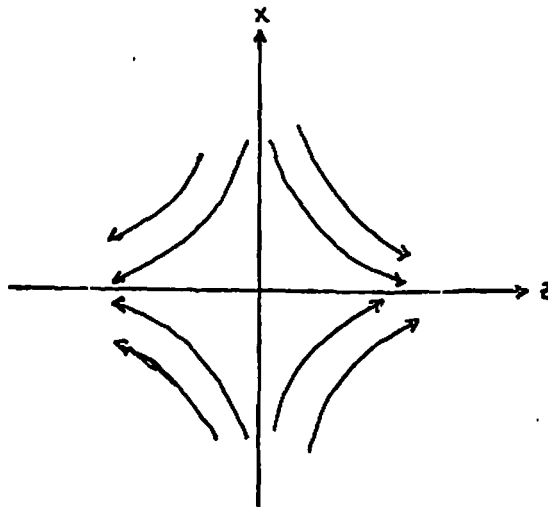
dengan $0 \leq b \leq 1$ dan $\dot{\epsilon}$ adalah laju elongasional (elongational rate) yang bergantung waktu. Untuk beberapa kasus, dengan memilih parameter b terdapat istilah;

Elongational flow ($b = 0, \dot{\epsilon} > 0$)

Biaxial stretching flow ($b = 0, \dot{\epsilon} < 0$)

Planar elongational flow ($b = 1$)

Aliran elongasional ($b = 0$) secara sederhana diilustrasikan oleh gambar 3.2.



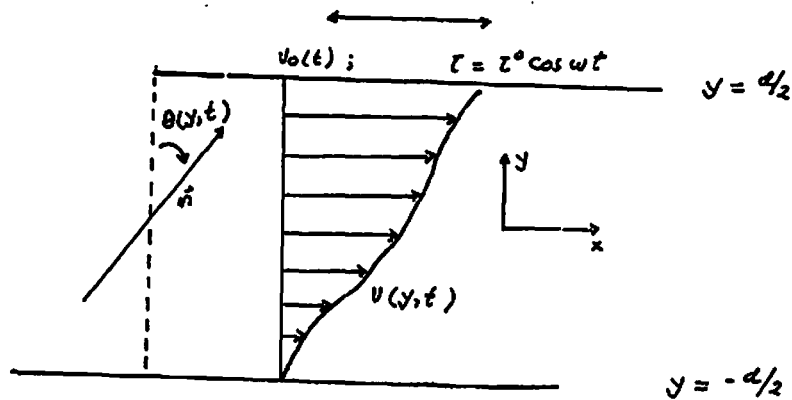
Gambar 3.2. Aliran elongasional tunak (Shearfree flow) dengan $b = 0$

3.2. Aliran Geser Osilasi.

3.2.1. Analisis Geometri

Geometri dari persoalan yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (gambar 3.3). Anggap aliran geser kristal cair nematik searah sumbu x , terletak antara dua plat sejajar yang dipisahkan jarak d dalam arah y .

Pelat bawah dijaga tetap, sedangkan pelat atas bergerak dengan kecepatan $V_0(t)$ disebabkan oleh tegangan geser $\tau(t) = \tau^0 \cos \omega t$. Arah nematik dianggap searah bidang geser dan dinyatakan oleh sudut $\theta(y,t)$ yang dibuat oleh arah nematik mula-mula dengan sumbu y yang tegak lurus dua bidang pelat. Dengan demikian $\theta = 0$ pada $y = \pm 1/2 d$ dan maksimum θ_m pada $y = 0$. Kecepatan fluida diberikan oleh $V(y,t)$ dan profile kecepatannya tidak linier (Bughard & Fuller, 1990). Hal ini disebabkan oleh kebergantungan viskositas sistem pada arah orientasi nematik.



Gambar 3.3. Geometri aliran geser osilasi.

3.2.2. Persamaan Aliran Nematik

Untuk pengembangan persamaan aliran dalam geometri 3.3. digunakan model Leslie dan Ericksen. Model ini untuk menentukan persamaan konstitutive yang menghubungkan antara tegangan dengan laju regangan lokal dan arah orientasi nematik (Leslie, 1979).

Dari geometri gambar 3.3, persamaan konstitutive kesetimbangan torsinya adalah (Bughardt & Fuller, 1990)

$$(\alpha_3 - \alpha_2) \frac{\delta\theta}{\delta t} = h(\theta) \frac{\delta^2\theta}{\delta y^2} + \frac{dh}{d\theta} \left[\frac{\delta\theta}{\delta y} \right]^2 + \left[\alpha_3 \sin^2\theta - \alpha_2 \cos^2\theta \right] \frac{\delta v}{\delta y} \quad (3-3)$$

dan,

$$h(\theta) = k_1 \sin^2\theta + k_2 \cos^2\theta \quad (3-4)$$

α_i adalah fenomenologi koefisien viskositas Leslie, dan K_1, K_2 secara berturut-turut adalah konstanta elastik distorsi splay dan bend. Untuk konstanta elastik twist (K_3) tidak muncul karena nematik dibatasi pada bidang yang tipis, sehingga distorsi memuntir dianggap tidak terjadi.

Suku terakhir yang mengandung $\frac{\delta v}{\delta y}$ menyatakan torsi hidrodinamik. Untuk $\alpha_3 < 0$, torsi hidrodinamik diabaikan (Leslie, 1979), karena tidak ada distorsi arah sehingga tidak ada efek elastik.

Untuk menentukan profile arah orientasi digunakan persamaan kesetimbangan momentum linier dan kesetimbangan torsi terhadap arah serta persamaan konstitutive yang menghubungkan antara tegangan dan gradien kecepatan lokal.

Dengan asumsi aliran geser rektilinear dengan gradien hanya dalam arah Y dan mengabaikan semula unsur inersia, kesetimbangan momentum linier menghasilkan tegangan geser yang uniform sepanjang fluida dan sama dengan tegangan yang bekerja pada pelat atas $\tau(t)$.

Persamaan konstitutive kinematika tersebut adalah
IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA
 (Bughardt & Fuller, 1990).

$$\tau = g(\theta) \frac{\delta V}{\delta y} + (\alpha_2 \cos^2 \theta - \alpha_3 \sin^2 \theta) \frac{\delta \theta}{\delta t} \quad (3-5)$$

dimana fungsi viskos $g(\theta)$ diberikan oleh ,

$$g(\theta) = \alpha_1 \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \eta_1 - (\alpha_2 + \alpha_3) \sin^2 \theta \quad (3-6)$$

dan η_1 adalah viskositas Miesowicz $\eta_1 = (-\alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5)/2$.

Analisis penelitian ini dibatasi pada profil arah yang mengalami distorsi kecil. Dengan menganggap $\theta \ll 1$, diperoleh pendekatan $g(\theta) \approx \eta_1$, $h(\theta) \approx k_3$. Dengan demikian persamaan (3-3) dan (3-5) secara berturut-turut menjadi

$$(\alpha_3 - \alpha_2) \frac{\delta \theta}{\delta t} = K_3 \frac{\delta^2 \theta}{\delta y^2} - \alpha_2 \frac{\delta V}{\delta y} \quad (3-7)$$

$$\tau = \eta_1 \frac{\delta V}{\delta y} + \alpha_2 \frac{\delta \theta}{\delta t} \quad (3-8)$$

Substitusi persamaan (3-8) dalam bentuk $\frac{\delta V}{\delta y}$ ke persamaan (3-7) diperoleh :

$$[\mu_2 + \mu_1 - \mu_1^2] \frac{\delta \theta}{\delta t} = \frac{\delta^2 \theta}{\delta y^2} + \mu_1 E \cos \omega t \quad (3-9)$$

dengan:

$$\mu_1 = \frac{\alpha^2}{\eta_1} \quad (3-9a)$$

$$\mu_2 = \frac{\alpha_3}{\eta_1} \quad (3-9b)$$

$$W = \omega \left[\frac{\eta_1 d^2}{K_3} \right] \quad (3-9c)$$

$$E = \frac{\tau^o}{K_3/d^2} \quad (3-9d)$$

$$Y = \frac{Y}{d} \quad (3-9e)$$

$$T = \frac{t}{\eta_1 d^2 / K_3} \quad (3-9f)$$

Waktu (T) dan frekuensi (W), keduanya dibentuk dari karakteristik viskositas (η), konstanta elastik (K_3) dan panjang (d). Besaran E merupakan besaran tanpa dimensi dari tegangan geser osilasi.

Kecepatan pelat atas, ditentukan dengan mengintegrasikan persamaan (3-8),

$$V_o(T) = \frac{V_o}{K_3/(\eta_1 d)} = \int_{-1/2}^{1/2} \left[E \cos WT + \mu_1 \cdot \frac{\delta\theta}{\delta t} \right] dY \quad (3-10)$$

V_o adalah "laju geser" makroskopik.

Persamaan (3-9) harus memenuhi syarat batas sedemikian hingga $\theta = 0$ untuk $Y = \pm \frac{1}{2}$. Dengan asumsi $|\theta| \ll 1$, maka persamaan yang akan diturunkan bersifat linier. Bila diberikan gaya yang periodik maka respon bahan akan bersifat periodik pula.

Solusi persamaan (3-9), menyatakan kebergantungan profil arah terhadap waktu, adalah:

$$\theta(Y, T) = \theta_1(Y) \cos WT + \theta_2(Y) \sin WT \quad (3-11)$$

dimana:

$$\theta_1(Y) = \frac{\mu_1 E}{WP} \left[\frac{f_1 f_4 - f_3 f_2}{f_2^2 + f_4^2} \right] \quad (3-12)$$

$$\theta_2(Y) = \frac{\mu_1 E}{WP} \left[1 - \frac{f_1 f_2 + f_3 f_4}{f_2^2 + f_4^2} \right] \quad (3-13)$$

dan dengan;

$$f_1 = \cosh \left[\left(\frac{W\rho}{2} \right)^{1/2} Y \right] \cos \left[\left(\frac{W\rho}{2} \right)^{1/2} Y \right] \quad (3-13a)$$

$$f_2 = \cosh \left[\left(\frac{W\rho}{8} \right)^{1/2} Y \right] \cos \left[\left(\frac{W\rho}{8} \right)^{1/2} Y \right] \quad (3-13b)$$

$$f_3 = \sinh \left[\left(\frac{W\rho}{2} \right)^{1/2} Y \right] \sin \left[\left(\frac{W\rho}{2} \right)^{1/2} Y \right] \quad (3-13c)$$

$$f_4 = \sinh \left[\left(\frac{W\rho}{8} \right)^{1/2} Y \right] \sin \left[\left(\frac{W\rho}{8} \right)^{1/2} Y \right] \quad (3-13d)$$

dan $\rho = \mu_2 + \mu_1 - \mu_1^2$.

Bila persamaan (3-10) di integrasikan, dan dengan memperhatikan persamaan (3-11) dan (3-12 dan (3-13) maka diperoleh laju geser efektif.

$$V_{o,1} = E \left[1 + \frac{\mu_1^2}{\rho} - \frac{\mu^2}{\rho(2W\rho)^{1/2}} \left[\frac{\sin(\frac{W\rho}{2}) + \sinh(\frac{W\rho}{2})}{\cosh^2(\frac{W\rho}{8})^{1/2} - \sin^2(\frac{W\rho}{8})^{1/2}} \right] \right] \quad \dots(3-15)$$

$$V_{o,2} = \frac{E \mu_1^2}{\rho(2W\rho)} \left[\frac{\sin(\frac{W\rho}{2}) + \sinh(\frac{W\rho}{2})}{\cosh^2(\frac{W\rho}{8})^{1/2} - \sin^2(\frac{W\rho}{8})^{1/2}} \right] \quad (3-16)$$

Tampak bahwa tegangan dan laju geser efektif keduanya menunjukkan respon sinusoidal, tetapi berbeda fase. Dengan demikian respon makroskopik menunjukkan karakter viskoelastik. Fungsi viskoelastik (Bird, et.al, 1987) dalam hal ini adalah viskositas kompleks efektif.

$$\tilde{\eta}' = \frac{E V_{o,1}}{V_{o,1}^2 + V_{o,2}^2} \quad (3-17)$$

$$\tilde{\eta}'' = - \frac{E V_{o,2}}{V_{o,1}^2 + V_{o,2}^2} \quad (3-18)$$

dan modulus kompleks efektif;

$$\begin{aligned}\tilde{G}' &= \tilde{\eta}'' W \\ &= - \frac{WE V_{0,1}}{V_{0,1}^2 + V_{0,2}^2}\end{aligned}\quad (3-19)$$

$$\begin{aligned}\tilde{G}'' &= \tilde{\eta}' W \\ &= \frac{WE V_{0,1}}{V_{0,1}^2 + V_{0,2}^2}\end{aligned}\quad (3-20)$$

BAB IV

HASIL DAN DISKUSI

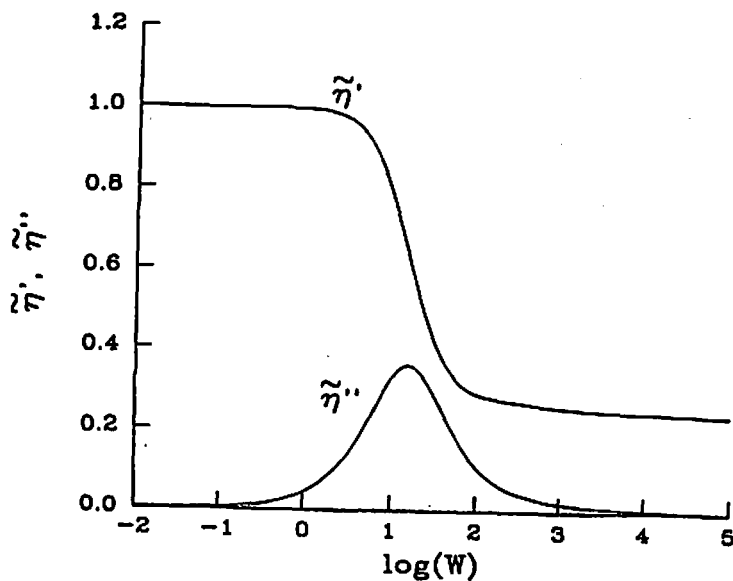
Sifat dan karakteristik respon nematik yang mengalami osilasi geser telah diformulasikan di bab 3. Respon nematik sebagai cairan fluida yang dimaksud adalah fungsi viskoelastik efektif; viskositas kompleks (viskositas real $\bar{\eta}'$ dan viskositas imajiner $\bar{\eta}''$) dan modulus kompleks (modulus real \bar{G}' dan modulus imajiner \bar{G}'') yang telah didefinisikan oleh persamaan (3-15) - Pers. (3-20). Besaran-besaran efektif ini merupakan tanggapan makroskopik kristal cair nematik sebagai fluida. Pada frekuensi rendah, $V_{o,2} = O(\omega)$, sedangkan pada frekuensi tinggi $V_{o,2} = O(\omega^{-1/2})$. Dengan demikian kelakuan kedua limit ini menampakkan cairan Newton (Newtonian), dengan tanggapan dan laju geser efektif sefase. Dengan mengambil limit persamaan (3-15) dan persamaan (3-16) memberikan;

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \bar{\eta}' = 1 \quad \text{dan} \quad \lim_{\omega \rightarrow \beta} \bar{\eta}' = \frac{P}{P + \mu_1^2}$$

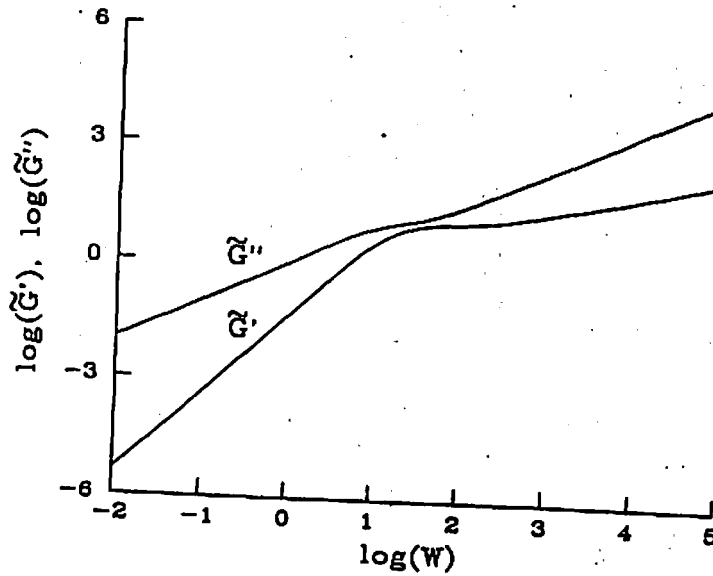
Pada frekuensi menengah, laju geser efektif dan tanggapan geser tidak sefase, sehingga $\bar{\eta}'$ menjadi signifikan.

Kelakuan komponen-komponen viskositas kompleks efektif nematik MBBA terhadap frekuensi dilukiskan seperti gambar 4.1.. Pada frekuensi rendah, $\bar{\eta}'$ berkelakuan tunak sementara (quasi-steady), viskositasnya tidak bergantung pada laju geser.

Di daerah ini, nematik merupakan fluida newton, kondisi awal (boundary Condition) berpengaruh terhadap respon makroskopiknya. Tunak sementara juga terjadi pada frekuensi tinggi, sehingga di daerah ini nematik berkelakuan sebagai fluida newtonian. Berbeda dengan frekuensi rendah, pada frekuensi tinggi kristal cair polimer nematik mengalami deformasi sehingga rantai-rantai polimernya putus. Akibatnya struktur nematik mengalami transisi menjadi cairan isotrop.



Gambar 4.1. Kelakuan komponen-komponen viskositas kompleks efektif $\tilde{\eta}'$ dan $\tilde{\eta}''$ terhadap frekuensi



Gambar 4.2. Kelakuan modulus kompleks efektif \bar{G}' dan \bar{G}'' terhadap frekuensi.

Dengan demikian responnya menampakkan sebagai fluida newton, dimana efek viskos lebih berperan dari pada efek elastik. Pada frekuensi tinggi $\bar{\eta}'' \rightarrow \sim$, energi bebas elastik distorsi masih tersimpan di lapisan-lapisan nematik dengan batas, sehingga modulus storage efektif terus bertambah seiring tingginya frekuensi (lihat gambar 4.2.).

Karena disipasi viskos dalam bahan bertambah linear terhadap frekuensi, efek elastik ini menjadi kecil pada frekuensi tinggi. Dari gambar (4.1) dan gambar (4.2), tampak bahwa hanya pada interval frekuensi menengah, elastisitas distorsi menimbulkan karakter elastik yang disignifikan dalam respon makroskopik osilasi.

Pengabaian inersia fluida dalam analisis dapat dijelaskan dengan membandingkan karakteristik waktu oleh efek inersial dan relaksasi director dalam kristal cair sebagai berikut. Karakteristik waktu untuk efek inersial adalah $t_{\text{inersia}} \approx \rho d^2/\eta$, sedangkan karakteristik waktu relaksasi kristal cair adalah $t_{\text{lc}} \approx \eta d^2/k$. Karena kedua karakter waktu tersebut sama-sama bergantung pada jarak pelat d , maka inersia fluida dalam analisis ini hanya bergantung pada konstanta bahan. Untuk kristal cair bobot molekuler rendah [de Gennes, 1974]., diperoleh $\eta = 1 \rho$, $K = 10^6$ dyne dan $\rho = 1\text{g/cc}$, sehingga nisbah $t_{\text{lc}}/t_{\text{inersia}} \approx 10^6$. Dari perbandingan ini tampak bahwa $t_{\text{lc}} \gg t_{\text{inersia}}$, sehingga pengabaian inersia fluida dalam analisis ini dapat ditoleransi.

BAB V
IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA
KESIMPULAN

Respon kristal cair nematik oleh adanya aliran geser osilasi adalah sebagai berikut. Dalam frekuensi rendah dan tinggi, respon makroskopik didominasi oleh efek viskos yang secara berturut-turut disebabkan oleh adanya syarat batas awal dan torsi hidrodinamik. Pada frekuensi menengah, efek elastisitas distorsi (Frank) menimbulkan gejala viskoelastik dalam respon makroskopiknya, yang ditandai oleh nilai signifikan koefisien viskositas imajiner efektif $\bar{\eta}$ atau modulus storage efektif.

DAFTAR PUSTAKA

IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

- 1, R.B., et.al.,; *Dynamics of Polymeric Liquids*, Volume 1 John Wiley & Sons, New York, 1987.
- ghardt, W.R and G.G. Fuller,; *Transient Shear Flow of Nematic Liquid Crystals; Manifestations of Directos Tumbling*, Journal of Rheology. 34, 959 (1990).
- tellano, *Aplication of Liquid Crystals*, Clarendon, 1979.
- Gennes, P.G., *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford University Press, London, 1974.
- , M., *Molecular Dynamics and Rodlike Polymers in Isotropic and Liqquids Crytalline Phases*, J. Polym. Sci. Polym. Phys. ed. 19, 229-243 (1981).
- nk, F., *Liquid Crystals in Liquid Crytals*, Journal of Non Newtonian, 1983.
- son, R.G and D.W. Mead, *Linear Viscoelasticity of Nematic Liquid Crystalline Polymers*, Journal of Rheology 33, 153-161 (1989).
- sbrun, K.F., *Rheology of Rod-like Polymers in the Liquid Crytalline stake*, Journal of Rheology 25, 619-662 (1981).

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA