K2 14-10-94

POLARISASI

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
DITERIMA TGL 19-12-94
SUMBER/HARGA hd
KOLEKSI KKI
NO. INVENTARIS 1912/hd/94-P(2)
KLASIFIKASI 530.124 Dar P(1)

OLEH :

YENNI DARVINA
MASRIL

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN
ILMU PENGETAHUAN ALAM
IKIP PADANG

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah Nya lah penyusunan buku yang berjudul POLARISASI ini dapat dirampungkan.

Adapun tujuan penyusunan buku ini adalah untuk menambah bahan bacaan yang berkenaan dengan Gelombang dan Optik khususnya Polarisasi. Penulis merasa perlu menyusun buku tentang Polarisasi dikarenakan buku-buku berbahasa Indonesia untuk bidang ini masih dirasa kurang, sementara buku-buku yang berbahasa Inggris cukup sulit untuk dipahami.

Isi dari buku ini secara ringkas dapat dikemukakan yaitu berupa pembahasan polarisasi baik dari segi arti fisis maupun deskripsi matematisnya. Persamaan gelombang yang digunakan adalah bersamaan biasa secara vektor dan persamaan kompleks. Isi dari setiap bab adalah: BAB I merupakan pendahuluan berisikan sifat umum gelombang, pengertian polarisasi dan fenomena polarisasi; BAB II menjelaskan gelombang terpolarisasi dan tidak terpolarisasi; BAB III menguraikan bentuk-bentuk polarisasi; BAB IV menjelaskan cara memperoleh gelombang terpolarisasi, dan BAB V merupakan deskripsi matematika dari polarisasi Pembahasan dalam buku ini ditekankan pada polarisasi gelombang elektro magnetik, khususnya cahaya. Dasar dari penekanan ini adalah untuk memahami pengertian polarisasi akan lebih mudah pada gelombang transversal tiga dimensi.

Tak ada gading yang tak retak, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kesempurnaan buku

ini. Akhir kata, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya pada semua pihak yang telah ikut membantu kelancaran penyusunan buku ini.

Padang, Agustus 1994

Penulis

PT PERPUSTAKAAN
PADANG

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL viii

BAB I. PENDAHULUAN 1

BAB II. GELOMBANG TERPOLARISASI DAN TIDAK TERPOLARISASI 9

A. Gelombang Terpolarisasi 9

1. Gelombang mekanik transversal yang terpolarisasi 9

2. Gelombang elektro magnetik yang terpolarisasi 12

B. Gelombang Yang Tidak Terpolarisasi 15

1. Gelombang mekanik transversal yang tidak terpolarisasi 15

2. Gelombang elektro magnetik yang tidak terpolarisasi 16

BAB III. BENTUK-BENTUK POLARISASI 18

A. Polarisasi Linier 19

1. Gelombang berjalan terpolarisasi linier 19

2. Gelombang berdiri terpolarisasi linier 23

B. Polarisasi Lingkaran 23

1. Polarisasi lingkaran untuk gelombang berjalan 23

2. Polarisasi lingkaran untuk gelombang berdiri 26

C. Polarisasi Eliptik 27

D. Cahaya Terpolarisasi Eliptik Dengan Notasi Kompleks 32

1. Dasar polarisasi linier dengan notasi kompleks 32

2. Dasar polarisasi lingkaran dengan notasi kompleks 34

3. Interpretasi terhadap polarisasi eliptik 37

BAB IV CARA MEMPEROLEH GELOMBANG TERPOLARISASI 41

A. Polarisasi Dengan Pancaran Pilih 41

B. Polarisasi Oleh Serapan Pilih 42

1. Kissi 43

2. Kristal 44

3. Polaroid 47

C. Polarisasi Oleh Bias Kembar 49

1. Kristal bias kembar 49

2. Polarizer bias kembar 57

3. Perubahan fase 60

D. Polarisasi Oleh Plat Retardasi 61

1. Sumbu lambat dan sumbu cepat 62

2. Fase relatif dari plat retardasi 63

3. Beberapa jenis plat retardasi 64

4. Compensator Babinet 68

E. Polarisasi Oleh Pantulan 70

1. Sudut Brewster 70

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

2. Fase relatif pada cahaya terpantul 72

F. Polarisasi Oleh Hamburan 73

G. Aktivitas Optik 75

BAB V DESKRIPSI MATAMATIKA DARI POLARISASI 82

A. Parameter Stokes 82

B. Vektor Jones 87

C. Matriks Jones dan Mueller 93

DAFTAR KEPUSTAKAAN 97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Analisa tegangan secara fotoelastik	7
Gambar 2.1	Gelombang tali terpolarisasi oleh celah	10
Gambar 2.2	Gelombang elktro magnetik	12
Gambar 3.1	Polarisasi linier	20
Gambar 3.2	Cahaya terpolarisasi linier	21
Gambar 3.3	Cahaya terpolarisasi linier yang diputar 90°	22
Gambar 3.4	Polarisasi melingkar putar kanan	24
Gambar 3.5	Polarisasi melingkar	25
Gambar 3.6	Polarisasi eliptik	29
Gambar 3.7	Pengaruh sudut fase relatif terhadap elips	31
Gambar 3.8	Polarisasi melingkar putar kiri	35
Gambar 3.9	Polarisasi melingkar putar kanan	36
Gambar 3.10	Dasar dari polarisasi eliptik	37
Gambar 3.11	Polarisasi eliptik berdasarkan gambar 10	38
Gambar 3.12	Polarisasi eliptik putar kanan	40
Gambar 4.1	Polarisasi oleh kissi	44
Gambar 4.2	Polarisasi oleh kristal	45
Gambar 4.3	Analisa polarisasi	46
Gambar 4.4	Polarisasi oleh polaroid	48
Gambar 4.5	Polaroid	49
Gambar 4.6	Kristal bias kembar dan bias tunggal	50
Gambar 4.7	Sinar ordiner dan ekstra ordiner pada calcit	51
Gambar 4.8	Pemisahan sinar ordiner dan ekstra ordiner yang sempit oleh kristal	52
Gambar 4.9	Kristal bias kembar positif dan negatif	53

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Gambar 4.10 Kecepatan permukaan Fresnel pada kristal uniaxial 55

Gambar 4.11 Sumbu optik kristal calcit 58

Gambar 4.12 Prisma Nicol 58

Gambar 4.13 Prisma Glan-Thompson 59

Gambar 4.14 Compensator 60

Gambar 4.15 Plat setengah gelombang 65

Gambar 4.16 Plat seperempat gelombang 67

Gambar 4.17 Circular polarizer 68

Gambar 4.18 Compensator Babinet 69

Gambar 4.19 Sinar bias untuk $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$ 71

Gambar 4.20 Hamburan cahaya tidak terpolarisasi oleh molekul 74

Gambar 4.21 Aktivitas optik oleh quartz 75

Gambar 4.22 Superposisi dari keadaan R dan L untuk $z = 0$ 77

Gambar 4.23 Superposisi dari keadaan R dan L untuk $z = d$ 78

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Indeks bias ordiner dan ekstra ordiner 56

Tabel 5.1 Perbandingan vektor Jones dan Stokes 92

Tabel 5.2 Perbandingan matriks Jones dan Mueller 96

BAB I

PENDAHULUAN

Gelombang merupakan gangguan lokal yang merambat. Persamaannya adalah fungsi kedudukan (spatial) dan waktu (temporal). Kedua komponen spatial dan temporal ini tidak dapat dipisahkan, dengan kata lain persamaan gelombang selalu mengandung variabel spatial (kedudukan) dan temporal (waktu). Dalam matematika fungsi gelombang tersebut dapat ditulis sebagai $y\ (x,t) = f\ (x \pm vt)$ yang artinya x adalah kedudukan (spatial) dan t adalah waktu (temporal).

Bila ditinjau dari segi gangguan yang merambat, maka gelombang dapat dibagi atas dua macam yaitu gelombang mekanik dan gelombang medan. Gangguan dari gelombang mekanik membutuhkan medium untuk merambat, sedangkan pada gelombang medan dapat merambat pada medium atau tanpa medium. Medium yang dilewatinya tersebut dapat berujud padat, cair dan gas (cair dan gas disebut fluida). Salah satu contoh dari gelombang mekanik adalah gelombang bunyi. Gangguan yang merambat pada gelombang bunyi adalah berupa gelombang tekanan. Sedangkan contoh dari gelombang medan adalah gelombang elektromagnetik. Gangguan yang merambat pada gelombang elektromagnetik ini adalah perubahan medan listrik dan medan magnet. Jadi dapat dikatakan bahwa untuk jenis gelombang yang berbeda, besaran fisis yang terganggu juga berbeda.

Bila dilihat arah getar dan arah rambat gelombang

maka ada gelombang yang bergetar tegak lurus pada arah rambatnya yang disebut dengan gelombang tranversal, dan ada pula yang bergetar searah dengan arah rambatnya, disebut dengan gelombang longitudinal. Gelombang tranversal terbagi atas dua macam pula yaitu gelombang mekanik transversal dan gelombang medan yang juga tranversal (gelombang elektro magnetik). Gelombang mekanik transversal hanya dapat merambat dalam medium padat saja, sedangkan gelombang medan transversal dapat merambat pada dan tanpa medium. Gelombang mekanik longitudinal dapat merambat pada medium baik padat, cair atau gas. Bila ditinjau sifat umum dari pada gelombang, maka ada beberapa sifat yang dimilikinya yaitu superposisi, interferensi, difraksi dan polarisasi.

Superposisi artinya adalah penjumlahan, jadi di sini berarti beberapa gelombang dapat dijumlahkan menjadi satu gelombang baru yang berbeda dengan gelombang pembentuknya. Bila yang disuperposisikan itu adalah gelombang yang memiliki beda fase yang tetap dan frekuensinya sama (koheren) maka disebut gelombang itu berinterferensi.

Seterusnya bila suatu gelombang melewati suatu penghalang baik berupa celah sempit atau pinggir yang tajam maka gelombang tadi akan terhambur atau terdifraksi. Gelombang yang terdifraksi ini nantinya juga akan berinterferensi, namun berkas yang diamati memiliki pola tertentu yang disebut dengan pola difraksi. Jadi bila kita ingin melihat pola difraksi ataupun interferensi maka kita tidak akan lepas dari peristiwa superposisi. Sifat gelombang yang lain

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

adalah polarisasi yang artinya adalah pengutuban arah getar gelombang pada arah tertentu, atau dengan kata lain polarisasi gelombang adalah mengungkapkan pola perubahan gangguan atau osilasi lokal yang bersangkutan terhadap waktu (t), pada kedudukan tertentu. Dengan melihat pengertian polarisasi ini maka gelombang yang dapat terpolarisasi adalah gelombang transversal baik gelombang mekanik maupun gelombang medan, sebab gelombang inilah yang memiliki arah getar yang berfariasi, namun perlu diingat kemanapun arah getar gelombangnya selalu tegak lurus pada arah rambatnya. Bila suatu gelombang transversal memiliki arah getar yang bervariasi dikatakan gelombang tersebut tidak terpolarisasi. Tapi bila arah getarnya tertentu arahnya, maka dikatakan gelombang tersebut terpolarisasi. Dari beberapa sifat yang dimiliki oleh gelombang ini (superposisi, interferensi, difraksi dan polarisasi) maka yang akan dibahas dalam tulisan ini hanyalah mengenai polarisasi saja. Gelombang yang dapat terpolarisasi adalah gelombang transversal baik mekanik maupun gelombang medan, maka pada bab berikut akan dibahas keduanya. Namun pada buku ini pembahasan akan lebih banyak diarahkan pada gelombang medan yaitu mengenai gelombang elektro magnetik khususnya cahaya sebab pengertian polarisasi lebih mudah difahami pada gelombang dua dan tiga dimensi (gelombang elektro magnetik adalah tiga dimensi).

Sebelum dibahas tentang polarisasi gelombang baik pada gelombang mekanik maupun gelombang medan, terlebih dahulu

akan dijelaskan sedikit tentang fenomena polarisasi, baik yang bersifat alamiah maupun terapan.

Fenomena polarisasi sangat banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, baik yang berupa kejadian alam maupun disengaja menggunakannya dalam keperluan tertentu. Sebagai contoh yang berupa kejadian alamiah adalah langit kelihatan berwarna biru, gunung dan laut berwarna biru atau biru kehijauan dan terjadinya pelangi. Polarisasi buatan atau terapan antara lain adalah polarisasi cahaya oleh polaroid yang sering digunakan pada fotografi, kaca mata pelindung dan kaca mobil.

Warna biru pada langit sesungguhnya merupakan akibat dari cahaya matahari yang terpolarisasi oleh molekul-molekul udara. Prosesnya adalah cahaya yang datang mengenai molekul udara itu dihamburkan, dan cahaya yang dihamburkan ini terpolarisasi. Warna yang paling banyak dihamburkan dan sampai ke mata adalah warna biru.

Sama dengan yang terjadi pada langit, gunungpun kelihatan biru atau biru kehijauan. Hal ini disebabkan karena cahaya yang sampai di gunung tersebut dihamburkan oleh molekul-molekul udara dan partikel-partikel lain yang ada di gunung. Karena yang lebih banyak dihamburkan warna biru dan hijau maka kesan yang sampai ke mata adalah warna biru kehijauan.

Peristiwa terjadinya warna biru pada laut juga tidak terlepas dari polarisasi cahaya. Di sini cahaya yang datang pada permukaan laut akan dipantulkan. Cahaya yang terpantul

ini akan terpolarisasi apabila sudut datangnya memenuhi harga tertentu yang dikenal dengan sudut Brewster.

Paristiwa polarisasi juga terjadi disaat cahaya mengenai molekul-molekul air yang ada di udara, sehingga pada langit akan terlihat beraneka warna yang tersusun sesuai dengan urutan panjang gelombangnya dan urutan warna ini lebih dikenal dengan pelangi.

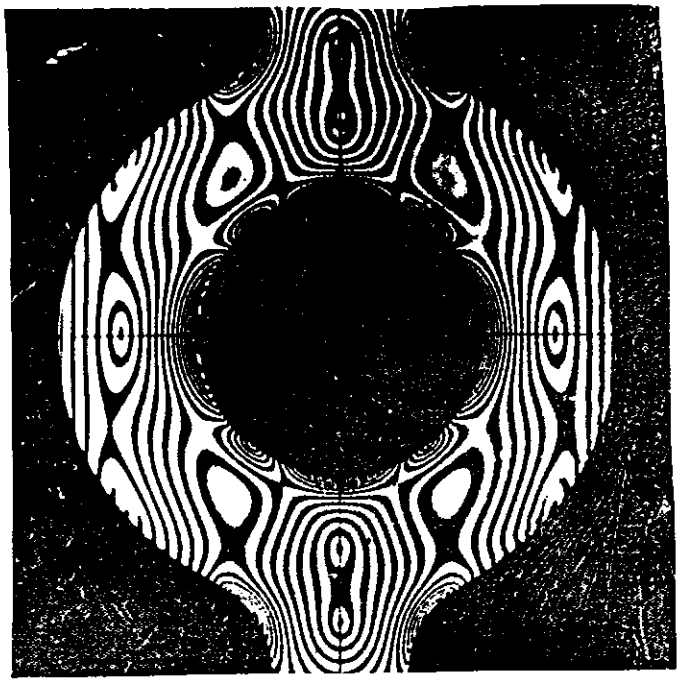
Adapun peristiwa polarisasi yang lain yang sengaja dimanfaatkan dalam keperluan tertentu ada beberapa macam seperti pada fotografi, kaca mobil dan fotoelastik. Pada bagian ini ada yang berupa pemanfaattan cahaya terpolarisasi dan ada juga menggunakan alat agar dihasilkan cahaya terpolarisasi.

Dalam fotografi, sering dijumpai hasil pemotretan yang diperoleh tidak menggambarkan keindahan sesuai dengan objek yang dipotret. Sebagai contoh pemotretan keindahan laut dengan objek berupa karang-karang dan ikan-ikan yang berwarna warni. Dari hasil yang diperoleh ternyata ikut terekam bayangan awan yang mengurangi keindahan tersebut. Berarti di sini ada dua macam cahaya yang masuk ke kamera yaitu cahaya dari karang didasar laut dan cahaya dari awan yang dipantulkan oleh permukaan air. Untuk mengatasi agar yang terekam hanya cahaya yang dari karang-karang saja maka digunakan lensa penolong yang menggunakan polaroid. Dalam fotografi disebut dengan "filter PL" (R. Soegeng, 1990,hal 2). Filter ini dipasang pada kamera dengan arah sumbu transmisi filter diusahakan sejajar dengan bidang pantul,

sehingga cahaya dari pemandangan dasar laut saja yang masuk ke kamera. Polaroid yang digunakan sebagai filter ini berfungsi mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke kamera dengan jalan mempolarisasikan sebagian cahaya yang tidak dibutuhkan. Jenis polaroid yang digunakan ada yang disebut HN-50 yang mentransmisikan 50% dari cahaya datang. Ada jenis lain yaitu HN-46, HN-38, HN-32 dan HN-22. Biasanya penggunaan polaroid ini terdiri dari 2 polarizer yang bersilang, sehingga bila salah satu polarizernya diputar akan dihasilkan efek yang lain pada gambar yang dihasilkan.

Polaroid juga digunakan pada kacamata pelindung agar penglihatan akan lebih nyaman. Penggunaannya seperti pada kacamata BL, kacamata las, dan kacamata penerbang. Selain untuk kacamata, polaroid digunakan orang pada kaca mobil. Polaroid disini berfungsi mengurangi intensitas cahaya yang masuk dengan jalan mempolarisasikan sebagian cahaya yang datang.

Bentuk lain dari pemanfaatan cahaya terpolarisasi adalah fotoelastik. Fotoelastik ini dapat digunakan untuk melihat efek tekanan pada suatu alat dengan bentuk tertentu. Penggunaannya lebih banyak dibidang mekanik seperti model yang berbentuk kunci pas, segitiga dan lain-lain. Cara melihat pengaruh tekanan tersebut pada model yang diuji adalah dengan membuat model dari bahan transparan seperti plastik yang diapit dengan dua polaroid, seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 1.1
Analisa tegangan secara fotoelastik
(Sutrisno, 1984, hal 125)

Mula-mula model ini bersifat isotropik, setelah diberi tekanan maka model tersebut akan dipengaruhi oleh tekanan atau tegangan yang diberikan . Porsi tekanan yang diterima setiap bagian model adalah tidak sama. Akibatnya plastik tadi akan berobah menjadi anisotropik dengan uniaxial positif atau negatif. Apabila model ini disinari, (modelnya sudah anisotropik), maka cahaya yang diterimanya akan diteruskan searah dengan sumbu optik yang terjadi. Setelah cahaya tersebut melewati polaroid, maka terlihat

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

intensitas yang berbeda-beda seperti pada gambar 1.1.Perbedaan intensitas ini memberikan deskripsi pada ahli mekanik untuk melihat pengaruh tekanan pada model tersebut. Dengan demikian dapat diperkirakan jenis, ketebalan serta kekuatan dari bahan yang harus digunakan untuk membuat alat yang sebenarnya sesuai dengan model yang diuji.

Karena begitu banyaknya penomena polarisasi dalam kehidupan, maka dirasa perlu adanya bacaan yang membahas masalah ini secara khusus. Oleh sebab itu pada bagian berikut akan dibahas tentang polarisasi tersebut pada gelombang mekanik dan elektromagnetik. Namun pembahasan disini lebih banyak ditujukan pada gelombang elektro magnetik khususnya cahaya (cahaya adalah gelombang elektro magnetik). Untuk lebih jelasnya pada bab-bab selanjutnya akan dibahas tentang gelombang terpolarisasi dan tidak terpolarisasi, bentuk-bentuk polarisasi, cara terjadinya gelombang terpolarisasi, dan deskripsi matematika dari polarisasi.

BAB II
GELOMBANG TERPOLARISASI
DAN TIDAK TERPOLARISASI

A. GELOMBANG TERPOLARISASI

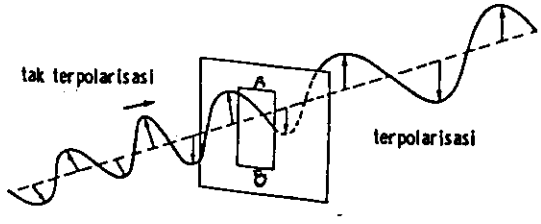
Polarisasi gelombang adalah mengungkapkan pola perubahan gangguan atau osilasi lokal atau perubahan medan vektor yang bersangkutan terhadap waktu (t), pada kedudukan tertentu. Peristiwa polarisasi dapat terjadi pada gelombang mekanik tranversal ataupun pada gelombang elektro magnetik. Pengungkapan polarisasi akan lebih jelas pada gelombang transversal tiga dimensi seperti gelombang elektro magnetik. Walaupun demikian pada gelombang satu dimensipun seperti gelombang tali dapat juga terjadi polarisasi. Yang penting adalah syarat gelombang terpolarisasi itu terpenuhi yaitu arah getar gelombangnya mengikuti suatu pola tertentu. Karena polarisasi dapat terjadi pada gelombang mekanik transversal maupun elektro magnetik transversal, maka pada bagian berikut keduanyaakan dibahas secara ringkas.

1. Gelombang mekanik transversal yang terpolarisasi.

Gelombang mekanik tranversal dapat dicontohkan pada gelombang tali. Seutas tali digerakkan dengan tangan ke atas dan ke bawah dengan arah getar yang diatur sedemikian rupa sehingga arah getar simpangannya mengikuti pola tertentu, dikatakan gelombang pada tali tersebut

terpolarisasi. Karena simpangan tali tegak lurus arah perambatan maka dikatakan gelombang tersebut transversal.

Bila gelombang tali tidak terpolarisasi, maka dapat dijadikan terpolarisasi dengan jalan melewatkannya pada suatu celah, sehingga terjadi seleksi terhadap arah getar yaitu yang sesuai dengan bentuk celahnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.1
Gelombang tali terpolarisasi oleh celah
(Sutrisno, 1984, hal 112)

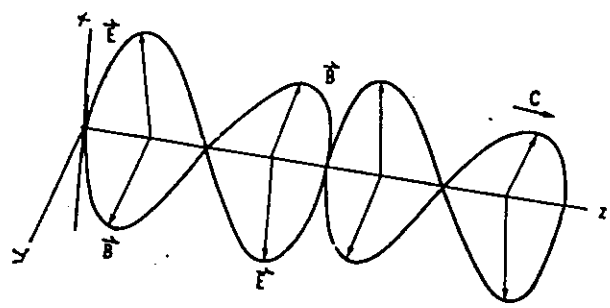
Dari gambar dapat dijelaskan bahwa sebelum melewati celah AB, tali tersebut bergetar dalam arah sembarang. Tapi setelah melewati celah AB getaran yang diteruskan hanya dalam arah AB saja. Gerak titik P pada tali hanya terbatas pada garis AB dalam bidang tegak lurus arah jalar gelombang. Gelombang seperti ini dikatakan gelombang terpolarisasi. Karena perubahan arah getar polarisasinya mengikuti suatu garis lurus, maka dikata-

kan terpolarisasi linier. Karena arah getarnya sejajar dan membentuk bidang, maka dikatakan juga terpolarisasi bidang. Untuk gelombang mekanik transversal seperti contoh di atas (gelombang tali), perlu diketahui kearah mana saja simpangan medium gelombang itu berubah. Jika tangan yang menggerakkan tali bergerak tidak merupakan suatu garis lurus, melainkan turun naik membentuk suatu lingkaran, maka dikatakan gelombang tersebut terpolarisasi melingkar. Di sini berarti ujung medan vektor getarannya terletak pada sebuah lingkaran. Demikian juga halnya bila tali digetarkan berbentuk elips, maka perubahan pola getarnya (ujung medan vektor getar) membentuk suatu elips. Keadaan yang demikian disebut gelombang terpolarisasi eliptik. Untuk gelombang tali yang terpolarisasi lingkaran dan eliptik seperti yang dicontohkan ini, pembentukan pola polarisasinya adalah dengan jalan mengatur gerak sumber getarnya.

Dari beberapa contoh di atas dikatakan bahwa pembentukan pola polarisasi dapat dilakukan dengan jalan mengatur sumber getar atau melewatkan gelombang yang tidak terpolarisasi pada suatu tapis atau saringan sehingga didapatkan gelombang terpolarisasi.Bentuk pola getar yang terjadi menentukan jenis polarisasi yang didapatkan, apakah linier, melingkar ataupun eliptik. Jika pola getarnya sudah tertentu arahnya, dikatakan gelombang tersebut terpolarisasi.

2. Gelombang elektromagnetik yang terpolarisasi.

Selain gelombang mekanik, gelombang elektro magnetik juga termasuk gelombang transversal. Sebagai contoh adalah gelombang cahaya. Cahaya sebagai gelombang elektro magnetik (EM) medan-medan vektornya yaitu medan magnet ($\bar{B}$) dan medan listrik ($\bar{E}$) tegak lurus pada arah penjalarannya. Apabila arah penjalarannya searah dengan sumbu z, serta diambil medan $\bar{E}$ searah sumbu x, dan $\bar{B}$ searah sumbu y, maka gelombang medan $\bar{E}$ merambat dalam bidang (xz) dan medan $\bar{B}$ menjalar dalam bidang (yz), atau bila medan listrik $\bar{E}$ dan vektor propagasi $\hat{k}$ sudah diketahui arahnya, maka arah medan $\bar{B}$ dapat ditentukan yaitu $\hat{k} \times \bar{E}$. Bentuk perambatan gelombang elektro magnetik tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2
Gelombang Elektro Magnetik
(Sutrisno, 1984, hal 113)

Dari gambar terlihat medan E bergetar pada bidang (xz) dan medan $\bar{B}$ pada bidang (yz), dan kedua medan vektor ini merambat pada sumbu z. Karena di sini arah getarnya sudah memiliki pola tertentu dan membentuk suatu bidang, maka dikata kan gelombang EM tersebut terpolarisasi bidang (plane polarized). Sedangkan bidang (xz) dan (yz) ini disebut dengan bidang getar (plane of vibration).

Sudah merupakan kebiasaan dalam menyatakan suatu gelombang EM (mempunyai medan $\bar{E}$ dan $\bar{B}$), hanya diungkapkan dengan menuliskan medan $\bar{E}$ saja. Sebab dari hasil pengukuran, medan $\bar{E}$ jauh lebih besar harganya dari pada medan $\bar{B}$. Oleh sebab itu untuk menyatakan gelombang EM cukup dituliskan medan $\bar{E}$ saja. Jadi untuk selanjutnya penulisan gelombang cahaya (gelombang EM) dinyatakan dalam medan $\bar{E}$.

Apabila medan $\bar{E}$ merambat dengan cara membentuk sudut terhadap bidang getarnya (xz) dan (yz), maka dikatakan gelombang tersebut tidak terpolarisasi pada bidang getar tersebut. Untuk mendapatkan gelombang yang terpolarisasi pada bidang (xz) dan (yz), harus dilakukan suatu cara agar gelombang tersebut terpolarisasi yaitu dengan jalan memproyeksikan gelombang tersebut pada bidang (xz) dan (yz). Sebagai contoh gelombang EM yang tidak terpolarisasi merupakan gelombang sinus dengan persamaan :

$$\bar{E}\,(z,t) = \bar{E}_o \sin\,(kz - \omega t) \qquad (2.1)$$

Persamaan (2.1) ini hanya memberikan informasi bahwa gelombangnya merambat pada sumbu z dalam bentuk gelombang sinus, dan amplitudonya $\bar{E}_o$ tanpa memberitahu arah getarnya.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN

Gelombang ini dapat diproyeksikan terhadap bidang (xz) dan (yz), sehingga diperoleh persamaan:

$$\bar{E}_x \quad (z,t) = \bar{E}_o \cos\phi \sin(kz - \omega t)$$

$$= E_{ox} \hat{i} \sin(kz - \omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

$$\bar{E}_y \quad (z,t) = \bar{E}_o \sin\phi \sin(kz - \omega t)$$

$$= E_{oy} \hat{j} \sin(kz - \omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

Persamaan di atas (2.2) dan (2.3), arah rambatnya adalah pada sumbu z. Sekarang telah didapatkan gelombang EM yang terpolarisasi linier pada bidang (xz) dan (yz) yaitu $\bar{E}_x$ dan $\bar{E}_y$. Arah getar medan $\bar{E}$ untuk bidang (xz) adalah searah vektor satuan $\hat{i}$ dan pada bidang (yz) adalah searah vektor satuan $\hat{j}$ dan arah penjalaran medan $\bar{E}$ tersebut semuanya pada sumbu z, atau dengan kata lain vektor propagasinya adalak $\hat{k}$.

Untuk mendapatkan gelombang terpolarisasi pada salah satu bidang saja, maka dapat dilakukan penyaringan dengan menggunakan jajaran kawat yang berbantuk kisi. Bila kawat dipasang tegak lurus sumbu z dan sejajar sumbu y, maka pada kawat terjadi induksi arus listrik maksimum pada arah y dan minimum pada arah x. Dengan demikian gelombang medan E yang searah sumbu y atau $\bar{E}_y$ banyak yang diserap oleh kawat, sehingga yang tinggal hanya yang searah sumbu x saja atau $\bar{E}_x$. Bila ingin mendapatkan gelombang terpolarisasi pada bidang (yz) maka kawat harus diputar 90°.

Pada pembentukan gelombang terpolarisasi diatas, maka sebagian vektor medan listriknya hilang, sehingga akibatnya intensitas gelombang cahaya yang telah terpolarisasi men-

jadi berkurang. sebab intensitas sebanding dengan kuadrad amplitudonya.

Dari uraian di atas terlihat bahwa gelombang EM terpolarisasi bidang. Jika bidangnya mengikuti suatu garis lurus maka dikatakan gelombangnya terpolarisasi linier. Jika bidangnya berobah arahnya mengikuti suatu putaran tertentu dan ujung-ujung medan vektornya sama panjang sehingga membentuk suatu lingkaran, maka dikatakan gelombang terpolarisasi lingkaran. Jika ujung-ujung vektornya tidak sama panjang tapi tetap berputar pada arah tertentu dan ujung-ujung vektornya membentuk elips, maka dikatakan gelombangnya terpolarisasi eliptik.

B. GELOMBANG YANG TIDAK TERPOLARISASI

Sudah diketahui dari uraian di atas bahwa gelombang yang terpolarisasi memiliki arah getar yang mengikuti pola tertentu, dengan demikian apabila sebuah gelombang memiliki arah getar yang sembarang dikatakan gelombang tersebut tidak terpolarisasi. Hal ini dapat terjadi pada gelombang mekanik transversal, maupun gelombang elektro magnetik. Untuk itu pada bagian berikut akan dibahas satu persatu secara singkat.

1. Gelombang mekanik transversal yang tidak terpolarisasi.

Gelombang mekanik transversal yang tidak terpolarisasi dapat dicontohkan pada gelombang tali yang arah getarnya tidak beraturan. Penyebab dari ketidak

teraturan ini mungkin saja saat menggetarkannya arah yang diambil sembarangan saja, sehingga hasilnyapun tidak mengikuti suatu pola getar tertentu. Jadi dapat disimpulkan bahwa gelombang yang mempunyai pola getar tidak teratur atau sembarangan dikatakan tidak terpolarisasi.

2. Gelombang elektro magnetik yang tidak terpolarisasi.

Gelombang elektro magnetik yang tidak terpolarisasi dapat dicontohkan pada cahaya alamiah. Cahaya alamiah ini mempunyai arah getar medan listrik dan medan magnet yang memenuhi seluruh ruangan (bergetar dan merambat ke segala arah). Keadaan ini tidak dapat digambarkan dengan hubungan $\overline{E}_x$ dan $\overline{E}_y$ yang tetap.

Karena cahaya alamiah (tidak terpolarisasi) merambat ke segala arah, akibatnya intensitas yang diukur untuk setiap arah penjalaran adalah sama atau konstan. Bila cahaya ini dijadikan cahaya terpolarisasi maka intensitasnya akan berkurang, sebab ada sebagian intensitasnya terserap oleh alat pemolarisasinya. Sehingga dikatakan cahaya (gelombang elektro magnetik) yang tidak terpolarisasi memiliki intensitas yang konstan setiap saat, sedangkan cahaya yang terpolarisasi intensitasnya akan berkurang.

Setelah diketahui bahwa gelombang ada yang tidak terpolarisasi dan ada yang terpolarisasi, maka untuk mendapatkan gelombang terpolarisasi dari gelombang yang

1912/kuliqu-P1(2)

530.124
Dar
P1

tidak terpolarisasi dilakukan berbagai cara yaitu melakukan suatu perlakuan khusus . Untuk gelombang cahaya cara yang ditempuh ada berbagai macam, diantaranya adalah dengan serapan pilih, pantulan, hamburan, bias kembar dan lain-lain.

Karena bentuk polarisasi ada beberapa macam, demikian juga dengan cara memperoleh gelombang terpolarisasi, maka pada bab-bab berikut akan dibahas satu persatu secara lebih rinci. Dalam menjelaskannya akan digunakan persamaan gelombang biasa secara vektor dan juga digunakan persamaan kompleks untuk gelombang.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

BAB III

BENTUK-BENTUK POLARISASI

Persamaan gelombang cahaya monokromatik biasa ditulis sebagai berikut:

$$\bar{E}\ (x,y,z,t) = \bar{E}_x\ \hat{i} + \bar{E}_y\ \hat{j} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.1)$$

$\bar{E}\ (x,y,z,t)$ artinya medan listrik $\bar{E}$ yang kedudukannya ditentukan oleh koordinat (x,y,z) dan waktu t (gelombang tiga dimensi), dengan komponen $\bar{E}_x$ bergetar searah $\hat{i}$ dan komponen $\bar{E}_y$ bergetar searah $\hat{j}$, sedangkan vektor propagasinya adalah $\hat{k}$. Komponen $\bar{E}_x$ dapat ditulis :

$$\bar{E}_x\ (x,y,z,t) = \hat{i}\ E_{ox}\ \cos\ (kz - \omega t + \phi_x) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3.2a)$$

dan

$$\bar{E}_y\ (x,y,z,t) = \hat{j}\ E_{oy}\ \cos\ (kz - \omega t + \phi_y) \quad \ldots\ldots\ldots (3.2b)$$

E_{ox} dan E_{oy} adalah amplitudo dari gelombang dengan harga positif, dan ϕ_x serta ϕ_y adalah sudut fase. Baik $\bar{E}_x$ maupun $\bar{E}_y$ menjalar sepanjang sumbu z. Getaran medan listrik pada $\bar{E}_x$ adalah searah $\hat{i}$, sedangkan pada $\bar{E}_y$ searah $\hat{j}$.

Penentuan klasifikasi dari bentuk polarisasi cahaya yang terjadi ditentukan oleh karakteristik polarisasi gelombang yaitu ditentukan oleh dua buah parameter (Klein - Furtak, 1986 hal 586):

fase relatif, $\phi = \phi_y - \phi_x$

ukuran relatif dari E_{ox} dan E_{oy}

Dengan adanya karakteristik polarisasi yang ditentukan oleh fase relatif dan ukuran relatif antara dua buah amplitudo yang

disuperposisikan, maka bentuk polarisasi dapat dibagi atas tiga bagian yaitu polarisasi linier, polarisasi lingkaran dan polarisasi eliptik. Dari ke tiga bentuk polarisasi tersebut maka polarisasi eliptik merupakan bentuk umum dari polarisasi linier dan lingkaran. Selanjutnya pada bagian berikut akan dibahas tentang bentuk-bentuk polarisasi tersebut, baik dengan persamaan gelombang biasa maupun kompleks.

A. POLARISASI LINIER

1. Gelombang berjalan terpolarisasi linier.

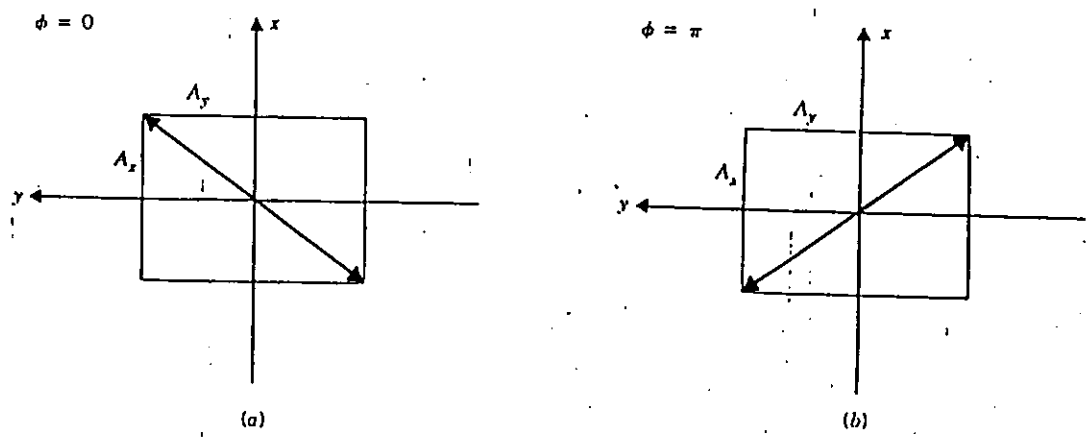
Gelombang berjalan terpolarisasi linier dicontohkan pada gelombang cahaya. Cahaya terpolarisasi linier dapat dikenali dengan bentuk bidang polarisasi yang lurus. Untuk mendapatkan cahaya terpolarisasi linier karakteristik polarisasi yang harus dipenuhi (Klein - Furtak, 1986, hal 586) adalah:

1. Fase relatif $\phi = 0$ atau $\phi = \pi$
2. Keseimbangan simpangan $\bar{E}_y$ terhadap $\bar{E}_x$ memenuhi

$$\bar{E}_y = \frac{E_{oy}}{E_{ox}} \bar{E}_x \qquad \text{untuk} \quad \phi = 0$$

$$\bar{E}_y = -\frac{E_{oy}}{E_{ox}} \bar{E}_x \qquad \text{untuk} \quad \phi = \pi$$

Keadaan polarisasi linier untuk $\phi = 0$ dan $\phi = \pi$ dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1
Polarisasi linier
(Klein - Furtak, 1986 hal 587)

Dari gambar dapat diartikan untuk $\phi = 0$ getaran medan listriknya mengikuti garis diagonal dari x positif dan y positif menuju ke x negatif dan y negatif (a). Sedangkan untuk $\phi = \pi$, getaran medan listriknya adalah dari x negatif y positif menuju ke x positif y negatif (b). Getaran medan listriknya selalu bolak balik pada diagonal yang berbentuk garis lurus tersebut sehingga disebut gelombang terpolarisasi linier.

Bila diambil 2 buah gelombang optik yang orthogonal (saling tegak lurus) dengan arah getar:

$$\bar{E}_x \ (z,t) = \hat{i}\ E_{ox} \cos\ (kz - \omega t) \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

dan

$$\bar{E}_y \ (z,t) = \hat{j}\ E_{oy} \cos\ (kz - \omega t + \phi) \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$

Kedua gelombang di atas menjalar pada sumbu z atau vektor propagasinya adalah $\hat{k}$, dan fase relatif antara kedua ge-

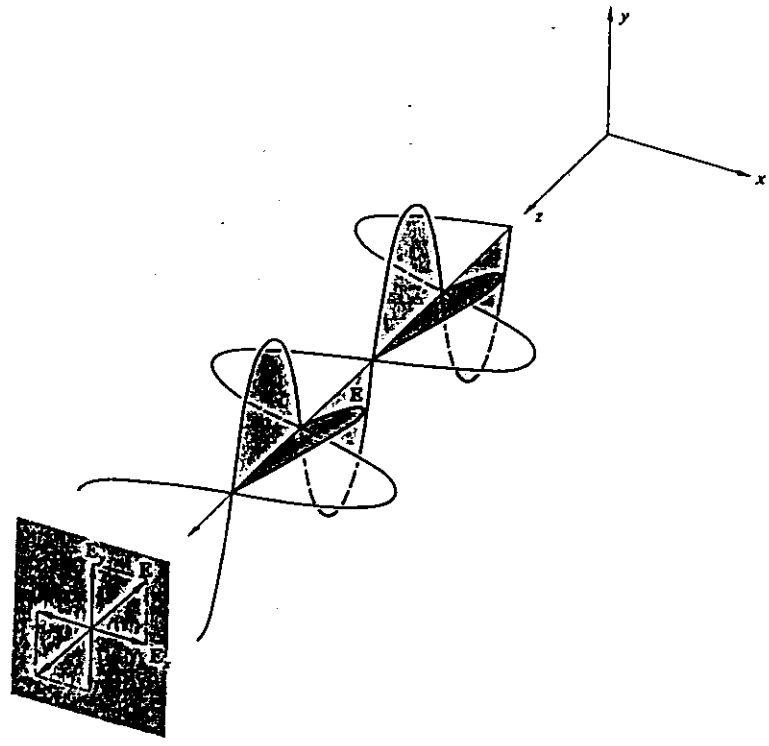
lombang tersebut adalah ϕ dan arah getar E_{ox} searah $\hat{i}$ sedangkan arah getar E_{oy} searah $\hat{j}$. Resultan gangguannya adalah:

$$\bar{E}\ (z,t) = \bar{E}_x\ (z,t) + \bar{E}_x\ (z,t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.5)$$

Jika ϕ adalah 0 (nol) atau kelipatan dari $\pm 2\pi$, kedua gelombang dikatakan sefase. Untuk keadaan ini diperoleh:

$$\bar{E}\ (z,t) = (\hat{i}\ E_{ox} + \hat{j}\ E_{oy})\ \cos\ (kz - \omega\ t) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3.6)$$

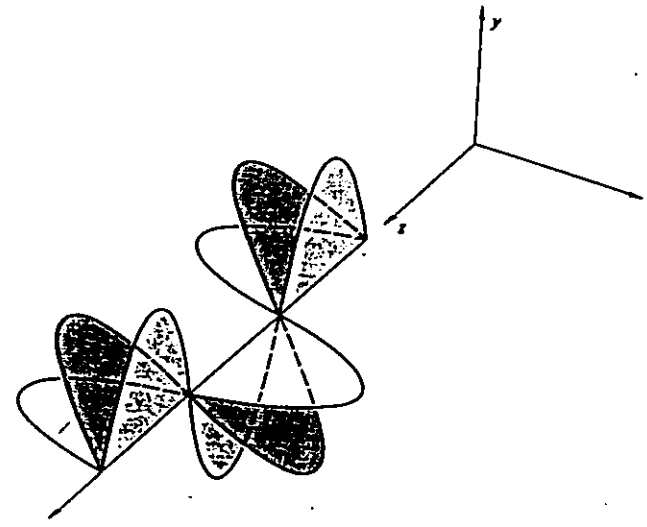
Gelombang resultan yang dihasilkan ini memiliki sebuah persamaan amplitudo yang digetarkan pada $(\hat{i}\ E_{ox} + \hat{j}E_{oy})$, dan merupakan gelombang yang terpolarisasi linier seperti pada gambar di bawah ini:

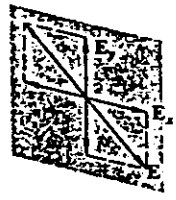


Gambar 3.2
Cahaya terpolarisasi linier
(Hecht - Zajac, 1974, hal 220)

Pada bidang dua dimensi dari gambar di atas terlihat bahwa $\bar{E}$ mempunyai komponen $\bar{E}_x$ dan $\bar{E}_y$.

Untuk gelombang yang terpolarisasi linier, tapi bidang getarnya diputar 90° dari keadaan semula, maka diperoleh polarisasinya seperti gambar berikut:





Gambar 3.3

Cahaya terpolarisasi linier yang diputar 90°
(bila dibandingkan dengan gambar 2)
(Hecht - Zajac, 1974, hal 221)

Bila gambar 3.2 dibandingkan dengan gambar 3.3 maka arah getar bidang $\bar{E}$ pada gambar 3.3 berbeda 90° dari gambar 3.2.

2. Gelombang berdiri terpolarisasi linier

Selain gelombang berjalan juga terdapat gelombang berdiri (standing wave). Gelombang berdiri tersebut dapat terpolarisasi linier, yaitu bidang getarnya mengikuti suatu garis lurus. Persamaan untuk gelombang berdiri yang terpolarisasi linier adalah:

$$\bar{E}\ (z,t) = (\hat{i}\ E_{ox} + \hat{j}\ E_{oy})\ \sin kz\ \cos \omega t \quad .....(3.7a)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa gelombang resultan yang terjadi merupakan gelombang berdiri dimana pada titik $z = 0$ terjadi simpul (Frank S. Crawford, Jr, 1968, hal 398).

Jika yang terjadi adalah gelombang berdiri yang terpolarisasi linier untuk titik $z = 0$ terjadi perut, maka persamaan (3.7a) berobah menjadi:

$$\bar{E}\ (z,t) = (\hat{i}\ E_{ox} + \hat{j}\ E_{oy})\ \cos kz\ \sin \omega t) \quad .....(3.7b)$$

B. POLARISASI LINGKARAN

1. Polarisasi lingkaran untuk gelombang berjalan

Untuk cahaya yang terpolarisasi lingkaran, harus memenuhi karakteristik polarisasi gelombang yaitu:

1. Beda fase relatif $\phi = \frac{\pi}{2} + 2m\pi$ dimana $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ (Hecht - Zajak, 1974, hal 220)
2. Amplitudo getaran $E_{ox} = E_{oy} = E_o$ (Klein-Furtak, 1986, hal 586)

Persamaan gelombang yang disuperposisikan adalah:

$$\bar{E}_x\ (z,t) = \hat{i}\ E_o \cos\ (kz - \omega\ t + \phi_x)\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.8)$$

dan

$$\bar{E}_y\ (z,t) = \hat{j}\ E_o \cos\ [kz - \omega\ t + (\phi_x \pm \pi/2)]$$

$$= \mp\ \hat{j}\ E_o \sin\ (kz - \omega\ t + \phi_x)$$

atau lebih sederhana diambil $\phi_x = 0$, sehingga:

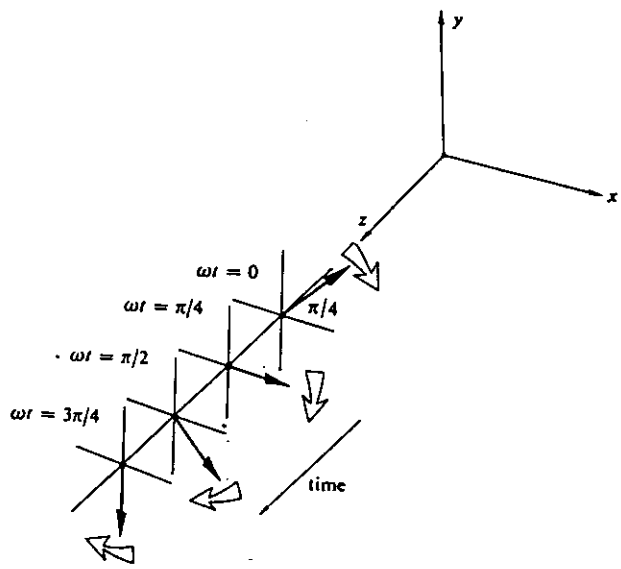
$$\bar{E}_y\ (z,t) = \hat{j}\ E_o \cos\ (kz - \omega\ t - \pi/2)$$

$$\bar{E}_y\ (z,t) = \hat{j}\ E_o \sin\ (kz - \omega\ t\ )\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.9)$$

Gelombang resultannya diberikan oleh:

$$\bar{E} = E_o\ [\ \hat{i} \cos\ (kz - \omega t) + \hat{j}\ \sin\ (kz - \omega t)]\ \ldots(3.10)$$

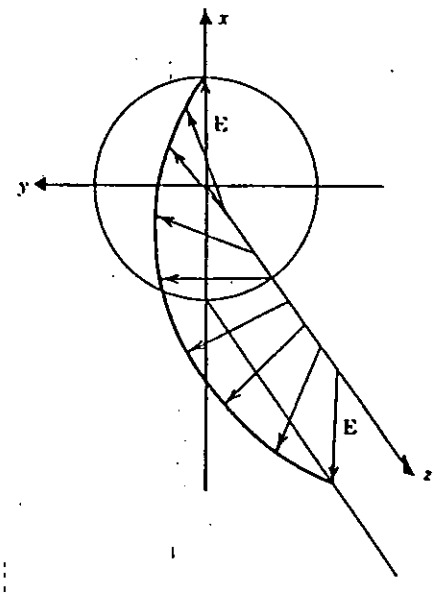
Dari persamaan (3.10) terlihat bahwa $\bar{E}$ dihasilkan dari super posisi $\bar{E}_x$ dan $\bar{E}_y$ dengan arah getar komponennya untuk $\bar{E}_x$ searah $\hat{i}$ dan $\bar{E}_y$ searah $\hat{j}$. Karena $\bar{E}_x$ dan $\bar{E}_y$ sama panjang maka dihasilkan polarisasi lingkaran. Bentuk polarisasi lingkaran ini dapat dilihat pada gambar berikut yaitu berupa polarisasi putar kanan dengan vektor propagasi sepanjang sumbu z atau $\hat{k}$:



Gambar 3.4
Polarisasi melingkar putar kanan
(Hecht - Zajac, 1974, hal 221)

IK UPI PP
KIP

Selanjutnya perhatikan besaran skalar amplitudo dari $\bar{E}$ yaitu $\bar{E}_o$ adalah konstan, tetapi arah E setiap saat berfariasi (berobah setiap saat) namun tetap membentuk suatu bidang. Bidang inilah yang berputar melingkar seperti pada gambar:



Gambar 3.5
Polarisasi Melingkar
(Klein - Furtak, 1986, hal 589)

Pada gambar kelihatan bidangnya berputar yaitu dengan melihat ujung vektor $\bar{E}$ berputar mengikuti suatu bidang.

Bila diambil $t = 0$ berarti gelombang masih belum bergerak atau dikatakan gelombang berada pada posisi awal z_o. Jika pada keadaan ini diambil sumber acuan sebesar kz_o terhadap sumbu x, maka persamaannya adalah :

$$\bar{E}_x = \hat{i}\, E_o \cos kz_o \quad \text{dan} \quad \bar{E}_y = \hat{j}\, E_o \sin kz_o \quad \ldots.(3.11)$$

Beberapa waktu kemudian misalnya $t = kz_o/\omega$, $\bar{E}_o = \hat{i}\, E_o$ $\bar{E}_y = 0$, dan $\bar{E}$ adalah sepanjang sumbu x. Selanjutnya, bila waktunya bertambah, maka $\bar{E}_x = 0$ dan $\bar{E}_y = -\hat{j}E_o$, berarti $\bar{E}$ sepanjang sumbu y negatif. Jika diikuti perputaran arah

PUSTAKAAN
ADANG

bidang getarnya ternyata $\bar{E}$ berputar searah gerak jarum jam atau polarisasi melingkar putar kanan dengan frekuensi sudut adalah ω. Hal ini juga dapat disebut cahaya putar kanan. Disini $\bar{E}$ memiliki satu arah rotasi dan satu buah panjang gelombang.

Jika dalam persamaam $\phi = \pi/2,\ 5\pi/2,\ 9\pi/2, \ldots$ sesuai dengan $\phi = \pi/2 + 2m\pi$ di mana $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ maka diperoleh gelombang terpolarisasi melingkar putar kiri yaitu :

$$\bar{E} = E_o\ [\ \hat{i} \cos\ (kz - \omega t) + \hat{j} \sin\ (kz - \omega t + \pi/2)]$$

$$= E_o [\hat{i} \cos\ (kz - \omega t) - \hat{j} \cos\ (kz - \omega t)] \quad \ldots\ldots\ldots (3.12)$$

Jika dijumlahkan persamaan (3.10) dan (3.12) yaitu (2persamaan gelombang resultan) yang terpolarisasi melingkaran putar kanan dan terpolarisasi melingkar putar kiri, atau dengan kata lain arah polarisasinya berlawanan, maka hasil penjumlahannya merupakan gelombang terpolarisasi linier, yaitu:

$$\bar{E}_1 = E_o\ [\ \hat{i} \cos\ (kz - \omega t) + \hat{j} \sin\ (kz - \omega t)$$

$$\bar{E}_2 = E_o\ [\ \hat{i} \cos\ (kz - \omega t) - \hat{j} \sin\ (kz - \omega t)$$

$$\overline{\bar{E} = \bar{E} + \bar{E}} = 2\ E\ \hat{i} \cos\ (kz - \omega\ t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.13)$$

dengan vektor amplitudonya adalah $2E_o\hat{i}$.

Jadi dari persamaan (3.10), (3.12) dan (3.13) dapat disimpulkan bahwa gelombang terpolarisasi lingkaran putar kanan dan putar kiri apabila disuperposisikan akan menghasilkan gelombang terpolarisasi linier.

2. Polarisasi lingkaran untuk gelombang berdiri

Jika sebuah gelombang berdiri terpolarisasi melingkar sepanjang sumbu vektor z positif, yang diperoleh melalui penjumlahan osilasi yang diatur pada sumbu z, maka didapat-

kan gelombang berdiri untuk $z = 0$ merupakan simpul. Persamaan yang memenuhi adalah:

$$\bar{E}\ (z,t) = [\hat{i}\ \cos \omega t + \hat{j}\ \cos\ (\omega t - \pi/2)]\ \bar{A}\ \sin kz \quad ..(3.14)$$

Persamaan (3.14) ini menyatakan gelombang berdiri yang terpolarisasi melingkar putar kanan. Untuk yang putar kiri maka $\phi = + \pi/2$.

Gelombang berdiri yang pada $z = 0$ adalah perut, maka persamaan gelombang berdiri terpolarisasi melingkar putar kanan diberikan oleh persamaan:

$$\bar{E}\ (z,t) = [\hat{i}\ \sin \omega t + \hat{j}\ \ \sin\ (\omega t - \pi/2)]\ A\ \cos kz \quad ..(3.15)$$

dengan A adalah amplitudo gelombang berdiri.

Dari persamaan (3.14) dan (3.15) dapat diperoleh pengertian bahwa gelombang berdiri dapat terpolarisasi melingkar.

C. POLARISASI ELIPTIK

Jika diperhatikan deskripsi matematika dari gelombang terpolarisasi linier dan terpolarisasi melingkar ternyata merupakan kasus khusus dari gelombang yang terpolarisasi eliptik. Untuk mendapatkan gelombang terpolarisasi eliptik, diperlukan 2 gelombang yang akan disuperposisikan. Kedua gelombang tersebut memiliki karakteristik polarisasi yaitu harga fase relatifnya sembarang demikian juga harga amplitudo E_{ox} dan E_{oy} nya, yang penting kedua gelombang itu mempunyai vektor propagasi yang sama, seperti persamaan di bawah ini:

$$\bar{E}_x = E_{ox}\ \cos\ (kz - \omega t) \quad ..... \quad (3.16)$$

dan

$$\bar{E}_y = E_{oy}\ \cos\ (kz - \omega t + \phi) \quad .....(3.17)$$

persamaan (3.16) dan (3.17) memiliki vektor propagasi searah

sumbu z atau $\hat{k}$. Bila diambil bagian $(kz - \omega t)$ sehingga merupakan bagian yang saling terkait satu sama lain, maka diperoleh:

$$\frac{\bar{E}_x}{E_{ox}} = \cos\,(kz - \omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.18)$$

$$\frac{\bar{E}_y}{E_{oy}} = \cos\,(kz - \omega t + \phi)$$

$$= \cos\,(kz - \omega t)\cos\phi - \sin\,(kz - \omega t)\sin\phi \quad \ldots (3.19)$$

Jika dikombinasikan persamaan (18) dan (19) diperoleh :

$$\frac{\bar{E}_y}{E_{oy}} = \frac{\bar{E}_x}{E_{ox}}\cos\phi - \sin\,(kz - \omega t)\sin\phi$$

$$\frac{\bar{E}_y}{E_{oy}} - \frac{\bar{E}_x}{E_{ox}}\cos\phi = -\sin\,(kz - \omega t)\sin\phi \quad \ldots (3.20)$$

ambil

$$\sin^2\,(kz - \omega t) + \cos^2\,(kz - \omega t) = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.21)$$

atau

$$\sin^2\,(kz - \omega t) = 1 - \cos^2\,(kz - \omega t)$$

$$\sin^2\,(kz - \omega t) = 1 - (\bar{E}_x/E_{ox})^2$$

maka

$$\sin\,(kz - \omega t) = [1 - (\bar{E}_x/E_{ox})^2]^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.22)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan (3.22) pada persamaan (3.20) diperoleh:

$$\frac{\bar{E}_y}{E_{oy}} - \frac{\bar{E}_x}{E_{ox}}\cos\phi = [\,1 - (\bar{E}_x/E_{ox})]^{1/2}\sin\phi$$

atau

$$[(\bar{E}_y/E_{oy}) - (\bar{E}_x/E_{ox})\cos\phi\,]^2 =$$

$$[\,1 - (\bar{E}_x/E_{ox})]\ \sin^2\phi$$

$$(\bar{E}_y/E_{oy})^2 \quad 2\ (\bar{E}_y/E_{oy})\ (\bar{E}_x/E_{ox})\ \cos\phi\ +$$

$$(\bar{E}_x/E_{ox})\ \cos^2\phi \ = [1 - (\bar{E}_x/E_{ox})^2]\ \sin^2\phi$$

$$(E_y/E_{oy})^2 - 2\ (\bar{E}_y/E_{oy})\ (\bar{E}_x/E_{ox})\ \cos\phi =$$

$$\sin^2\phi - (\bar{E}_x/E_{ox})^2\ (\sin^2\phi + \cos^2\phi)$$

terakhir diperoleh:

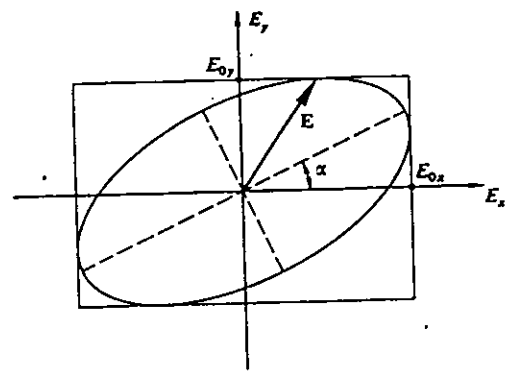
$$(\bar{E}_y/E_{oy})^2 + (\bar{E}_x/E_{ox})^2 - 2\ (E_y\bar{/}E_{oy})\ (E_x\bar{/}E_{ox})\ \cos\phi =$$

$$\sin^2\phi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.23)$$

Persamaan (3.23) ini merupakan sebuah elips yang membuat sudut α dengan sistim koordinat $(\bar{E}_x\ ,\ \bar{E}_y)$ di mana:

$$tg\ 2a = (2\ E_{ox}\ E_{oy}\ \cos\phi)\ /\ (E_{ox}^{\ 2} - E_{oy}^2)\ \ldots\ldots(3.24)$$

Persamaan ini dapat dilukiskan seperti gambar berikut:



Gambar 3.6
Polarisasi Eliptik
(Hecht - Zajac, 1974, hal 222)

Dalam gambar 3.6 terlihat antara $\bar{E}_x$ dengan sumbu mayor terbentuk sudut α, yang harganya dapat dicari melalui rumus (3.24).

Jika dari persamaan (3.23) digunakan $\alpha = 0$ atau ekuivalen dengan $\phi = \pm m\pi/2$ dimana $m = 1, 2, 3, \ldots$ maka dalam kasus ini diperoleh:

$$(\bar{E}_y/E_{oy})^2 + (\bar{E}_x/E_{ox})^2 = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.25)$$

Jika diambil $E_{oy} = E_{ox} = \bar{E}_o$ diperoleh:

$$\bar{E}_y^{\,2} + \bar{E}_x^{\,2} = \bar{E}_o^{\,2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.26)$$

Persamaan (3.26) ini merupakan sebuah lingkaran. Jika ϕ adalah kelipatan genap dari π maka persamaan (3.23) menjadi:

$$\bar{E}_y = (E_{oy}/E_{ox})\,\bar{E}_x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.27)$$

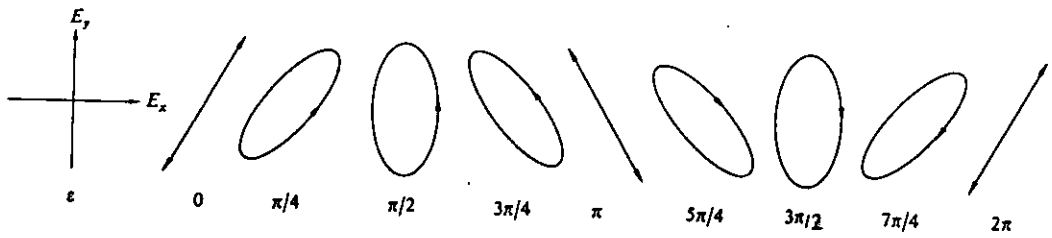
Jika ϕ adalah kelipatan ganjil daripada π maka:

$$\bar{E}_y = -(E_{oy}/E_{ox})\,\bar{E}_x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.28)$$

Dari persamaan (3.26) terlihat bahwa polarisasi lingkaran merupakan bentuk khusus dari polarisasi eliptik, yaitu dengan mengambil $E_{oy} = E_{ox} = \bar{E}_o$. Demikian juga persamaan (3.27) dan (3.28) merupakan garis lurus yang memiliki kemiringan atau slop sebesar $\pm\,(E_{oy}/E_{ox})$ sehingga diperoleh cahaya yang terpolarisasi linier (tanda positif berarti miring ke kanan dan negatif miring ke kiri).

Pengaruh sudut fase relatif terhadap bentuk elips yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut:

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG



Gambar 3.7
Pengaruh sudut fase relatif terhadap elips
(Hecht - Zajac, 1974, hal 223)

Dari gambar terlihat variasi bentuk polarisasi eliptik bila dihubungkan dengan harga spesifik fase relatifnya yang dimulai dari 0 sampai 2π.

Selanjutnya perlu didudukkan suatu lambang untuk keadaan spesifik dari polarisasi. Untuk polarisasi linier atau bidang disebut keadaan *P*. Untuk polarisasi putar kanan disebut *R* dan putar kiri adalah *L*. Untuk polarisasi eliptik adalah *E*. Keadaan *P* dapat diperoleh dengan jalan mensuperposisikan keadaan *R* dengan keadaan *L*, dengan syarat jari-jari harus sama. Demikian juga keadaan *E* dapat diperoleh dengan mensuperposisikan keadaan *R* dan *L* dengan syarat amplitudo gelombang melingkarnya berbeda satu sama lain (Hecht - Zajac, 1974, hal 223).

D. CAHAYA TERPOLARISASI ELIPTIK DENGAN NOTASI KOMPLEKS

Pembahasan ini ditujukan pada polarisasi eliptik karena sudah mewakili dari polarisasi linier dan melingkar. Walaupun demikian, disini juga akan dibahas dasar polarisasi linier dan dasar polarisasi lingkaran.

Pada pembahasan ini ada sedikit perobahan notasi yang digunakan yaitu: $(kz - \omega t) = \phi_o$. Hal ini dilakukan agar lebih memudahkan dalam penulisan rumus-rumus. Namun di dalamnya tersirat bahwa vektor propagasinya searah sumbu z atau $\hat{k}$, dan kecepatan sudutnya ω.

1. Dasar polarisasi linier dengan notasi kompleks

Pada bagian ini akan dilihat dasar dari pada polarisasi linier dengan menggunakan notasi kompleks,di mana dalam menggunakan koordinat kartesius, sumbu x merupakan sumbu real dan sumbu y merupakan sumbu imaginer. Bidang kompleks yang dibentuk adalah saling tegak lurus satu sama lain sesuai dengan standar sistim koordinat.

Medan listrik dari cahaya dapat digambarkan dengan sebuah fasor kompleks di dalam bidang:

$$\tilde{E} = \tilde{E}_x + i\,\tilde{E}_y \quad \text{.....(3.29)}$$

Persamaan dasar ini adalah spesifik untuk keadaan terpolarisasi linier yang komponennya berada pada sumbu x dan y. $\tilde{E}_x$ dan $\tilde{E}_y$ diberikan oleh persamaan :

$$\tilde{E}_x = \tilde{E}_{ox} \cos(\phi_o + \phi_x) \quad \text{.....(3.30a)}$$

$$\tilde{E}_y = \tilde{E}_{oy} \cos(\phi_o + \phi_y) \quad \text{.....(3.30b)}$$

Persamaan (3.30) ini dapat dituliskan dalam bentuk ekspo-

nensial yaitu:

$$\tilde{E}_x = \tilde{E}_{ox} \cos(\phi_o + \phi_x)$$

$$= 1/2\ E_{ox}\ e^{i\phi_o}\ e^{i\phi_x} + 1/2\ E_{ox}\ e^{-i\phi_o}\ e^{-i\phi_x}$$

$$= 1/2\ a_x\ e^{i\phi_o} + 1/2\ a_x^*\ e^{-i\phi_o} \quad \text{.....(3.31a)}$$

$$\tilde{E}_y = \tilde{E}_{oy} \cos(\phi_o + \phi_y)$$

$$= 1/2\ \tilde{E}_{oy}\ e^{i\phi_y}\ e^{i\phi_o} + 1/2\ \tilde{E}_{oy}\ e^{-i\phi_y}\ e^{-i\phi_o}$$

$$= 1/2\ a_y\ e^{i\phi_o} + 1/2\ a_y^*\ e^{-i\phi_o} \quad \text{.....(3.31b)}$$

di sini berlaku:

$$a_x = \tilde{E}_{ox}\ e^{i\phi_x} \quad \text{.....(3.32a)}$$

$$a_y = \tilde{E}_{oy}\ e^{i\phi_y} \quad \text{.....(3.32b)}$$

dengan demikian persamaan (3.29) dapat ditulis:

$$\tilde{E} = \tilde{E}_x + \tilde{E}_y$$

$$\tilde{E} = (1/2\ a_x\ e^{i\phi_o} + 1/2\ a_x^*\ e^{-i\phi_o}) +$$

$$(1/2\ a_y\ e^{i\phi_o} + 1/2\ a_y^*\ e^{-i\phi_o})$$

$$\tilde{E} = 1/2\ (a_x + ia_y)\ e^{i\phi_o} + 1/2\ (a_x^* + ia_y^*)\ e^{-i\phi_o}$$

$$\text{.....(3.33)}$$

Inilah yang merupakan persamaan dasar dari cahaya terpolarisasi linier dalam notasi kompleks. Di mana untuk keadaan ini karakteristik polarisasi tetap harus terpenuhi

yaitu fase relatif $\phi = 0$ atau $\phi = \pi$ dan simpangan medan listriknya:

$$\tilde{E}_y = (\tilde{E}_{oy} / \tilde{E}_{ox})\, \tilde{E}_x \quad \text{untuk} \quad \phi = 0 \quad \text{.....(3.34a)}$$

dan

$$\tilde{E}_y = -(\tilde{E}_{oy} / \tilde{E}_{ox})\, \tilde{E}_x \quad \text{untuk} \quad \phi = \pi \quad \text{.....(3.34b)}$$

Dari persamaan (3.33) yang komponennya adalah (3.34a)dan (3.34b) dapat disimpulkan bahwa bagaimanapun bentuk persamaanpolarisasi (biasa atau kompleks), namun karakteristik polarisasinya harus tetap dipenuhi.

2. Dasar Polarisasi Lingkaran Dengan Notasi Kompleks.

Berdasarkan persamaan (3.33) diambil:

$$a_L = 1/2\ (a_x + ia_y) = \bar{A}_L\, e^{i\phi_L} \quad \text{..... (3.35a)}$$

$$a_R = 1/2\ (a_x^* + ia_y^*) = \bar{A}_R\, e^{i\phi_R} \quad \text{.....(3.35b)}$$

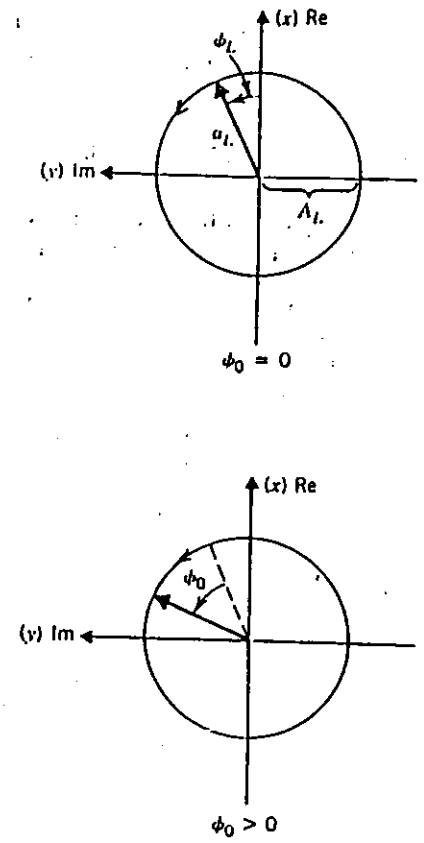
dimana $\bar{A}_R$, $\bar{A}_L$, ϕ_R dan ϕ_L adalah konstanta positif dan real. R dan L adalah keadaan polarisasi lingkaran putar kanan (R) dan putar kiri (L). Selanjutnya gambaran fasor dari medan listrik kompleks dapat dituliskan:

$$\tilde{E} = a_L\, e^{i\phi_o} + a_R\, e^{-i\phi_o} \quad \text{.....(3.36)}$$

Ini merupakan jumlah 2 fasor yang memiliki arah perputaran (rotasi) yang berbeda yang amplitudonya konstan. Ini merupakan dasar pada komponen polarisasi melingkar.

Saat $a_R = 0$, cahaya akan terpolarisasi melingkar arah ke kiri (berlawanan dangan arah gerakan jarum jam). Perputaran dimulai dari sumbu x positif. Untuk keadaan $\phi_o = 0$, fasornya diasumsikan dengan sudut ϕ_L. Setelah

beberapa saat, ϕ_o akan bertambah dan fasor berputar berlawanan arah dengan perputaran jarum jam, pada sebuah lingkaran dengan jari-jari $\overline{A}_L$. Hal ini dapat digambarkan sebagai polarisasi melingkar putar kiri, yaitu seperti gambar berikut:

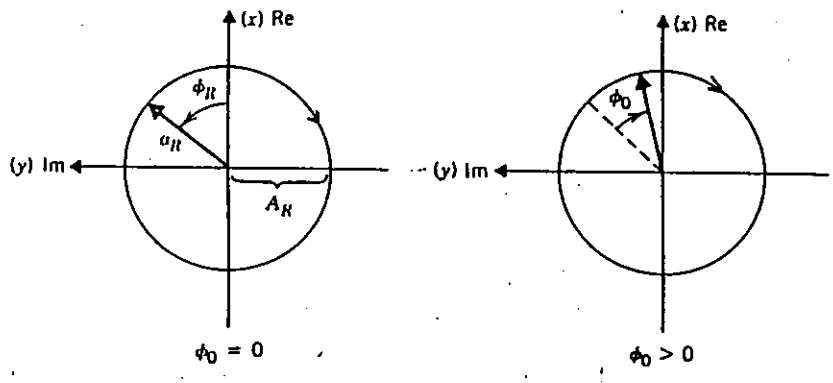


Gambar 3.8
Polarisasi melingkar putar kiri
(Klein - Furtak, 1986,hal 592)

Putaran mulai dari sudut acuan sebesar ϕ_L dengan sumbu x (real) menuju arah ke kiri (putar kiri) sehingga sudutnya menjadi ϕ_o diukur dari sudut acuan.

Saat $a_L = 0$, diperoleh polarisasi melingkar putar kanan, atau berputar searah dengan perputaran jarum jam.

Untuk keadaan ini, bila $\phi_o = 0$, maka fasornya membentuk sudut sebesar ϕ_R, dan jari-jari lingkarannya adalah $\overline{A}_R$. Setelah beberapa saat ϕ_o akan terbentuk dengan arah putaran searah perputaran jarum jam. Hal ini dapat dilukiskan sebagai polarisasi putar kanan, yaitu seperti gambar berikut:



Gambar 3.9
Polarisasi melingkar putar kanan
(Klein - Furtak, 1986, hal 592)

Putaran dimulai dari sudut acuan sebesar ϕ_R dengan sumbu x (real) menuju arah kanan sehingga membentuk sudut ϕ_o terhadap sudut acuan.

Kompanen dasar dari polarisasi linier dapat diperoleh melalui persamaan (3.35) dengan mengambil konjugate kompleks dan mengkombinasikannya dengan persamaan (3.34) sehingga diperoleh:

$$a_x = a_L + a_R^* \quad \text{.....(3.37a)}$$

$$a_y = -i\ (a_L - a_R^*) \quad \text{.....(3.37b)}$$

3. Interpretasi terhadap Polarisasi Eliptik

Suatu keuntungan penggunaan persamaan (3.36) dibandingkan dengan persamaan (3.29) adalah kemudahan dalam menginterpretasikan pemakaian komponen dari polarisasi melingkar sebagai sebuah dasar. Selanjutnya diperlihatkan penjumlahan dan selisih dan selisih dari ϕ_L dan ϕ_R yaitu:

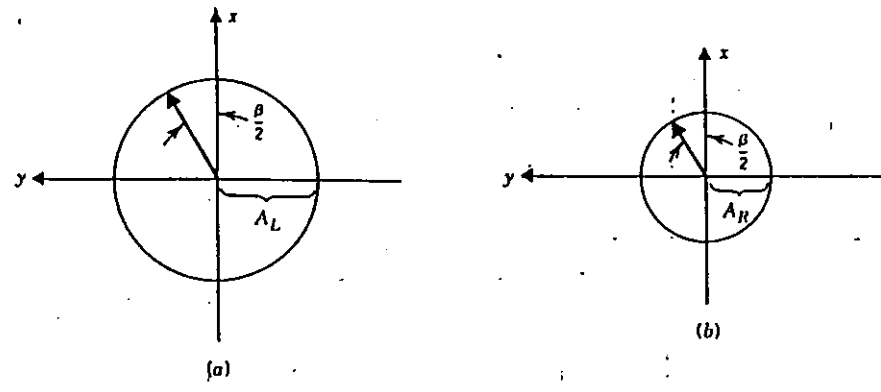
$$\beta = \phi_L + \phi_R \quad \text{dan} \quad \alpha = \phi_L + \phi_R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.37)$$

(ϕ_L adalah fase untuk putar kiri, dan ϕ_R adalah fase untuk putar kanan)

Selanjutnya persamaan (3.36) dapat ditulis:

$$\tilde{E} = \tilde{E}_x + i\tilde{E}_y = e^{i\beta/2}\,[\bar{A}_L\, e^{i(\phi_o - \alpha/2)} + \bar{A}_R\, e^{-i(\phi_o - \alpha 2)}] \quad \ldots\ldots(3.38)$$

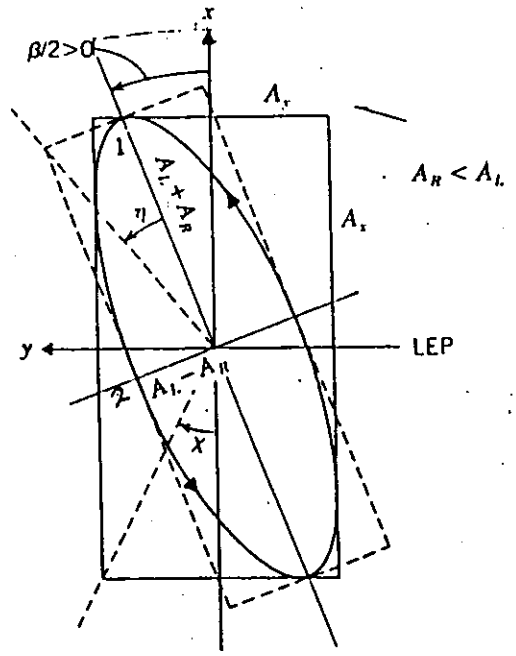
Keadaan persamaan (3.38) ini dapat dilihat pada gambar berikut secara terpisah, dimana fasornya memperlihatkan $\phi_o = \alpha/2$ pada waktu yang sama.



Gambar 3.10
Dasar dari polarisasi eliptik
(Klein - Furtak, 1986, hal 593)

Pada gambar terlihat $\bar{A}_R$ dan $\bar{A}_L$ dengan arah fasornya sama sama $\beta/2$ pada saat yang sama.

Keadaan pada gambar di atas, bila digambarkan hasil titik 1 pada gambar berikut:



Gambar 3.11
Polarisasi eptik berdasarkan gambar 10
(Klein - Furtak, 1986, hal 593)

gambar di atas memenuhi persamaan:

$$\tilde{E} = e^{i\beta/2} (\bar{A}_L + \bar{A}_R) \quad \text{.....(3.39)}$$

Saat $\phi_o = \alpha/2 + \pi/2$, berarti fasor pada gambar 3.9a telah berotasi berlawanan arah dengan perputaran jarum jam sejauh $\pi/2$ rad, dan gambar 3.9b telah berotasi searah perputaran jarum jam, jaga sejauh $\pi/2$ rad. Jika $\bar{A}_R$ lebih kecil dari $\bar{A}_L$ seperti pada keadaan kedua (titik 2) dari gambar (11) di atas, terlihat ujung-ujung fasor $\tilde{E}$ membentuk sebuah elips dimana panjang sumbu mayornya $(\bar{A}_L + \bar{A}_R)$ dan memiliki sudut inklinasi $\beta/2$ terhadap sumbu x. Sedangkan panjang sumbu minornya

adalah $(\bar{A}_L - \bar{A}_R)$ dan sudut inklinasinya $(\beta/2 + \pi/2)$. Pada keadaan ini dikatakan cahaya terpolarisasi eliptik putar kiri (left elliptically polarized = LEP).

Jika pada keadaan di atas diambil panjang $\bar{A}_L = \bar{A}_R$ akan diperoleh polarisasi linier, dengan E berada sepanjang garis dengan inklinasi $\beta/2$ atau pada sumbu mayor dari elips tersebut.

Dari gambar (3.11) dapat diperoleh beberapa catatan tentang kerakteristik cahaya terpolarisasi eliptik yaitu ditandai oleh arah perputaran, sudut inklinasi $\beta/2$ dan sudut η. Sudut η merupakan perbandingan sumbu elips yang diberikan oleh persamaan:

$$tg\ \eta = |\ \bar{A}_L - \bar{A}_R\ |\ /\ (\bar{A}_L + \bar{A}_R) \quad \text{.....(3.40)}$$

Seandainya cahaya digambarkan dalam komponen x dan y seperti pada persamaan (3.30), maka parameter yang tersedia adalah beda fase $\phi = \phi_y - \phi_x$ dan perbandingan E_{oy}/E_{ox} atau sudut x diberikan oleh:

$$tg\ x = |\bar{A}_y|\ /|\bar{A}_x| \quad \text{.....(3.41)}$$

Bila parameter-parameter itu saling dihubungkan, dapat dibuktikan pada keadaan ini:

$$tg\ \theta = \pm\ (tg\ 2\eta)/sin\ \beta \quad \text{.....(3.42)}$$

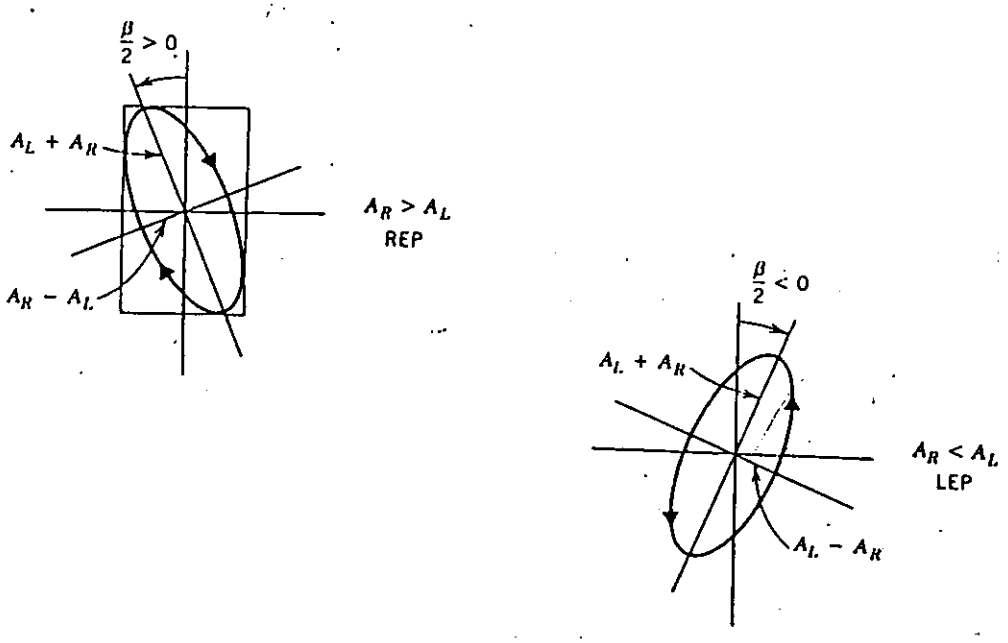
tanda positif berlaku untuk REP (right elliptically polarized) dan tanda negatif untuk LEP (left elliptically polarized). Untuk ini juga berlaku:

$$cos\ 2x = cos\ \beta\ cos\ 2\eta \quad \text{.....(3.43)}$$

Dengan menggunakan karakteristik polarisasi eliptik dapat digambarkan polarisasi eliptik putar kanan (REP)

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

dan polarisasi eliptik putar kiri (LEP), sekaligus dengan sudut inklinasi sumbu mayornya seperti gambar berikut:



Gambar 3.12
Polarisasi eliptik putar kanan dan putar kiri
(Klein - Furtak, 1986, hal 594)

Berdasarkan gambar 3.12 dapat disimpulkan bahwa perbandingan $\overline{A}_R$ dan $\overline{A}_L$, serta arah perputaran (kiri dan kanan) akan mempengaruhi arah inklinasi sumbu mayornya.

BAB IV

CARA MEMPEROLEH GELOMBANG TERPOLARISASI

Pada bab ini akan dibahas tentang cara membuat keadaan terpolarisasi dari gelombang, khususnya gelombang elektro magnetik (lebih terfokus pada cahaya). Pengontrolan polarisasi akan lebih mudah jika proses radiasinya juga dikontrol, seperti pancaran gelombang EM dari sebuah antena. Biasanya proses radiasi yang terjadi tidak dikontrol, sebagai contoh adalah cahaya matahari di mana gelombangnya merupakan hasil superposisi dari berbagai keadaan polarisasi yang berbeda satu sama lain. Untuk mendapatkan cahaya terpolarisasi selain dengan mengatur sumber cahaya, dapat juga dilakukan berbagai cara lain seperti serapan pilih, pemantulan, hamburan dan lain-lain. Pada bagian berikut akan dibahas cara-cara mendapatkan gelombang terpolarisasi tersebut secara ringkas.

A. POLARISASI DENGAN PANCARAN PILIH

Pancaran pilih (selective emision) maksudnya adalah memilih salah satu komponen polarisasi dengan jalan mengatur getaran sumbernya. Sebagai contoh untuk mendapatkan tali terpolarisasi sepanjang sumbu x dan menjalar sepanjang sumbu y maka tali harus digetarkan searah sumbu x dan direntangkan sepanjang sumbu y. Keadaan ini juga dapat terjadi pada gelombang EM. Sebagai contoh gelombang radio atau pancaran gelombang mikro oleh sebuah antena yang memiliki polarisasi yang bergantung pada arah getaran elektron dalam

antena. Jika antana adalah sebuah kawat lurus yang panjang dan tegak lurus terhadap z, elektron akan bergetar sepanjang kawat dan memiliki kekuatan dalam arah tersebut. Arah rambat gelombang EM nya pada keadaan ini adalah pada sumbu z atau sepanjang $\hat{k}$, dan medan listriknya terpolarisasi linier sejajar dengan antena, sehingga dihasilkan radiasi gelombang EM yang terpolarisasi linier yang menjalar sepanjang $\hat{k}$.

Jika salah satu antena berada sepanjang x dan yang lain sepanjang y, keduanya digerakkan oleh arus listrik dengan fase yang sama, serta arah penjalaran sepanjang $\pm\hat{k}$, maka dihasilkan gelombang terpolarisasi linier sepanjang bidang yang membentuk sudut 45° (antara x dan y). Bentuk lain jika amplitudo arus pada x sama dengan y, tapi berbeda fase 90°, maka dihasilkan radiasi gelombang EM yang menjalar sepanjang $\pm\hat{k}$ dengan arah polarisasi melingkar.

Untuk sebuah antena yang menghasilkan berbagai panjang gelombang dan kontribusi elektronnya berbagai fase, biasa disebut multipol radiasi. Sebaliknya jika sebuah antena yang muatannya menghasilkan radiasi berupa sebuah osilasi harmonik, maka disebut dengan dipol (Frank S. Crawford, Jr, 1968, hal 408).

B. POLARISASI OLEH SERAPAN PILIH

Serapan pilih (selective absorption) maksudnya adalah memilih salah satu komponen polarisasi melalui suatu alat yang dapat menyerap berbagai komponen lain yang tidak

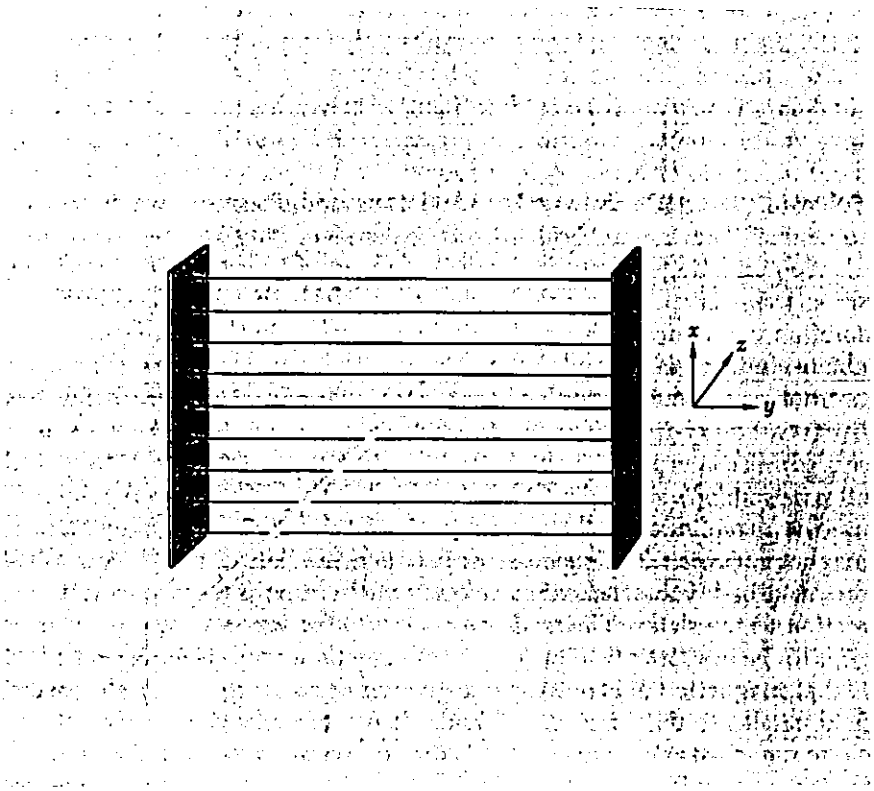
diinginkan. Alat yang digunakan adalah semacam kissi yang mirip dengan jajaran kawat yang teratur. Untuk mendapatkan polarisasi cahaya melalui serapan pilih dapat dilakukan dengan melewatkan cahaya melalui sebuah kissi. Sarat dari sebuah kissi yang dapat mempolarisasikan cahaya adalah memiliki jarak yang lebih kecil dari panjang gelombang cahaya yang digunakan. Persaratan ini dapat dipenuhi oleh kristal, sebab kristal memiliki susunan atom yang letaknya teratur dan juga mempunyai bidang kristal, jadi dapat dikatakan seperti kissi. Kristal yang memiliki sifat dapat menghasilkan cahaya terpolarisasi linier disebut memiliki sipat dikroik. Cahaya yang telah terpolarisasi, intensitasnya akan berkurang, sebab sebagian telah terserap oleh alat pendifraksi. Selain kissi dan kristal, bahan lain yang dapat melakukan serapan pilih adalah polaroid.

1. Kissi

Cara terjadinya gelombang terpolarisasi dengan menggunakan kissi dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bila sebuah kissi memiliki jajaran kawat searah sumbu y, kemudian dilewatkan gelombang EM yang medan listriknya bergetar sepanjang x dan y, maka medan listrik sepanjang y akan dihalangi gerakannya oleh kissi (diserap), sehingga medan listrik yang diteruskan hanyalah yang searah x. Sehingga dikatakan "sumbu transmisi pada kissi adalah tegak lurus pada susunan kawat" (Hecht - Zajac,

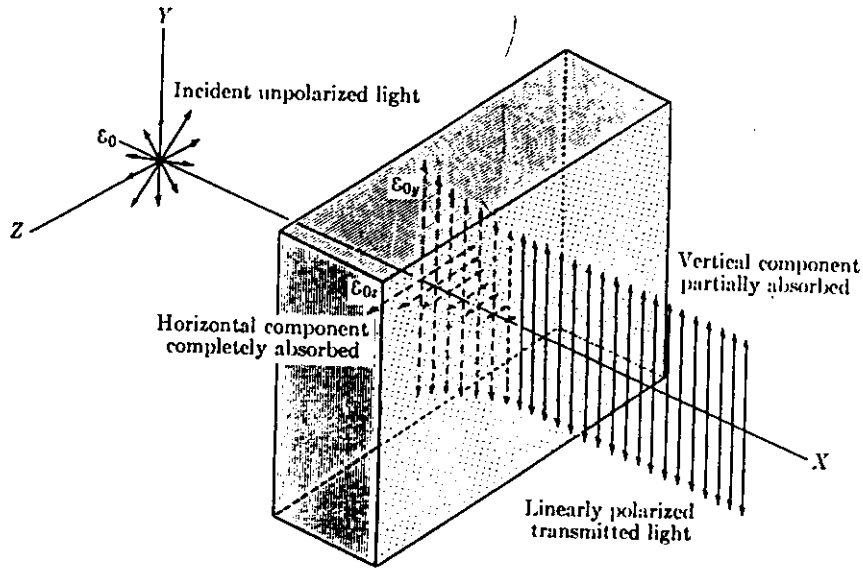
1974, hal 226). Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.1
Polarisasi oleh kissi
(Frank S. Crawford. Jr, 1968, hal 409)

2. Kristal

Cara yang sama juga terjadi pada kristal yaitu komponen medan listrik yang datang dengan arah tegak lurus pada sumbu kristal, diserap dengan kuat, sedangkan yang sejajar dengan sumbu kristal diteruskan. Sumbu yang meneruskan cahaya terpolarisasi ini disebut sumbu transmisi atau sumbu utama. Untuk kristal dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2
Polarisasi oleh kristal
(Alonso - Finn, 1967, hal 798)

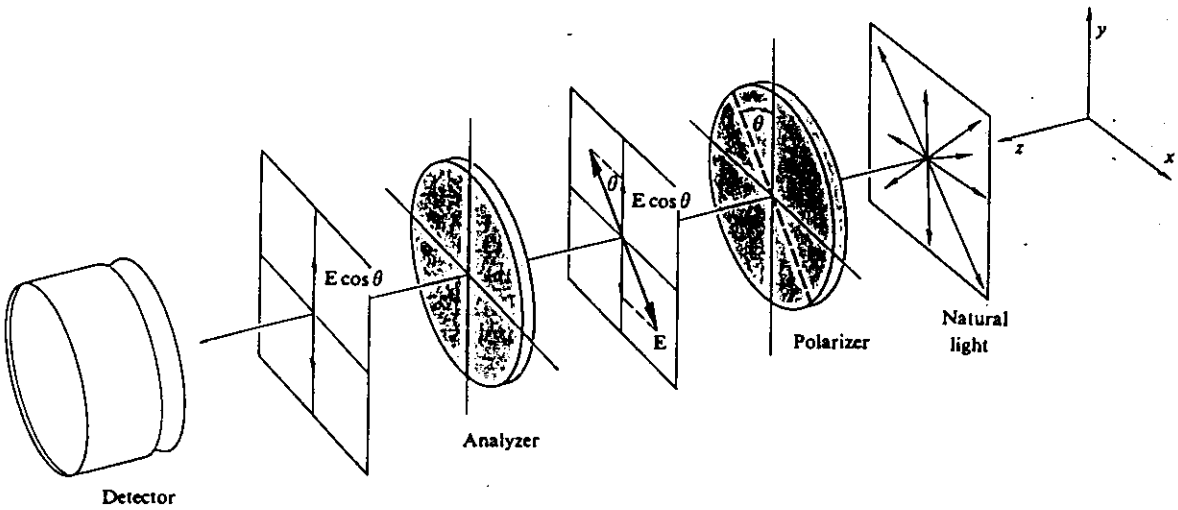
Kristal yang bersifat dikroik antara lain adalah kristal turmalin. Bila cahaya putih didatangkan pada kristal turmalin, maka cahaya yang ditransmisikan adalah yang berwarna hijau. Bila kristal diputar, sehingga arah medan listrik $\bar{E}$ tegak lurus pada sumbu transmisi, maka yang ditransmisikan tidak ada.

Kristal lain yang dapat mempolarisasikan cahaya (bersifat polarizer) adalah feromagnetik silikat. Bila pada kristal ini didatangkan warna putih, akan ditransmisikan warna hijau pada satu arah dan warna pink untuk arah polarisasi yang lain.

Intensitas dari gelombang yang terpolatisasi dapat diterangkan dengan menggunakan hukum Malus. Prosesnya dapat diikuti sebagai berikut: perhatikanlah sepasang

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

kristal polarizer ideal yang dipasang satu sebagai polarizer dan yang satu lagi sebagai analizer seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.3
Analisa polarisasi
(Hecht - Zajac, 1974, hal 226)

Sumbu transmisi polarizer dipasang sedemikian sehingga membentuk sudut θ terhadap sumbu y sedangkan sumbu transmisi analizer searah dengan sumbu y. Jika amplitudo medan listrik yang ditransmisikan oleh polarizer adalah $\bar{E}_o$ dengan satu komponen $\bar{E}_o \cos\theta$ dan sejajar dengan sumbu transmisi analizer yang dapat dilihat oleh detektor maka vektor pointing yang juga menyatakan intensitas dari gelombang cahaya diberikan oleh persamaan:

$$I(\theta) = (c\,\varepsilon_o/2)\,\bar{E}_o^{\,2}\cos^2\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

Jika

$$(c\varepsilon_o/2)\,\bar{E}_o^{\,2} = I_o$$

maka

$$I(\theta) = I_o \cos^2\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.2)$$

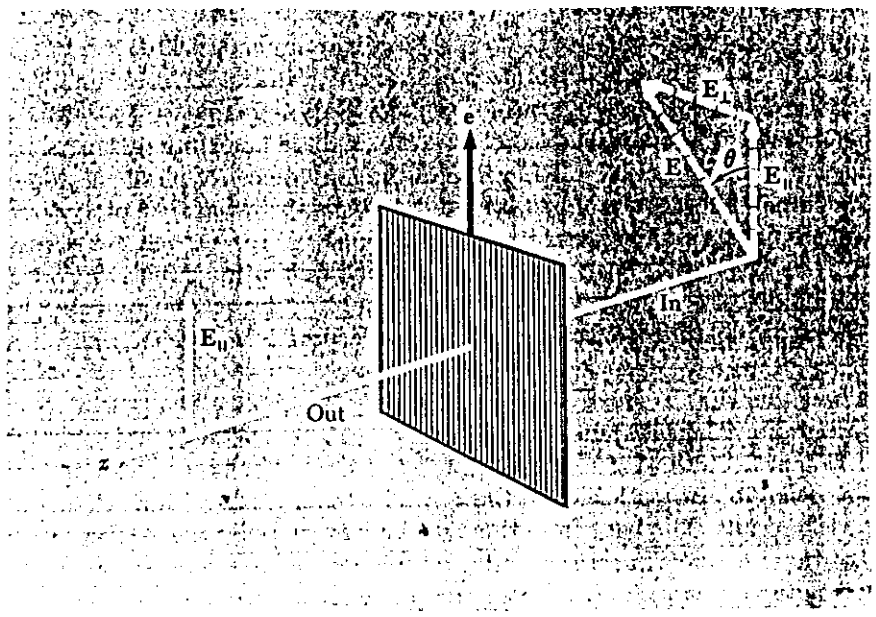
Persamaan ini dikenal dengan Hukum Malus, yang dipublikasikannya tahun 1809 (Hecht - Zajak, 1974. hal 226).

3. Polaroid

Pada tahun 1938 Edwin Herbert Land mendapatkan polaroid (Frank S. Crawford, Jr, 1968, hal 410) yang kelakuannya hampir sama dengan kissi. Polaroid terbuat dari plastik yang rantai hydrokarbonnya sebagian besar tersusun satu arah. Lembaran plastik ini dicelupkan kedalam larutan iodine. Iodine akan menempel sepanjang rantai hydrokarbon dan menghantarkan elektron yang dapat bergerak hanya sepanjang rantai saja. Bila pada polaroid didatangkan cahaya, maka komponen medan listrik sepanjang rantai hydrokarbon akan diserap, dan yang tegak lurus rantai diteruskan atau ditransmisikan. Jadi cara kerjanya hampir sama dengan kissi, dimana yang berfungsi sebagai kissi adalah rantai hydrokarbon yang tersusun searah.

Suatu lembaran polaroid memiliki sebuah sumbu mudah atau disebut juga sumbu transmisi, di mana arah sumbu mudah atau sumbu transmisi ini adalah tegak lurus pada arah susunan rantai karbon. Bila $\bar{E}$ sejajar dengan sumbu mudah, maka medan listrik tersebut akan ditransmisikan, dan apabila tegak lurus terhadap sumbu mudah (sejajar rantai karbon) maka diserap dengan kuat, sehingga tidak ada yang ditransmisikan. Proses polarisasi dengan

menggunakan polaroid ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.4
Polarisasi oleh polaroid
(Frank S Crawford, Jr 1968, hal 412)

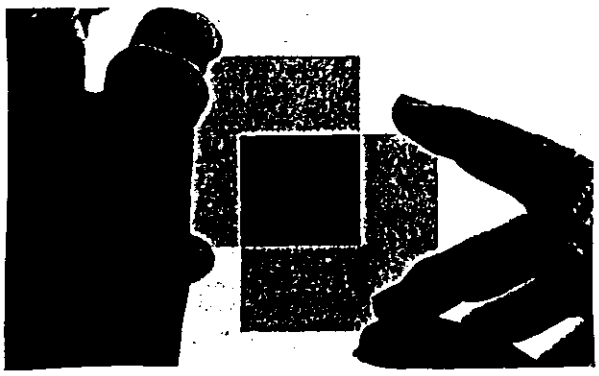
Dari gambar terlihat medan listrik yang datang adalah $\bar{E}$ yang membentuk sudut θ dengan sumbu mudah polaroid yang arahnya e. Medan listrik $\bar{E}$ memiliki komponen sejajar ($\bar{E}_{//}$) dan komponen tegak lurus ($\bar{E}_{\perp}$) diserap oleh polaroid. Menurut Hukum Malus, besarnya fluk energi yang ditransmisikan pada keadaan ini adalah:

$$I_{out} = I_{in} \cos^2 \theta = I_{in} (\hat{E}.\hat{e})^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.3)$$

dimana $\hat{E} = \bar{E} / |\bar{E}|$ yang dikenal deengan vektor satuan searah $\bar{E}$.

Dua polaroid yang dipasang saling tegak lurus sumbu mudahnya atau $\hat{e}_1$ dengan $\hat{e}_2$ membentuk sudut 90°, maka medan listrik yang ditransmisikan oleh $\hat{e}_1$ akan diserap

oleh $\hat{e}_2$, sehingga bila polaroid dilihat dari belakang, sumber cahaya akan terlihat gelap. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.5
Polaroid
(Hecht - Zajac, 1974, hal 229)

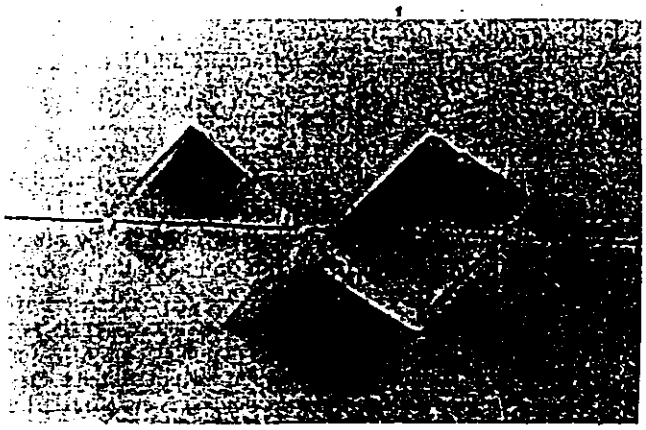
Dari gambar terlihat pada bagian belakang polaroid yang tidak berdempet, warnanya agak abu-abu sebab ada sebagian cahaya yang telah diserap. Sedangkan bagian yang dempet dengan arah sumbu mudah saling tegak lurus akan kelihatan hitam, sebab tidak ada cahaya yang ditransmisikan atau diserap seluruhnya.

C. POLARISASI OLEH BIAS KEMBAR

1. Kristal Bias Kembar

Gejala pembiasan ganda atau bias kembar terjadi pada kristal-kristal yang mempunyai sifat optik medium yang tidak isotropik, yaitu medium yang mempunyai perilaku optik yang tergantung pada arah. Sebagai contoh adalah kristal Calcit ($CaCO_3$). Bila sumbu utama

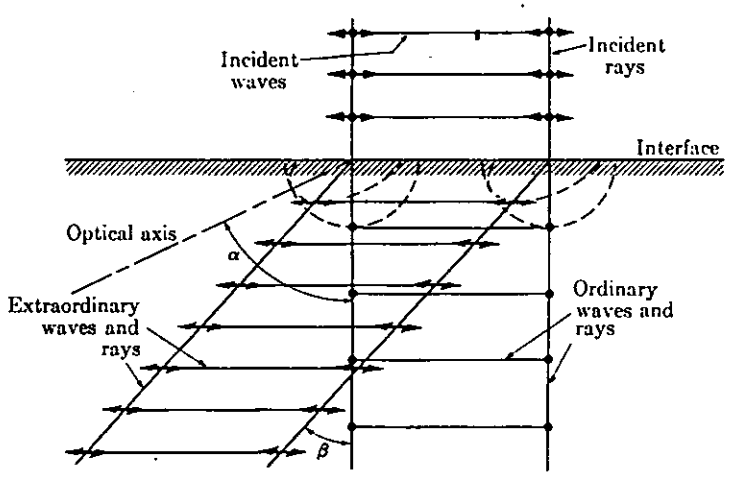
kristal searah sumbu z, maka susunan kristal yang searah z akan lain dengan arah x dan y. Akibatnya kecepatan cahaya arah z berbeda dengan x dan y, demikian juga dengan indeks biasnya pada setiap sumbu juga berbeda. Selain dari pada calcit, masih ada kristal yang bersifat bias kembar seperti Quartz. Kedua macam kristal ini bersifat alamiah. Secara sederhana sifat bias kembar ini dapat dilihai dengan mudah yaitu dengan jalan meletakkan kristal tersebut diatas kertas yang ada tulisannya. Bila kristal yang diletakkan bersifat bias kembar, maka pada kertas terlihat seolah-olah ada dua macam atau dua buah. Bila kristalnya hanya bias tunggal tulisan yang berada di bawah kristal tetap satu saja. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.6
Kristal Bias Kembar dan Bias Tunggal
(Alonso - Finn, 1967, hal 801)

Dari gambar, yang tulisannya ada 2 buah adalah calcit sedangkan yang tulisannya hanya satu saja adalah sodium clorida.

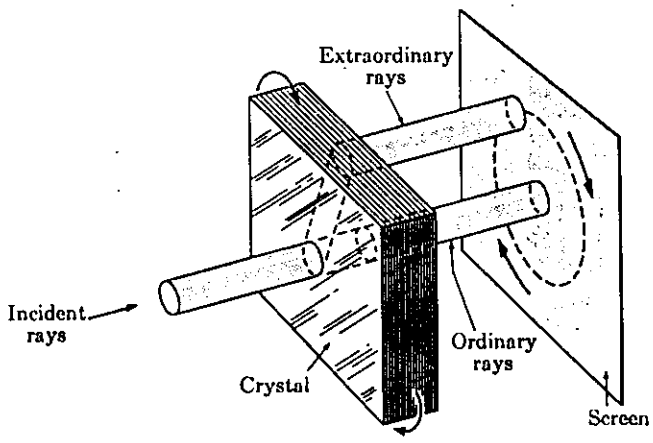
Timbulnya bayangan tulisan yang kembar pada calcit disebabkan oleh adanya dua buah indeks bias pada kristal tersebut, yaitu indeks bias ordiner (n_o) dan indeks bias ekstraordiner (n_e). Sinar ordiner mempunyai indeks bias isotropik atau indeks bias ordiner (biasa), sehingga kecepatan rambat gelombang kesegala arah adalah sama. Untuk sinar ordiner ini muka gelombangnya berupa bola dan mengikuti hukum snelius. Sedangkan sinar ekstraordiner (luar biasa) indeks biasnya juga ekstra ordinerdimana harga indeks biasnya tidak sama untuk arah yang berbeda atau dengan kata lain indeks biasnya tergantung pada arah yang dilewati cahaya. Arah gelombang ordiner dan ekstra ordiner pada calcit dapat dilihat pada gambar berikut dengan cahaya datang tegak lurus permukaan kristal uniaxial:



Gambar 4.7
Sinar Ordiner dan Ekstraordiner pada Calcit
(Alonso - Finn, 1967, hal 799)

Dari gambar terlihat sinar ordiner merambat dengan membentuk sudut α dengan sumbu optik, sedangkan sinar ekstra ordiner terpolarisasi sejajar bidang gambar dan membentuk sudut β dengan sinar ordiner.

Bila kristal bias kembar diputar maka sinar ekstra ordiner akan ikut berputar. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut, yaitu dengan menggunakan sinar datang yang sumpit:



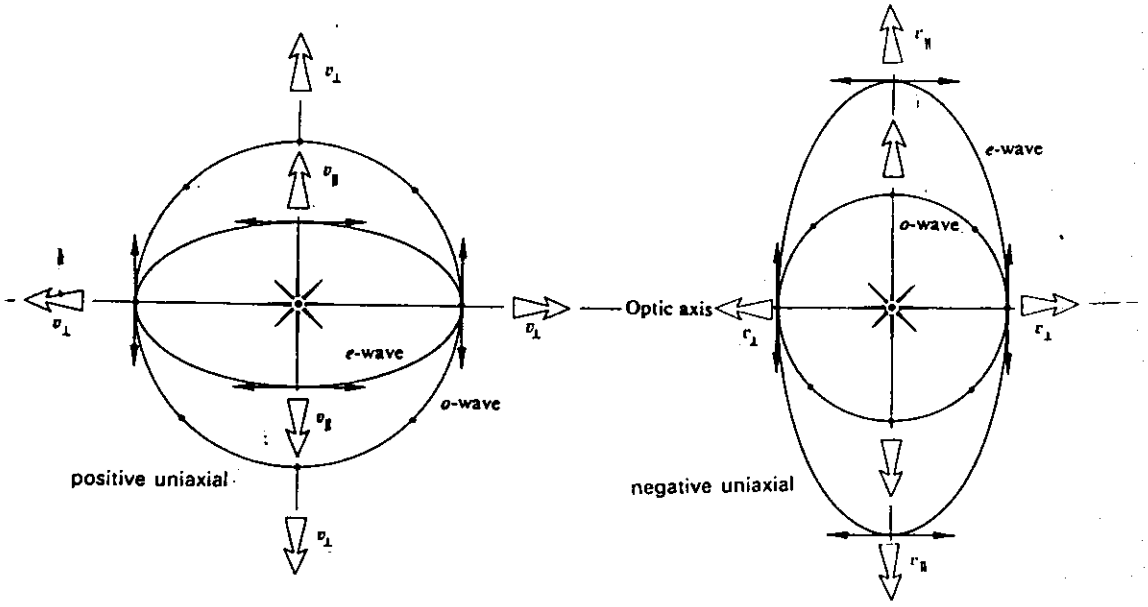
Gambar 4.8
Pemisahan sinar ordiner dan
ekstra ordiner yang sempit oleh kristal
(Alonso - Finn, 1967, hal 800)

Sinar ordiner searah dengan perambatan sinar datang, sedangkan sinar ekstra ordiner membentuk sudut dengan arah sinar ordiner dan berputar sepanjang lingkaran sesuai dengan arah panah.

Kristal bias kembar dapat dibagi atas dua kelompok yaitu kristal dengan sumbu optik tunggal (uniaxial) dan kristal dengan sumbu optik ganda (biaksial). Kristal dengan sumbu optik tunggal artinya hanya ada satu arah,

dimana indeks bias ordiner (n_o) memiliki harga yang sama dengan indeks bias ekstraordiner (n_e). Sedangkan pada kristal dengan sumbu optik ganda (kembar) berarti ada dua arah yang membentuk sudut tertentu, dan keduanya mempunyai indeks bias yang sama ($n_o = n_e$)di mana hal ini merupakan karakteristik dari kristal tersebut. Pada buku ini yang akan dibahas hanya kristal bias kembar dengan sumbu optik tunggal.

Kristal bias kembar dengan sumbu optik tunggal dapat dikelompokkan atas dua macam yaitu kristal bias kembar positif bila $n_o < n_e$ seperti yang terdapat pada quartz, sedangkan kristal bias kembar negatif mempunyai $n_o > n_e$, seperti yang dipunyai calcit. Bentuk gelombang dalam kristal dengan sumbu optik tunggal dengan bias kembar positif dan negatif dapat dilukiskan berturut-turut sebagai berikut:

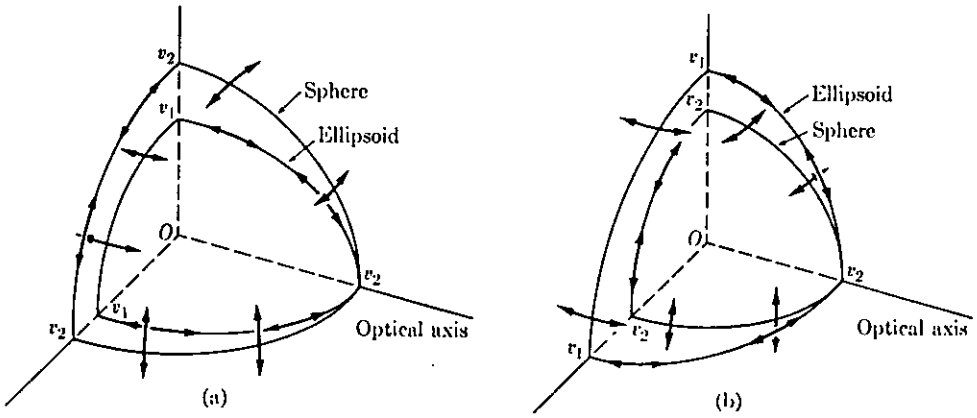


Gambar 4.9
Kristal bias kembar positif dan negatif
(Hecto - Zajac hal 236-237)

Gambar (4.9a) menyatakan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh sebuah kristal uniaxial negatif. Gelombang ordiner muka gelombangnya berbentuk bola, sedangkan gelombang ekstraordiner muka gelombangnya berbentuk elips dengan sumbu simetrinya adalah sumbu optik. Medan $\bar{E}$ untuk gelombang ordiner selalu tegak lurus terhadap sumbu optik dan bergerak dengan kecepatan v tegak lurus pada semua arah. Sedangkan untuk gelombang ekstra ordiner, memiliki kecepatan v tegak lurus ($v_{\perp}$) hanya sepanjang sumbu optik saja, pada tempat lain merupakan tangen dengan gelombang ordiner. Untuk $\bar{E}$ yang paralel atau yang sejajar dengan sumbu optik maka kecepatan yang digunakan adalah kecepatan sejajar ($v_{//}$).

Gambar (4.9b) menyatakan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh sebuah kristal uniaxial positif. Muka gelombang untuk gelombang ordiner adalah berbentuk lingkaran, sedangkan untuk ekstra ordiner berbentuk elips dengan sumbu simetrinya tetap pada sumbu optik. Kecepatan yang berlaku tetap seperti pada kristal uniaxial negatif, yaitu untuk gelombang ordiner gecepatan yang dipakai adalah sama untuk semua arah ($v_{\perp}$) dan untuk gelombang ekstra ordiner pada arah $\bar{E}_{\perp}$ terhadap sumbu optik digunakan ($v_{\perp}$), sedangkan pada arah $\bar{E}_{//}$ terhadap sumbu optik digunakan $v_{//}$ dan pada tempat yang lain merupakan harga tangensialnya. Vektor kecepatan untuk kristal uniaxial positif dan uniaxial negatif lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut (dengan persesuaian

$v_1 = v_\perp$ dan $v_2 = v_{//}$).



Gambar 4.10
Kecepatan permukaan Fresnel pada kristal uniaxial
(Alonso - Finn, 1967, hal 795)

Dari gambar 10.a (kristal positif) terlihat $v_1 = v_\perp$ terletak pada permukaan elips dengan arah sesuai dengan gambar, dan $v_2 = v_{//}$ terletak pada permukaan bola yang arahnya seperti pada gambar dan elips terletak di dalam bola. Untuk gambar 10.b elips terletak di luar bola dan v yang berlaku, sama dengan gambar 10.a.

Harga indek bias untuk gelombang ordiner dan ekstraordiner dapat dicari yaitu :

$$n_o = c / v_\perp \quad \text{.....(4.4)}$$

dan

$$n_e = c / v_{//} \quad \text{.....(4.5)}$$

di mana c adalah cepat rambat cahaya pada ruang hampa. Untuk kristal positif berlaku:

$$n_e = c / v \text{ ekstraordiner terkecil} \quad \text{.....(4.6)}$$

dan untuk kristal negatif berlaku:

$$n_e = c / v \text{ ekstraordiner terbesar} \quad \text{..... (4.7)}$$

Perbedaan n_e dan n_o ($n = n_e - n_o$) merupakan ukuran pa-

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

da bias kembar. Pada calcit ($v_{//} > v_{\perp}$) dan ($n_e - n_o$) = -0,172. Karena harga selisih n_e dengan n_o adalah negatif maka disebut kristal uniaxial negatif. Sedangkan pada quartz ($v_{//} < v_{\perp}$) dan hasil pengurangan ($n_e - n_o$) adalah positif, sehingga disebut kristal uniaxsial positif.

Pada tabel di bawah ini terdapat beberapa indek bias ordiner dan ekstra ordiner untuk calcit dan quartz, masing-masing sebagai fungsi panjang gelombang.

Tabel 4.1

Panjang	Calcite		Quartz	
gel. (A°)	n_O	n_E	n_O	n_E
2000,60	1,90302	1,57663	1,64927	1,66227
2265,03	1,81300	1,54914	1,61818	1,62992
2573,04	1,76048	1,53013	1,59622	1,60714
2748,67	1,74147	1,52267	1,58752	1,59813
3034,12	1,71956	1,51366	1,57695	1,58720
3403,65	1,70080	1,50561	1,56747	1,57738
4046,56	1,68134	1,49694	1,55716	1,56671
4340,47	1,67552	1,49428	1,55396	1,56340
4861,33	1,66785	1,49076	1,54968	1,55898
5460,72	1,66168	1,48792	1,54617	1,55535
5790,66	1,65906	1,48674	1,54467	1,55379
5892,90	1,65836	1,48641	1,54425	1,55336
6562,78	1,65438	1,48461	1,54190	1,55093
7065,20	1,65207	1,48359	1,54049	1,54947

Indeks bias ordiner dan ekstraordiner
(R. Soegeng, 1990, hal 16)

Berdasarkan uraian bias kembar yang telah dibahas di atas, maka untuk cahaya dapat dibangkitkan dua gelombang yang bidang getarnya saling tegak lurus satu sama lain yaitu dengan menggunakan kristal bias kembar. Bila kedua cahaya yang keluar dari kristal dipertemukan kembali, maka amplitudo dari keduanya sama, sebab dia berasal dari satu berkas. Sedangkan jenis polarisasi yang terjadi semata-mata ditentukan oleh beda fase dari kedua cahaya yang keluar dari kristal bias kembar tersebut. Besar sudut fase tersebut adalah:

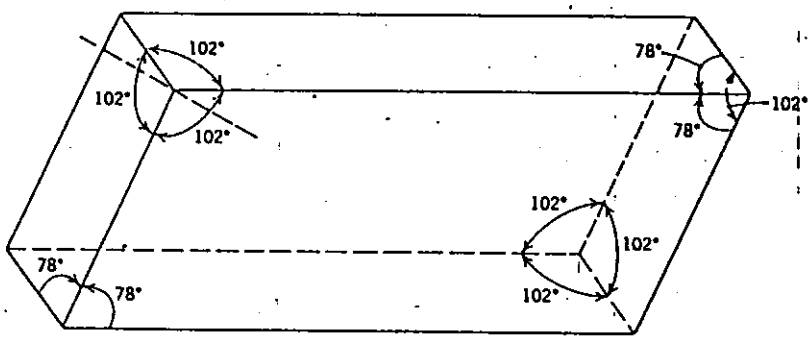
$$\phi = \{|n_e - n_o| \ (2\pi d \ / \ \lambda)\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.8)$$

di mana d adalah tebal kristal dan λ adalah panjang gelombang yang digunakan.

2. Polarizer Bias Kembar

Selanjutnya dibahas sedikit tentang polarizer yang berbentuk prisma yang terbuat dari calcit. Prisma ini lebih dikenal dengan nama prisma nikol, dan digunakan sebagai polarizer yang sangat teliti sekali.

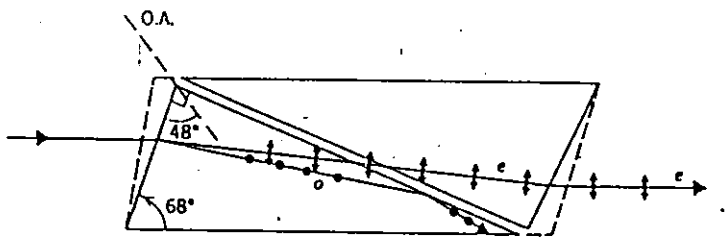
Prisma nikol terbuat dari potongan kristal calcit yang disatukan dengan menggunakan balsem canada. Sebelum sampai pada cara pembuatan prisma tersebut, terlebih dahulu dilihat kristal calcit secara alamiah seperti gambar berikut:



Gambar 4.11
Sumbu optik kristal calcit
(Klein - Furtac, 1986 hal 602)

Kristal calcit membelah secara alamiah dalam bentuk rhomb dengan sisi-sisi paralel dan bersegi. Arah dari sumbu optik adalah dari sudut tumpul ke sudut tunpul yang lain, dan besar sudut tersebut adalah 102°.

Bentuk dari prisma nikol adalah seperti berikut:

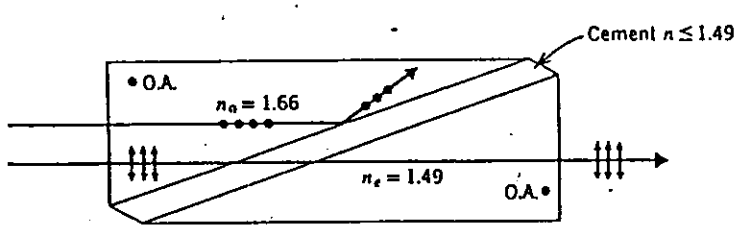


Gambar 4.12
Prisma Nicol
(Klein-Furtac, 1986, hal 603)

Cara membuat prisma Nicol tersebut adalah sebagai berikut: mula-mula kristal dibelah dari sudut dekat sumbu optik, dari potongan yang diperoleh dibuat sudut

68° seperti pada gambar di atas. Diagonal potongan membentuk sudut 90° atau tegak lurus pada sisi yang mempunyai sudut 68°. Kedua potongan kristal yang diperoleh disatukan dengan menggunakan balsem canada yang indek biasnya 1,55. Dengan demikian antara keduanya diperoleh indeks bias untuk sinar ordiner 1,658 dan indeks bias untuk sinar ekstraordiner adalah 1,486. Sinar ekstra ordiner ini bergerak sepanjang sumbu prisma. Dengan memilih sudut tertentu untuk sinar ordiner, sehingga dapat terjadi pantulan internal total pada permukaan dalam antara calcit dengan balsem. Kemudian sinar ini akan diserap oleh sisi prisma yang hitam, sehingga yang diteruskan adalah sinar ekstra ordiner saja. Hal ini dapat dilihat pada gambar (4.12) di atas.

Prisma Nicol sedikit tidak menguntungkan karena sudut relatif antara sinar ordiner dan ekstraordiner adalah kecil, sehingga kadang-kadang masih ada sinar ordiner yang ditransmisikan. Kelemahan prisma Nicol ini dapat diatasi oleh prisma Glan-Thompson. Prisma ini dapat digambarkan sebagai berikut:

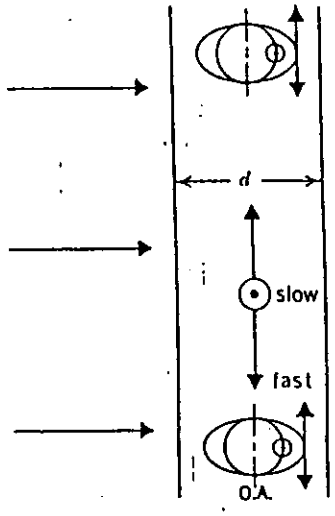


Gambar 4.13
Prisma Glan - Thompson
(Klein - Furtac , 1986 hal 603)

Prisma ini terbuat dari calcit dengan cara memotong yang berbeda. Pemotongannya adalah tegak lurus terhadap sinar datang, dan arah medan $\bar{E}$ untuk sinar ordiner dalam prisma sejajar dengan sumbu Optik. Indeks bias semen yang digunakan untuk merekat adalah 1,49, indeks bias sinar ordiner n_o = 1,66 dan n_e = 1,49. Karena indeks bias sinar ordiner lebih besar dari indeks bias yang lain, maka sinar ordiner terpantul dengan pantulan internal total, sedangkan sinar ekstraordiner diteruskan tanpa mengalami pembiasan.

3. Perubahan Fase

Karakteristik dari medium optik anisotropik dapat digunakan untuk merobah fase suatu sinar yang datang. Sebuah metoda sederhana untuk merobah fase optik adalah dengan menggunakan sebuah papan paralel yang disebut dengan compensator. Compensator ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.14
Compensator
(Klein-Furtak, 1986, hal 603)

Jika sumbu optik sejajar dengan permukaan papan dan cahaya jatuh dengan arah normal seperti gambar diatas (gambar 4.14), kedua sinar ordiner dan ekstraordiner akan bergerak kontinu dengan arah yang sama, tapi kecepatannya berbeda. Fase yang dihasilkan akan berobah untuk kedua sinar tersebut.

Perubahan fase dalam jarak d untuk sinar ordiner adalah :

$$\phi_o = (- 2\pi / \lambda) \, n_o \, d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.9)$$

dan untuk sinar ekstraordiner adalah :

$$\phi_e = (- 2\pi / \lambda) \, n_e \, d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.10)$$

Perbedaan fase antara sinar ordiner dan ekstraordiner adalah :

$$\phi = \phi_e - \phi_o$$

$$= (- 2\pi / \lambda) \, | \, n_e - n_o \, | \, d \ldots\ldots\ldots\ldots (4.11)$$

Jika $n_e > n_o$ maka $\phi < o$, akibatnya fase sinar ekstra ordiner tertinggal dari sinar ordiner. Sebaliknya bila $n_e < n_o$ maka fase sinar ekstra ordiner lebih dulu dari sinar ordiner. Untuk gambar di atas (4.14),terlihat bahwa sinar ordiner bergerak lebih lambat daripada sinar ekstra ordiner.

D. POLARISASI OLEH PLAT RETARDASI

Sekarang dibahas tentang unsur optik yang disebut retarderr (pemutar). Sifat plat ini adalah merobah arah polarisasi dari gelombang datang. Bila suatu gelombang cahaya tersebut akan diputar arah getar medan listriknya, kearah

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

yang dikehendaki oleh medium retarders tersebut. Biasanya retarders ini berupa plat sehingga disebut plat retardasi. Plat tersebut ada yang disebut plat setengah gelombang dan ada pula plat seperempat gelombang.

1. Sumbu lambat dan sumbu cepat

Ada dua arah sumbu optik yang terdapat pada plat retardasi yaitu sumbu cepat dan sumbu lambat. Demikian juga indeks biasnya yaitu indeks bias yang besar dan indeks bias yang kecil. Untuk indeks bias yang besar berarti kecepatan fasenya kecil. Cahaya yang dipengaruhi oleh indeks bias ini akan bergerak dalam sumbu lambat sehingga indeks biasnya dilambangkan dengan n_s.Sedangkan yang dipengaruhi oleh indeks bias yang kecil adalah sumbu cepat, sebab kecepatan fasenya lebih besar dan indeks biasnya dilambangkan dengan n_f. Contoh dari plat retardasi adalah selofan (plastik) atau bahan-bahan yang mempunyai sifat diatas.

Selanjutnya dilihat efek dari sebuah plat retardasi terhadap gelombang bidang dari gelombang EM yang merambat. Pertama, gelombang datang dengan komponen medan listrik orthogonalnya berada sepanjang sumbu lambat $\hat{e}_s = x$ dan sumbu cepat $\hat{e}_f = y$. Dalam vakum, plat retardasi mulai dari $z = 0$ menuju $z = \Delta z$. Osilasi medan listrik dari gelombang datang untuk $z = 0$ secara persamaan kompleks adalah:

$$\bar{E}_c\ (0,t) = e^{i\omega t}\ [\hat{i}\ A_s\ e^{i\phi_s} + \hat{j}\ A_f\ e^{i\phi_f}]\ .....(4.12)$$

A_f adalah amplitudo yang cepat dan A_s adalah amplitudo yang lambat, sedangkan ϕ_s dan ϕ_f adalah konstanta fase yang dimiliki oleh medan listrik yang datang terpolarisasi linier dengan komponen sepanjang i dan $\hat{j}$. Selanjutnya gelombang tersebut ditransmisikan oleh plat retardasi antara $z = 0$ ke Δz. Dengan merobah ωt menjadi $(\omega t - kz)$ dan k dirobah menjadi $(n\omega/c)$, (karena harus diingat k untuk $\bar{E}$ sepanjang $\hat{e}_s$ tidak sama dengan k untuk $\bar{E}$ sepanjang $\hat{e}_f$) pada persamaan (4.11), sehingga untuk plat retardasi berlaku rumus:

$$\bar{E}_c\ (z,t) = e^{i\omega t}\ \{[\hat{i}\ A_s\ exp\ (i\phi_s)\ exp\ (-in_s\omega z/c)] + [\hat{j}\ A_f\ exp\ (i\phi_f)\ exp\ (-in_f\omega z/c)]\}\ .(4.13)$$

2. Fase relatif dari plat retardasi

Saat gelombang berpindah pada plat retardasi sejauh $z = \Delta z$, setiap komponen dipengaruhi oleh suatu fase retardasi relatif. Jika dalam vakum dengan $n = 1$, maka untuk komponen s berlaku fase retardasi pada $\bar{E}_s$ relatif terhadap vakum adalah:

$$(n_s - 1)(\ \omega\ \Delta\ z\ /\ c).....(4.14)$$

dan fase retardasi pada $\bar{E}_f$ relatif terhadap vakum adalah:

$$(n_f - 1)(\omega\ \Delta z\ /\ c)\ .....(4.14)$$

Sehingga diperoleh fase retardasi relatif antara $\bar{E}_s$ dan $\bar{E}_f$ yaitu:

$$(n_s - n_f)(\omega \Delta z / c) = (n_s - n_f)(2\pi \Delta z / \lambda_o) \quad ..(4.15)$$

dimana λ_o adalah panjang gelombang dalam vakum.

3. Beberapa jenis plat retardasi

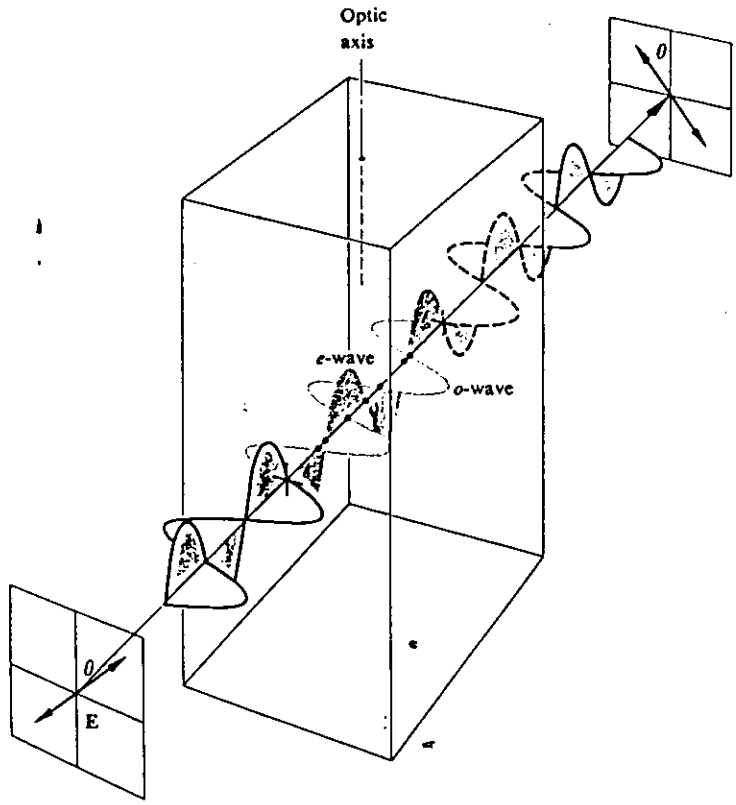
Plat retardasi ada 3 jenis yaitu plat retardasi gelombang penuh, plat retardasi setengah gelombang dan plat retardasi seperempat gelombang. Perbedaan ini disebabkan perbedaan fase relatif antara cahaya ordiner dan ekstra ordiner.

a. Plat retardasi gelombang penuh

Jika $\Delta\phi$ adalah 2π, retardasi relatifnya adalah satu gelombang penuh. Untuk ini sinar ordiner dan ekstra ordiner kembali pada keadaan fase awal dan efeknya tidak dapat dilihat pada polarisasi cahaya datang yang monocromatik. Jadi untuk retardasi relatif $\Delta\phi$ berputar 360° disebut plat retardasi gelombang penuh.

b. Plat retardasi setengah gelombang

Plat setengah gelombang, dapat memutar arah polarisasi linier sejauh 180° sehingga keluarannya merupakan pencerminan terhadap arah polarisasi masukannya. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.15
Plat setengah gelombang
(Hecht - Zajac 1974 hal 249)

Dari gambar terlihat cahaya terpolarisasi melingkar, setelah melewati plat retardasi setengah gelombang, cahaya tersebut akan berobah arah putarannya. Bila masukan adalah polarisasi melingkar putar kanan maka keluarannya berupa cahaya terpolarisasi melingkar putar kiri, atau dapat terjadi sebaliknya.

Untuk plat retardasi berlaku:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_e - \Delta\phi_o$$

$$= (-2\pi / \lambda) \; |n_e - n_o| \; d$$

Bila retardasinya setengah gelombang maka:

$$\Delta\phi = \pi$$

dengan $|n_e - n_o|\ d = \lambda / 2$

secara umum dapat ditulis:

$$\Delta\phi = (2m = 1)\ \pi \quad \text{.....(4.16)}$$

dengan

$$(n_e - n_o)\ d = (2m + 1)\ \lambda/2 \quad \text{.....(4.17)}$$

dan $m = 0, 1, 2, 3, \ldots.$

c. Plat retardasi seperempat gelombang

Plat retardasi seperempat gelombang merobanh cahaya terpolarisasi linier menjadi terpolarisasi eliptik dengan arah rotasi dari $\hat{e}_s$ menuju $\hat{e}_f$. Jika yang datang terpolarisasi linier dengan sudut 45° terhadap $\hat{e}_s$ dan $\hat{e}_f$, keluarannya adalah polarisasi melingkar. Sinyal cahaya datang terpolarisasi melingkar akan berputar dari sumbu cepat menuju sumbu lambat. Untuk plat retardasi seperempat gelombang berlaku:

$$\Delta\phi = \pi / 2 \quad \text{.....(4.18)}$$

dengan

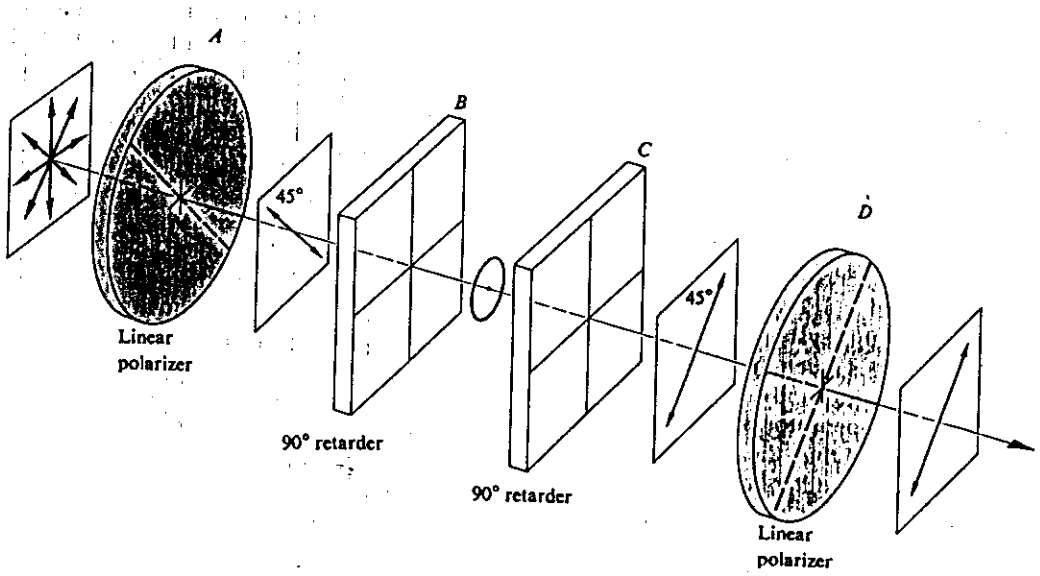
$$|n_e - n_o|\ d = (4m + 1)\ \lambda/4 \quad \text{.....(4.19)}$$

dengan $m = 0, 1, 2, 3, \ldots.$

Plat seperempat gelombang dapat dilukiskan sebagai berikut:

kanan $\psi < 0$. Sumbu elips adalah sumbu x dan y dan memiliki perbandingan yang diberikan oleh tg ψ.

Penggunaan 2 buah plat retardasi seperempat gelombang akan menghasilkan polarisasi cahaya seperti yang dikerjakan oleh plat setengan gelombang. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:

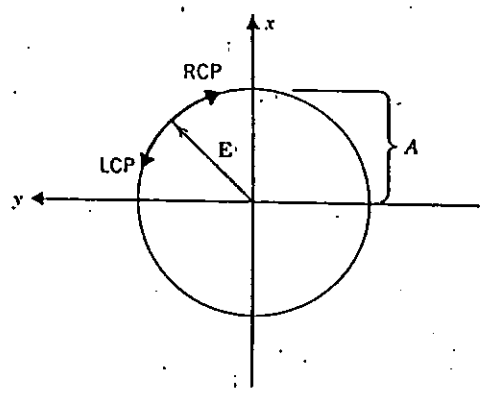


Gambar 4.17
Circular polarizer
(Hecht - Zajac, 1974 hal 252)

Jadi plat setengah gelombang dapat diganti dengan 2 buah plat seperempat gelombang yang dikenal dengan circular polarizer.

4. Compensator Babinet

Compensator adalah suatu medium optik yang dapat menggambarkan dan mengontrol perputaran sebuah gelombang. Bentuk compemsator Babinet ditunjukkan oleh



Gambar 4.16
Plat seperempat gelombang
(Klein-Furtac, 1986, hal 606)

Pada gambar, sinar datang membentuk sudut 45° dengan sumbu cepat. Ini merupakan kasus khusus untuk plat seperempat gelombang dalam membentuk gelombang terpolarisasi melingkar putar kiri (L). Untuk putar kanan sudutnya diputar arah ke kanan. Secara umum sudut dari sinar datang $\psi \neq 45°$, dengan persamaan gelombang datang (sebelum masuk retardars):

$$\bar{E}_x = \bar{A} \cos \psi \cos \omega t \quad \text{.....(4.20a)}$$

$$\bar{E}_y = \bar{A} \sin \psi \sin \omega t \quad \text{.....(4.20b)}$$

Setelah masuk retarders, cahaya yang ditransmisikan memenuhi:

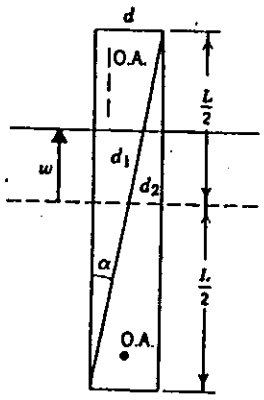
$$\bar{E}_x = \bar{A} \cos \psi \cos (\omega t - \phi') \quad \text{.....(4.21a)}$$

$$\bar{E}_y = \bar{A} \sin \psi \cos (\omega t - \phi' - \pi/2)$$

$$= \bar{A} \sin \psi \sin (\omega t - \phi') \quad \text{.....(4.21b)}$$

Untuk cahaya terpolarisasi eliptik putar kiri (L) maka $\psi > 0$ dan untuk terpolarisasi eliptik putar

gambar berikut:



Gambar 4.18
Compensator Babinet
(Klein-Furtac, 1986, hal 607)

Compensator Babinet ini terdiri dari 2 buah prisma dengan sudut $\alpha = d / L$ yang ukurannya kecil, sehingga sudut deviasi dari berkas yang keluar dapat diabaikan. Compensator tersebut terbuat dari calcit, dengan sumbu cepat terletak pada bidang gambar. Pada compensator bagian pertama, perubahan fase relatif untuk gelombang ekstra ordiner terhadap gelombang ordiner adalah:

$$\Delta\phi_1 = (2\pi / \lambda) \, |n_e - n_o| \, d_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.22)$$

Dalam compensator ke dua terjadi pembalikan fase atau perubahan fase relatifnya adalah kebalikan dari bagian compensator pertama yaitu:

$$\Delta\phi_2 = (-2\pi / \lambda) \, |n_e - n_o| \, d_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.23)$$

Perubahan fase keseluruhan adalah:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2$$

$$= (2\pi / \lambda) \; |n_e - n_o| \; (d_1 - d_2)$$

karena $d_1 - d_2 = 2d_1 - d = 2\omega d / L$

maka

$$\Delta\phi = (4\pi / \lambda L) \; |n_e - n_o| \; \omega \, d \quad \text{.....(4.24)}$$

Bila ω berharga positif, maka gelombang ekstraordiner yang terpolarisasi dalam bidang gambar akan mendahului gelombang ordiner. Sebaliknya bila ω berharga negatif, maka gelombang ekstra ordiner akan terlambat (terbelakang) dari gelombang ordiner atau dengan kata lain gelombang ordiner mendahului gelombang ekstra ordiner. Dalam pengoperasian compensator Babinet ini, agar pendefenisian ω benar, maka harus digunakan sinar datang yang sempit dengan satu warna atau satu panjang gelombang.

E. POLARISASI OLEH PANTULAN

1. Sudut Brewster

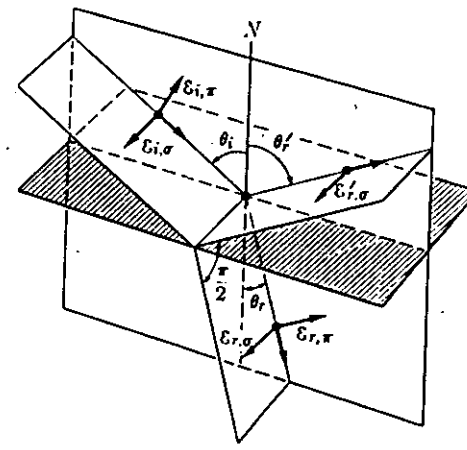
Polarisasi dapat dihasilkan oleh pantulan dengan sudut datang tertentu. Misalnya, bila sinar datang pada suatu permukaan bidang batas dengan indeks bias yang berbeda dengan medium sinar datang, dengan mengubah-ubah sudut datang maka pada arah sudut datang tertentu akan dihasilkan sinar terpolarisasi karena pantulan. Sudut datang tertentu yang menghasilkan sinar terpolarisasi akibat pantulan, disebut sudut Brewster. Saat ini polarisasi yang terjadi adalah

100% terpolarisasi linier dengan medan $\overline{E}$ sejajar bidang batas. Untuk kaca dengan indeks bias 1,5 sudut Brewster nya adalah 56°, dan untuk air dengan indeks bias 1,33 sudut Brewster nya 53°.

Hubungan antara sudut datang θ_1 dan sudut bias θ_2 memenuhi hukum Snellius yaitu:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.25)$$

Pengukuran sudut datang, sudut pantul dan sudut bias adalah terhadap garis normal dari bidang batas. Apabila sudut datang θ_1 dan sudut bias θ_2 memenuhi $\theta_1 + \theta_2 = 90°$ maka sinar biasnya akan terlihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.19
Sinar bias untuk $\theta_1 + \theta_2 = 90°$
(Alonso - Finn, 1967, hal 790)

Pada gambar terlihat arah osilasi elektron-elektron dalam kaca adalah transversal terhadap arah tranmisi cahaya. Untuk suatu sudut datang tertentu, terjadi

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

pemantulan cahaya dengan terpolarisasi linier, dimana intensitasnya berkurang, sebab ada komponen medan listriknya yang hilang. Sedangkan yang terbias cahayanya diteruskan tanpa terpolarisasi. Dari gambar 4.19 juga dapat dilihat hubungan $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$, sehingga bila digunakan $n_1 = 1$, $n_2 = n$ dan $\sin \theta_2 = \sin(90^\circ - \theta_1) = \cos \theta_1$, maka diperoleh:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_1 = n \cos \theta_1$$

sehingga:

$$n = \sin \theta_1 / \cos \theta_1$$

$$n = tg\ \theta_1 \quad \text{.....(4.26)}$$

dan θ_1 adalah sudut Brewster.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa saat sinar yang dipantulkan dan dibiaskan saling tegak lurus, pantulan cahaya yang terjadi adalah terpolarisasi total, dengan medan listrik tegak lurus pada bidang datang.

2. Fase relatif pada cahaya terpantul

Sama seperti pemantulan pada tali, bila diujung tali terjadi pantulan pada ujung tetap maka terjadi pembalikan fase. Hal ini juga terjadi pada pantulan cahaya. Bila cahaya dipantulkan oleh suatu medium yang indeks biasnya lebih besar dari pada indeks bias medium tempat sinar datang, maka terjadi pembalikan fase dari arah getar medan listrik dan medan

magnetnya. Jadi bila dilihat arah medannya adalah merupakan pencerminan. Sedangkan pada sinar bias fase relatifnya tetap.

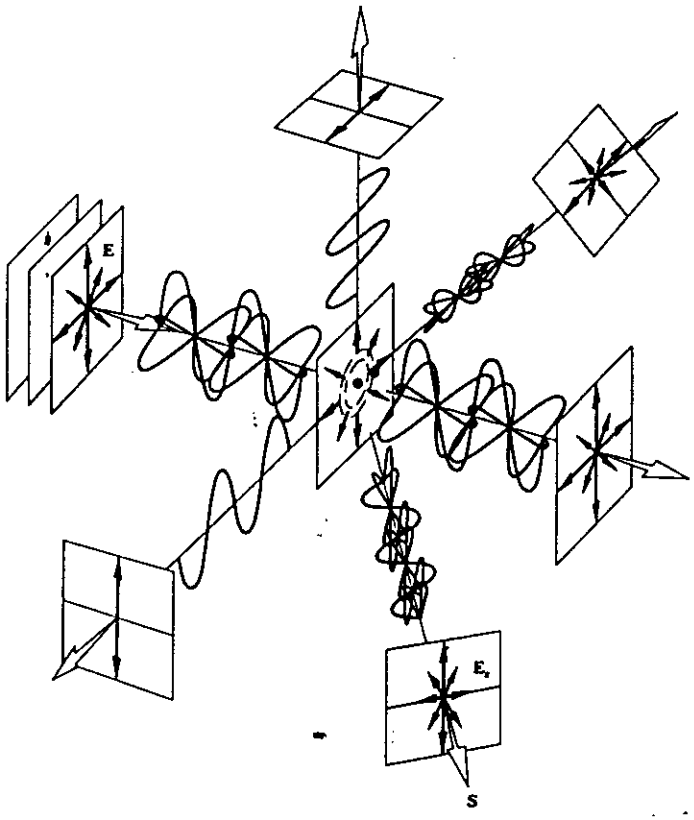
F. Polarisasi Oleh Hamburan

Polarisasi cahaya oleh peristiwa hamburan dapat terjadi di udara, di air dan pada benda-benda lain. Fenomenanya dapat berupa langit berwarna biru, laut berwarna biru dan terjadinya pelangi.

Bila cahaya mengenai molekul-molekul gas di udara, cahaya yang mengemai sasaran tersebut akan terhambur. Sasaran menerima energi dari cahaya, kemudian melepaskannya kembali dengan terdistribusi pada arah tertentu. Hal lain yang terjadi adalah resonansi dipol listrik antara molekul dengan cahaya datang. Dipol listrik yang bergetar saat beresonansi akan memancarkan tenaga radiasi dengan arah getar dipolnya searah komponen $\bar{E}$ dari cahaya datang. Tenaga radiasi dipol juga berupa radiasi cahaya dengan tenaga yang lebih rendah dan intensitasnya berfariasi terhadap sudut. Intensitas terbesar adalah yang tegak lurus medan listrik atau yang searah dengan cahaya datang. Makin besar sudut hambur, makin rendah intensitas sinar hamburnya. Cahaya yang terhambur terpolarisasi dengan energi tertentu, sehingga bila yang datang berupa sinar putih, maka yang terhambur dengan terpolarisasi mungkin saja hanya satu warna . Contohnya

adalah yang terjadi pada molekul udara sehingga langit kelihatan biru.

Peristiwa polarisasi oleh hamburan dapat juga terjadi pada cahaya datang yang tidak terpolarisasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.20
Hamburan cahaya tidak terpolarisasi
oleh molekul
(Hecht - Zajak, 1974, hal 243)

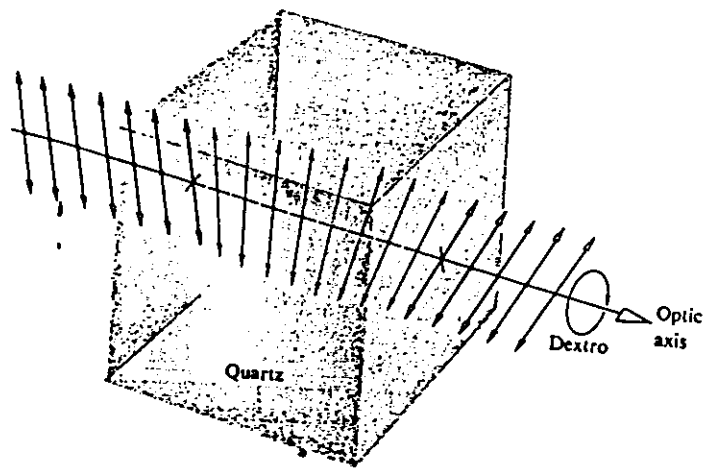
Dari gambar terlihat bahwa setelah terjadi hamburan oleh suatu benda atau molekul,barulah diperoleh cahaya yang terpolarisasi.

Ukuran molekul yang menjadi sasaran cahaya ikut mempengaruhi arah getar dipol listrik yang terhambur. Bila ukuran molekul relatif besar, maka arah getar

dipol listriknya lebih dari satu. Sehingga bila molekul tersebut dikenai oleh cahaya maka cahaya tersebut terhambur kesegala arah. Warna yang dihasilkannyapun bermacam-macam, sebagai contoh adalah hamburan cahaya oleh molekul air di udara yang berupa pelangi.

G. Aktifitas optik

Pada tahun 1811 seorang fisikawan Prancis F.J. Arago pertama kali mengobservasi fenomena aktivitas optik (Hecht - Zajac, 1974, hal 255). Dia menemukan bahwa bidang getar dari sebuah sinar linier bergerak mengikuti suatu putaran tertentu secara kontinu bila dilewatkan sepanjang sumbu optik quartz, yang terlihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.21
Aktifitas optik oleh quartz
(Hecht - Zajac, 1974, hal 255)

Pada gambar terlihat arah polarisasi cahaya diputar oleh quarstz karena quarstz bersifat optik aktif.

Efek yang sama juga diamati oleh Jean Baptiste Biot (1774 - 1862) saat suatu sinar dilewatkan pada larutan terpentin. Zat yang dapat memutar arah bidang getar medan $\bar{E}$ dari suatu gelombang datang yang melewatinya disebut dengan optik aktif. Arah putar dari bidang getar medan listrik $\bar{E}$ dapat berarah ke kanan (searah perputaran jarum jam) dan dapat juga ke kiri (berlawanan arah dengan arah perputaran jarum jam). Arah putar medan $\bar{E}$ ke kanan disebut dengan dextrorotatori atau *d*-rotatori (dextro = kanan) dan arah putar medan $\bar{E}$ ke kiri disebut levorotatori atau *l*-rotatori (levo = kiri). Putar kanan dan putar kiri ini dapat dilakukan oleh suatu jenis kristal dengan struktur yang berbeda. Selain di dalam kristal, aktivitas optik juga terdapat dalam gas dan zat cair. Beberapa jenis zat yang bersifat optik aktif adalah benzil (Na Br O_3), sirup, air gula, terpentin, quartz, rubidium tetrat dan lain-lain.

Gambaran logika dari aktifitas optik dikemukakan oleh Fresnel pada tahun 1825, yaitu gelombang datang linier dapat dihasilkan oleh superposisi dari cahaya terpolarisasi melingkar keadaan *R* (putar kanan) dan keadaan *L* (putar kiri) yang mempunyai kecepatan berbeda (Hecht - Zajac, 1974, hal 256). Dengan kata lain indek biasnya juga berbeda yaitu n_R dan n_L.

Cahaya itu berupa cahaya monochromatik dengan arah penjalaran sepanjang sumbu z, dengan persamaan gelombang:

$$\bar{E}_R = (\bar{E}_o/2)\ [\hat{i}\ \cos\ (k_R\ z - \omega\ t)] + [\hat{j}\ \sin\ (k_R\ z - \omega\ t)] \quad \ldots\ldots\ldots(4.27a)$$

$$\bar{E}_L = (\bar{E}_o/2)\ [\hat{i}\ \cos\ (k_L\ z - \omega\ t)] + [\hat{j}\ \sin\ (k_L\ z - \omega\ t)] \quad \ldots\ldots\ldots(4.27b)$$

dimana ω konstan, $k_R = k_o n_R$ dan $k_L = k_o n_L$.

Resultan dari gelombang di atas adalah:

$$\bar{E} = \bar{E}_R + \bar{E}_L \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.28)$$

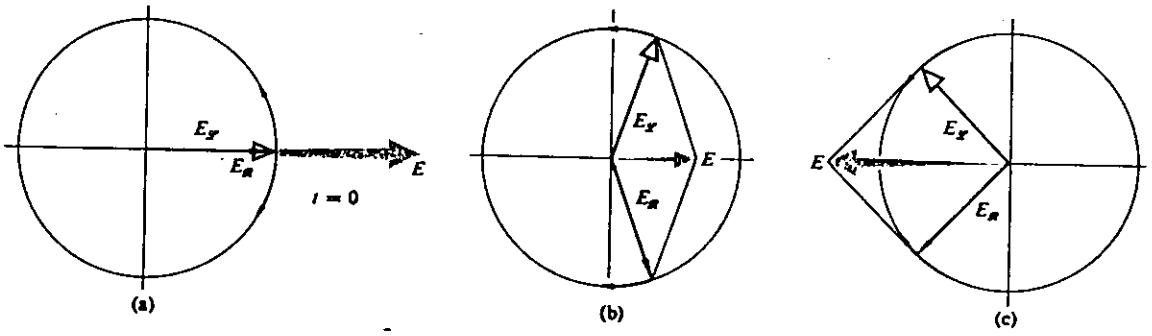
dengan manipulasi trigonometri diperoleh:

$$\bar{E} = \bar{E}\ \cos\ [(k_R + k_L)\ z/2 - \omega\ t]\ \{\hat{i}\ \cos\ [(k_R - k_L)\ z/2] + \hat{j}\ \sin\ (k_R - k_L)\ z/2\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.29)$$

Untuk posisi $z = 0$, gelombang ini terpolarisasi linier sepanjang sumbu x dengan persamaan:

$$\bar{E} = \bar{E}_o\ \hat{i}\ \cos\ \omega\ t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.30)$$

Superposisi dari keadaan R dan L untuk $z = 0$, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.22
Superposisi dari keadaan R dan L untuk $z = 0$
(Hecht - Zajac, 1974, hal 256)

Bila $n_R > n_L$ atau $k_R > k_L$ maka medan $\bar{E}$ berotasi berlawanan dengan arah perputaran jarum jam, dan jika $n_R < n_L$ atau $k_R < k_L$ maka rotasinya searah perputaran jarum jam. Kedudukan medan $\bar{E}$ pada titik z tertentu, akan membuat sudut:

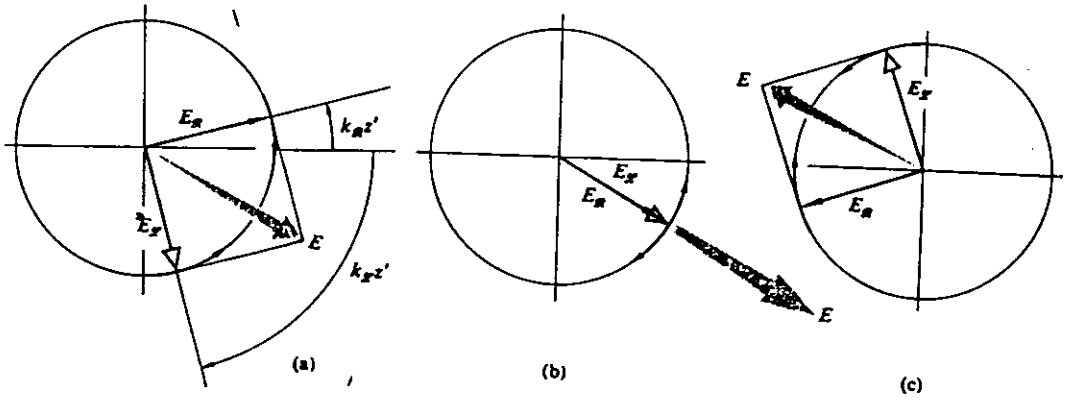
$$\beta = -(k_R - k_L)\, z/2 \quad \text{.....(4.31)}$$

Di mana β ini akan menentukan orientasi dari medan listrik tersebut.

Bila medium mempunyai ketebalan d, maka sudut yang dibentuk oleh rotasi bidang getar adalah:

$$\beta = (\pi\, d\, /\, \lambda_o)(n_L - n_R) \quad \text{.....(4.32)}$$

Dimana untuk $n_L > n_R$ adalah d-rotatori (putar kanan) dan $n_L < n_R$ adalah l-rotatori (putar kiri). Hal ini dapat digambarkan berupa superposisi keadaan R dan L pada $z = d$, seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.23
Superposisi dari keadaan R dan L untuk $z = d$
($k_L > k_R$, $n_R > n_L$, $\lambda_L < \lambda_R$, dan $v_L < v_R$)
(Hecht - Zajac, 1974, hal 257)

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Medium optik aktif memiliki kekuatan putar spesifik, dimana untuk zat yang berbeda harganya juga berbeda. Kekuatan putar ini merupakan fungsi λ, untuk λ berbeda β/d juga berbeda. Untuk jarak tempuh tertentu dalam medium maka sudut putar bidang getarnya juga tertentu. Sebagai contoh, bila cahaya kuning dari atom natrium dilewatkan pada quartz, maka kekuatan putar spesifiknya β/d adalah $21,7^{\circ}$/mm. Cahaya ini bergerak sepanjang sumbu optik dengan $|n_L - n_R| = 7,1 \cdot 10^{-5}$. Untuk sinabar (Hg S) kekuatan putarnya $32,5^{\circ}$/mm dan zat ini menghasilkan bias kembar dengan $n_o = 2,854$ dan $n_e = 3,201$. Untuk $NaClO_3$ kekuatan putarnya $3,1^{\circ}$/mm dan ini tidak birefingent (bias kembar).

Untuk larutan, kekuatan putar ini relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan kristal, dan biasanya pengukuran kekuatan putar spesifiknya β/d diukur untuk setiap 10 cm. Sebagai contoh adalah larutan terpentin ($C_{10}H_6$) kekuatan putarnya -37°/10cm (putar kiri) untuk $\lambda = 5893$ Å. Kekuatan putar ini akan berobah jika konsentrasi larutannya berobah. Untuk sirup corn, β/d adalah $+30^{\circ}$/inci (putar kanan). Selain dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, kekuatan putar juga ditentukan oleh warna cahaya yang datang. Jadi untuk larutan yang sama, bila warna cahaya yang datang berbeda maka kekuatan putarnya juga berbeda.

Untuk larutan optik aktif, perlu diketahui

konsentrasi larutannya. Alat untuk menentukan konsentrasi larutan optik aktif ini disebut dengan polarimeter (Soetarmo, 1981, hal 119). Dasar kerjanya adalah sifat polarisasi cahaya. Pada polarimeter terpasang 2 buah bahan polaroid yang dilengkapi skala. Polaroid yang langsung berhadapan dengan sumber cahaya disebut polarisator dan yang dekat mata disebut dengan analisator. Saat dibelakang analisator kelihatan gelap, maka sudut yang ditunjukkannya disebut ϕ_1. Diantara analisator dan polarisator diletakkan larutan yang akan diukur konsentrasinya. Pada keadaan awal, dibelakang analisator kelihatan gelap (sebelum dipasang larutan optik aktif). Setelah diletakkan zat optik aktif, maka dibelakang analisator tidak lagi gelap, karena cahaya telah berotasi arah getarnya. Untuk mendapatkan gelap kembali, maka analisator harus diputar sehingga membentuk sudut ϕ_2. Jadi selisih sudutnya $|\phi_2 - \phi_1|$, adalah menunjukkan besar putaran bidang getar. Bila yang digunakan gula, maka diperoleh harga $|\phi_2 - \phi_1|$ untuk d = 10cm. Harga ini akan berbeda untuk λ yang berbeda.

Dari percobaan diperoleh bahwa besar sudut putaran ditentukan oleh:

1. berbanding lurus dengan panjang larutan
2. berbanding lurus dengan konsentrasi larutan
3. tergantung pada λ yang digunakan.

Sehingga diperoleh persamaan:

$$|\phi_2 - \phi_1| = c\ d\ \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.33)$$

dengan :

c = konsentrasi larutan

d = panjang larutan optik aktif yang dilewati cahaya

α = sudut putar jenis larutan

$|\phi_2 - \phi_1|$ = besar sudut putaran bidang getar yang diukur.

Perlu diketahui di sini, bahwa harga α adalah untuk larutan yang konsentrasinya 100%. Khusus untuk gula, satuan panjangnya adalah 10cm.

BAB V

DESKRIPSI MATEMATIKA DARI POLARISASI

Sejauh ini polarisasi telah dibahas dengan menggunakan komponen medan listrik dari gelombang elektromagnetik. Secara umum yang dibicarakan adalah mengenai polarisasi eliptik dari cahaya dan keadaan khususnya adalah polarisasi linier dan lingkaran. Pembahasan lebih dititik beratkan pada penjalaran gelombang dengan berbagai bentuk persamaan. Namun hal ini dirasa kurang praktis untuk menggambarkan keadaan polarisasi yang merupakan sistim yang kompleks. Untuk itu dicarilah suatu alternatif lain yang dapat mendeskripsikan keadaan polarisasi ini yaitu dengan menggunakan matematika yang berupa matriks dengan berbagai manipulasi sederhana.

A. PARAMETER STOKES

Representasi modern tentang cahaya terpolarisasi didapatkan tahun 1852 oleh G.G.Stokes (Hecht - Zajac, 1974 hal 266). Dia menggunakan 4 kuantitas dengan beberapa fungsi yang menerangkan tentang gelombang elektromagnetik, yang sekarang dikenal dengan parameter Stokes. Keadaan polarisasi dari cahaya baik secara total atau sebagian, dapat digambarkan dengan besaran ini.

Pertama marilah dilihat defenisi operasional parameternya, dan hubungannya dengan teori gelombang EM. Bayangkanlah satu set filter yang terdiri dari 4 buah filter, yang diletakkan dibawah penerangan alamiah. Bila cahaya

melewati keempat filter ini maka separoh dari intensitas cahaya tersebut ditransmisikan sedangkan yang separoh lagi diserap. Misalkan filter pertama adalah isotropik sederhana yang melewatkan semua keadaan persamaan gelombang cahaya. Sementara filter kedua dan ketiga adalah polarizer linier yang melewatkan (meneruskan) cahaya pada sumbu transmisi. Filter kedua sumbu transmisinya horizontal dan filter ketiga sumbu transmisinya dipasang membentuk sudut $+45^{\circ}$ (diagonal sepanjang kuadran pertama dan ketiga). Filter terakhir (keempat) adalah polarizer cirkular (melingkar) dengan keadaan L (putar kiri). Setiap filter memiliki keadaan sendiri-sendiri saat dilewati cahaya dan intensitas yang ditransmisikan adalah I_o, I_1, I_2, dan I_3. Defenisi operasional dari parameter Stokes untuk keempat intensitas di atas adalah:

$$\bar{S}_o = 2\ I_o \quad \text{.....(5.1a)}$$

$$\bar{S}_1 = 2\ I_1 - 2\ I_o \quad \text{.....(5.1b)}$$

$$\bar{S}_2 = 2\ I_2 - 2\ I_o \quad \text{.....(5.1c)}$$

$$\bar{S}_3 = 2\ I_3 - 2\ I_o \quad \text{.....(5.1d)}$$

$\bar{S}_o$ adalah pancaran sinar datang yang dilewatkan semuanya oleh filter pertama. Sedangkan $\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$, dan $\bar{S}_3$ adalah keadaan spesifik dari polarisasi yang dihasilken oleh filter ke 2,3 dan 4.

$\bar{S}_1$ cendrung menghasilkan polarisasi bidang atau keadaan P. Bila $\bar{S}_1 > 0$, maka cahaya akan terpolarisasi bidang dengan arah horizontal dan jika $\bar{S}_1 < 0$ maka cahaya terpolarisasi bidang dengan arah vertikel. Untuk $\bar{S}_1 = 0$,

ini berarti cahaya dari filter pertama tidak terpolarisasi atau tidak memiliki orientasi yang jelas. Saat ini mungkin saja cahaya tersebut berbentuk eliptikal $\pm$ 45°, melingkar atau tidak terpolarisasi sama sekali.

$\bar{S}_2$ memiliki kecendrungan menghasilkan polarisasi bidang atau keadaan P dengan arah orientasi + 45° dan −45°. Untuk $\bar{S}_2 > 0$, orientasinya adalah + 45°, dan untuk $\bar{S}_2 < 0$ orientasinya adalah −45°. Sedangkan untuk $\bar{S}_2 = 0$, berarti cahaya tidak terpolarisasi.

Sama dengan yang sebelumnya, $\bar{S}_3$ memiliki kecendrungan menghasilkan polarisasi melingkar. Bila $\bar{S}_3 > 0$, maka dihasilkan polarisasi melingkar putar kanan, sedangkan untuk $\bar{S}_3 < 0$, berarti polarisasi melingkar putar kiri. Dan untuk $\bar{S}_3 = 0$ adalah cahaya tidak terpolarisasi.

Selanjutnya cahaya yang masuk pada filter menurut sumbu x dan sumbu y, diekspresikan untuk cahaya monokromatik dengan medan listrik:

$$\bar{E}_x(t) = \hat{i}\,\bar{E}_{ox}(t)\cos[(kz - \omega t) + \phi_x(t)] \quad \text{....(5.2a)}$$

dan

$$\bar{E}_y(t) = \hat{j}\,\bar{E}_{oy}(t)\cos[(kz - \omega t) + \phi_y(t)] \quad \text{....(5.2b)}$$

Bila disuperposisikan maka diperoleh:

$$\bar{E}(t) = \bar{E}_x(t) + \bar{E}_y(t) \quad \text{.....(5.3)}$$

Dari persamaan (5.2a) terlihat $\bar{E}_x$ bergetar searah $\hat{i}$ dan penjalarannya searah z. Demikian juga $\bar{E}_y$ penjalarannya searah z dan getarannya searah $\hat{j}$. Hasil superposisinya menjalar sepanjang z dan getarannya merupakan gabungan antara $\bar{E}_x$ dan $\bar{E}_y$.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Dengan melakukan sedikit manipulasi matematika dan menggunakan ketentuan bahwa intensitas (I) adalah sebanding dengan kuadrat amplitudo, maka diperoleh:

$$\bar{S}_o = \langle E_{ox}^2 \rangle + \langle E_{oy}^2 \rangle \quad \text{.....(5.4a)}$$

$$\bar{S}_1 = \langle E_{ox}^2 \rangle - \langle E_{oy}^2 \rangle \quad \text{.....(5.4b)}$$

$$\bar{S}_2 = \langle 2\, E_{ox}\, E_{oy} \cos \phi \rangle \quad \text{.....(5.4c)}$$

$$\bar{S}_3 = \langle 2\, E_{ox}\, E_{oy} \sin \phi \rangle \quad \text{.....(5.4d)}$$

di sini berlaku $\phi = \phi_y - \phi_x$.

Untuk $\bar{S}_o$, akan dihasilkan sinar tidak terpolarisasi apabila harga $\langle E_{ox}^2 \rangle = \langle E_{oy}^2 \rangle$. Tapi harus diingat bahwa harga $\bar{S}_o$ tidak pernah nol sebab harga rata-rata dari kuadrat amplitudo selalu positif. Namun untuk $\bar{S}$ yang lain yaitu $\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$ dan $\bar{S}_3$ dapat berharga nol. Jika $\langle E_{ox}^2 \rangle = \langle E_{oy}^2 \rangle$ maka $\bar{S}_1 = 0$, dan untuk harga rata-rata $\cos \phi$ dan $\sin \phi$ adalah nol, maka $\bar{S}_2$ dan $\bar{S}_3$ akan berharga nol.

Selanjutnya parameter Stokes dapat digunakan untuk memperlihatkan keadaan yang terjadi pada keempat filter yang ada yaitu dengan menggunakan bilangan biner 0 dan 1 (1 berarti berfunfsi dan 0 tidak berfungsi). Untuk cahaya alami, representasi yang dinormalkan untuk ($\bar{S}_o$, $\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$, $\bar{S}_3$) adalah (1, 0, 0, 0). Ini berarti cahaya telah melewati filter pertama seluruhnya, sebab perlu diingat bahwa filter pertama akan melewatkan seluruh cahaya yang datang padanya tanpa mengalami perubahan karena filter tersebut isotropik, dan filter yang lain tidak berfungsi.

Bila cahaya terpolarisasi bidang dengan arah horizontal, maka yang berfungsi adalah filter pertama dan kedua

dengan parameternya (1, 1, 0, 0). Sedangkan polarisasi bidang dengan arah vertikal adalah (1, -1, 0, 0) yang berarti $\bar{S}_1 < 0$.

Untuk polarisasi bidang dengan membentuk sudut 45°, maka yang berfungsi adalah filter pertama dan ketiga. Hal ini ditunjukkan oleh parameter (1, 0, 1, 0). Dan untuk polarisasi bidang dengan membentuk sudut -45°, diberikan oleh parameter (1, 0, -1, 0). Perobahan hanya terjadi pada posisi filter ketiga yaitu miring ke kanan dan kemudian miring ke kiri.

Untuk polarisasi melingkar putar kanan diberikan oleh parameter (1, 0, 0, 1) dan polarisasi melingkar putar kiri adalah (1, 0, 0, -1). Disini yang berfungsi hanya filter pertama dan keempat. Dari uraian di atas tampak bahwa penggunaan parameter Stokes memang lebih praktis dari pada menggunakan persamaan gelombang EM dengan berbagai kondisi polarisasi.

Dengan menggunakan satu set parameter Stokes yang menggunakan vektor (besar dan arah), dapat dilihat keadaan polarisasi yang dialami oleh cahaya yang melewati filter yang disediakan. Vektor di atas bukan berarti tiga dimensi, tapi ini merupakan suatu cara yang lebih mudah dalam menyatakan keadaan fisis dari gelombang terpolarisasi secara matematis. Selanjutnya parameter Stokes ($\bar{S}_0$, $\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$, $\bar{S}_3$) dapat dirubah kedalam bentuk lain yang disebut dengan vektor kolom yaitu:

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} \bar{S}_0 \\ \bar{S}_1 \\ \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5.5)$$

B. VEKTOR JONES

Selain dengan parameter Stokes, masih ada cara lain untuk merepresentasikan cahaya terpolarisasi yaitu dengan menggunakan vektor Jones yang dikembangkan oleh R. Clark Jones seorang Fisikawan Amerika pada tahun 1941 (Hecht - Zajac, 1974, hal 268). Tehnik yang digunakannya lebih menguntungkan sebab diaplikasikan pada sumber cahaya koheren dan penekanannya pada gelombang terpolarisasi total. Vektor Jones langsung menggunakan medan listrik dalam bentuk vektor kolom yaitu:

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} \bar{E}_x \ (t) \\ \bar{E}_y \ (t) \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5.6)$$

dimana $\bar{E}_x(t)$ dan $\bar{E}_y(t)$ adalah komponen skalar dari $\bar{E}$, dan $\bar{E}$ adalah gelombang yang berada dalam keadaan polarisasi. Karena penekanannya adalah pada gelombang koheren maka informasi yang langsung terlihat adalah fase dari gelombang yang digunakan. Sehingga persamaan (5.6) dapat dirobah menjadi:

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} E_{ox} \ e^{i\phi_x} \\ E_{oy} \ e^{i\phi_y} \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5.7)$$

dimana ϕ_x dan ϕ_y adalah fase pada masing-masing komponen gelombang yang sesuai dengan sumbu x dan sumbu y. Untuk keadaan polarisasi bidang dengan arah horizontal diberikan oleh:

$$\bar{E}_h = \begin{bmatrix} E_{ox}\, e^{i\phi_x} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.8)}$$

sedangkan untuk polarisasi bidang pada arah vertikal diperoleh:

$$\bar{E}_v = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{oy}\, e^{i\phi_y} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.9)}$$

Tampak disini (persamaan 5.8 dan 5.9) bahwa komponen yang muncul adalah yang sesuai dengan keadaan polarisasinya. Jumlah dari 2 sumber koheren, dapat dilakukan seperti pada parameter Stokes, yaitu dengan menjumlahkan komponen $\bar{E}_x$ dan $\bar{E}_y$ yaitu $\bar{E} = \bar{E}_h + \bar{E}_v$ ($\bar{E}_h$ adalah $\bar{E}$ horizontal, $\bar{E}_v$ adalah $\bar{E}$ vertikal). Bila pada contoh diambil $E_{ox} = E_{oy}$ dan $\phi_x = \phi_y$, maka $\bar{E}$ diberikan oleh:

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} E_{ox}\, e^{i\phi_x} \\ E_{oy}\, e^{i\phi_y} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.10)}$$

atau bila difaktorkan menjadi:

$$\bar{E} = E_{ox}\, e^{i\phi_x} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.11)}$$

Persamaan ini menyatakan cahaya terpolarisasi bidang dengan sudut 45°. Pada keadaan ini amplitudo adalah sama dan beda fasenya adalah nol. Pada keadaan lain sering ditemukan bahwa amplitudo dan fase tidak dapat diketahui dengan pasti. Untuk itu perlu adanya normalisasi dari unit-unit yang dipancarkan. Caranya adalah dengan membagi kedua elemen vektor dengan kuantitas skalar yang sama, sehingga jumlah dari kuadrat komponennya adalah satu. Sebagai contoh adalah persamaan (5.11) dibagi dengan $\sqrt{2}\ E_{ox}\ e^{i\phi_x}$ sehingga diperoleh:

$$\bar{E}_{45^\circ} = \frac{E_{ox}\ e^{i\phi_x}}{\sqrt{2}\ E_{ox}\ e^{i\phi_x}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E_{45^\circ} = 1 / \sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.12)}$$

Dengan cara yang sama persamaan (5.8) dan (5.9) dapat dinormalisasi menjadi:

$$\bar{E}_h = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad \bar{E}_v = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.13)}$$

Apabila digunakan $E_{ox} = E_{oy}$ maka diperoleh cahaya terpolarisasi melingkar. Untuk polarisasi melingkar putar kanan, maka komponen y mendahului komponen x dengan sudut 90°. Untuk itu digunakan $(kz - \omega t)$ yang berbada fase dengan ϕ_y sebesar kelipatan ganjil dari $-\pi/2$, sehingga diperoleh:

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

$$\bar{E}_R = \begin{bmatrix} E_{ox}\, e^{i\phi_x} \\ E_{ox}\, e^{i(\phi_x - \pi/2)} \end{bmatrix}$$

dengan membagi setiap komponennya dengan $E_{ox}\ e^{i\phi_x}$ diperoleh:

$$\bar{E}_R = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-i\pi/2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.14)}$$

Selanjutnya dengan menggunakan normalisasi vektor Jones diperoleh untuk polarisasi melingkar putar kanan yaitu:

$$\bar{E}_R = 1/\sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.15)}$$

Dengan cara yang sama diperoleh untuk polarisasi melingkar putar kiri yaitu:

$$\bar{E}_L = 1/\sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.16)}$$

Bila E_L dijumlahkan dengan E_R diperoleh:

$$\bar{E} = \bar{E}_R + \bar{E}_L$$

$$= 1/\sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 + 1 \\ -i + i \end{bmatrix}$$

$$\bar{E} = 2/\sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.17)}$$

Hasil superposisi ini adalah polarisasi bidang (keadaan P)

dengan arah horizontal (sumbu x) dengan amplitudo 2 kali semula dan komponen lain tidak ada.

Untuk keadaan cahaya terpolarisasi eliptik digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh $\bar{E}_R$ dan $\bar{E}_L$, dimana pada keadaan ini E_{ox} dan $\bar{E}_{oy}$ tidak memiliki harga yang sama dan beda fasenya juga tidak 90°. Untuk merobah keadaan terpolarisasi melingkar menjadi terpolarisasi eliptik, baik yang horizontal maupun yang vertikal, satu-satunya jalan adalah mengalikan setiap komponen dengan satu besaran skalar, sehingga diperoleh untuk cahaya terpolarisasi eliptik arah horizontal putar kanan adalah:

$$\bar{E} = 1/\sqrt{5} \begin{bmatrix} 2 \\ i \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.18)}$$

Untuk terpolarisasi eliptik horizontal putar kiri adalah:

$$\bar{E} = 1/\sqrt{5} \begin{bmatrix} 2 \\ -i \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.19)}$$

Dua buah vektor $\bar{A}$ dan $\bar{B}$ adalah orthogonal jika $\bar{A}.\bar{B} = 0$. Bila dinyatakan dalam bentuk fektor kompleks maka keadaan orthogonal dipenuhi bila $\bar{A}.\bar{B}^* = 0$. Keadaan polarisasi akan orthogonal bila vektor Jones nya orthogonal. Sebagai contoh:

$$\bar{E}_R \cdot \bar{E}_L = 1/2\ [(1)\ (1)^* + (-i)\ (i)] = 0 \quad \text{.....(5.20)}$$

atau

$$\bar{E}_h \cdot \bar{E}_v = [(1)(0)^* + (0)(1)^*] = 0 \quad \text{.....(5.21)}$$

Untuk keadaan orthogonal berlaku hubungan:

$$\bar{E}_R \cdot \bar{E}_R^* = \bar{E}_L \cdot \bar{E}_L^* = 1 \quad \text{.....(5.22)}$$

dan

$$\bar{E}_R \cdot \bar{E}_L^* = \bar{E}_L \cdot \bar{E}_R^* = 0 \quad \text{.....(5.23)}$$

Untuk vektor yang orthogonal pasangannya adalah $\bar{E}_h$ dan $\bar{E}_v$. Berbagai keadaan polarisasi digambarkan oleh kombinasi linier dari pasangan vektor orthogonal di atas. Didalam kuantum mekanik digunakan ide yang sama sebab fungsi gelombangnya adalah orthogonal.

Perbandingan antara vektor Jones dengan vektor Stokes untuk suatu keadaan polarisasi yang sama dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5.1

State of Polarization	Stokes vectors	Jones vectors
Horizontal $\mathscr{P}$-state	$\begin{bmatrix}1\\1\\0\\0\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}$
Vertical $\mathscr{P}$-state	$\begin{bmatrix}1\\-1\\0\\0\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}0\\1\end{bmatrix}$
$\mathscr{P}$-state at +45°	$\begin{bmatrix}1\\0\\1\\0\end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\1\end{bmatrix}$
$\mathscr{P}$-state at −45°	$\begin{bmatrix}1\\0\\-1\\0\end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\-1\end{bmatrix}$
$\mathscr{R}$-state	$\begin{bmatrix}1\\0\\0\\1\end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\-i\end{bmatrix}$
$\mathscr{L}$-state	$\begin{bmatrix}1\\0\\0\\-1\end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\i\end{bmatrix}$

Perbandingan vektor Jones dengan Stokes
(Hecht - Zajac, 1974 hal 267)

C. MATRIKS JONES DAN MUELLER

Untuk mendeskripsikan keadaan polarisasi, selain dengan menggunakan parameter Stokes dan vektor Jones. dapat juga digambarkan dengan menggunakan matriks. Matriks yang digunakan adalah matriks 2 x 2, dimana penggunaan matriks untuk mendeskripsikan keadaan polarisasi ini dipelopori oleh Jones yang dasarnya adalah vektor Jones, sehingga disebut matriks Jones.

Sinar datang terpolarisasi, disimbulkan oleh Jones dengan $\bar{E}_i$, sedangkan gelombang yang ditransmisikan disimbulkan dengan $\bar{E}_t$. Jadi elemen optiknya ditransformasikan dari $\bar{E}_i$ ke $\bar{E}_t$, dengan menggunakan matriks 2 x 2. Untuk transformasi matriksnya dilambangkan dengan A, sehingga diperoleh:

$$\bar{E}_t = A\,\bar{E}_i \quad \text{.....(5.24)}$$

disini A adalah:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.25)}$$

karena

$$\bar{E}_t = \begin{bmatrix} \bar{E}_{tx} \\ \bar{E}_{ty} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.26)}$$

dan

$$\bar{E}_i = \begin{bmatrix} \bar{E}_{ix} \\ \bar{E}_{iy} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.27)}$$

maka:

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_{tx} \\ \bar{E}_{ty} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{E}_{ix} \\ \bar{E}_{iy} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.28)}$$

untuk ini berlaku:

$$\bar{E}_{tx} = a_{11}\,\bar{E}_{ix} + a_{12}\,\bar{E}_{iy} \quad \text{.....(5.29a)}$$

$$\bar{E}_{ty} = a_{21}\,\bar{E}_{ix} + a_{22}\,\bar{E}_{iy} \quad \text{.....(5.29b)}$$

$\bar{E}_{tx}$ adalah sinar yang ditransmisikan pada sumbu x dan $\bar{E}_{ty}$ adalah sinar yang ditransmisikan pada sumbu y.

Sinar datang $\bar{E}_i$ yang berada dalam keadaan terpolarisasi bidang (keadaan P) dengan sudut +45°, dilewatkan pada plat seperempat gelombang dengan sumbu cepat arah vertikal atau dalam arah y (ingat perputaran dari sumbu cepat menuju sumbu lambat), maka diperoleh untuk keadaan polarisasi dengan faktor amplitudonya konstan yaitu:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{E}_{tx} \\ \bar{E}_{ty} \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.30)}$$

Bila gelombang yang ditransmisikan berputar arah sejauh 90° searah dengan arah perputaran jarum jam, maka diperoleh persamaan :

$$\bar{E}_t = \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} \quad \text{.....(5.31)}$$

Untuk gelombang terpolarisasi bidang (keadaan P) dengan sudut +45°, tapi diperoleh dengan melewatkannya pada 2 buah plat seperempat gelombang dimana sumbu optik untuk kedua plat itu searah sumbu y, maka diperoleh faktor amplitudonya yang ditransmisikan yaitu:

$$\bar{E}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{E}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix}$$

$$\bar{E}_t = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5.32)$$

Berarti gelombang yang ditransmisikan ini berputar arahnya 180° atau merupakan pencerminan pada salah satu sumbu, sehingga diperoleh keadaan P dengan sudut -45°. Hal ini bisa juga dilakukan dengan mengganti kedua plat seperempat gelombang tersebut dengan plat setengah gelombang.

Pengembangan matriks dalam bentuk lain juga dilakukan oleh seorang fisikawan bernama Mueller yang mengajar di Institut Tekhnologi Massachusetts pada tahun 1943. Matriks yang digunakannya disesuaikan dengan parameter Stokes, di mana hasilnya dapat menggambarkan keadaan cahaya terpolarisasi keseluruhan ataupun sebagian. Matriks yang digunakan Mueller adalah matriks 4 x 4. Sebagai contoh adalah cahaya datang tidak terpolarisasi dilewatkan pada sebuah polarizer linier horizontal sehingga diperoleh cahaya terpolarisasi. Ungkapan vektor Stokes untuk gelombang yang ditransmisikan dengan menggunakan matriks Mueller untuk keadaan ini adalah:

$$\bar{S}_t = 1/2 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots (5.33)$$

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

Dari persamaan dapat dilihat bahwa gelombang yang ditransmisikan sesuai dengan filter Stokes yaitu diradiasikan 1/2 dari semula.

Selanjutnya pada tabel berikut dapat dilihat perbandingan matriks Jones dan matriks Mueller yang digunakan untuk polarizer yang sama.

Tabel 5.2

Linear optical element	Jones matrix	Mueller matrix
Horizontal linear polarizer ↔	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Vertical linear polarizer ↕	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer at +45° ⤢	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer at −45° ⤡	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Quarter-wave plate fast axis vertical	$e^{i\pi/4}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Quarter-wave plate fast axis horizontal	$e^{i\pi/4}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$
Homogeneous circular polarizer right ○	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Homogeneous circular polarizer left ○	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & -i \\ i & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Perbandingan matriks Jones dengan Mueller
(Hecht - Zajac, 1974, hal 270)

DAFTAR KEPUSTAKAAN

Alonso Marcelo and Finn Edward J, 1967, Fundamental University Physics Volume II Fields and Waves, Massachusetts, Addison-Wesley Series in Physics.

Crawford Jr Frank S, 1968, Waves volume 3, New York, Mcgraw-hill Book Company.

Dhani Anwar, 1990, Gelombang Dan Optik, Yogyakarta, Proyek Pembinaan Tenaga Kependidikan (Program B) FMIPA UGM.

Haliday & Resnick, Silaban Pantur Ph.D dan Sucipto Erwin, 1984 Fisika jilid 2,Jakarta, Erlangga.

Hecht Eugene and Zajac Alfred, 1974, Optics, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company.

Klein Miles V and Furtak Thomas E, 1986, Optics second Edition New York, John Wisley & Sons.

M.O Tjia, Gelombang (Diktat kuliah), Bandung, Furusan Fisika FMIPA ITB.

Soegeng R, 1990, Polarisasi Gelombang, Bandung, ITB.

Soetarmo, 1981, Fisika jilid 2B, Surakarta, Widyaduta.

Sutrisno, 1984, Seri Fisika Dasar Gelombang Dan Optik, Bandung ITB.