BAB II
DASAR TEORI

2.1. Hubungan Indeks Bias dengan Temperatur

Kecepatan rambat cahaya dalam suatu medium berbeda dengan medium yang lain. Perbedaan kecepatan rambat tersebut disebabkan oleh permeabilitas relatif medium (μ_r) dan permitivitas relatif mediumnya (ε_r) serta dipengaruhi oleh kerapatan massa pada masing-masing medium, misalnya akibat adanya tekanan udara atau pemanasan.

Kecepatan rambat cahaya dalam suatu medium (v_r) didefinisikan sebagai (Sears dan Zemansky, 1962):

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \, \varepsilon_r}} \qquad (2.1)$$

dengan μ_r adalah permeabilitas relatif medium dan ε_r adalah permitivitas relatif medium.

Indeks bias didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan rambat cahaya dalam suatu medium (v_1) dengan medium yang lainnya (v_2), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n = \frac{v_1}{v_2} \qquad (2.2)$$

atau

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$n = \frac{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}}{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_1}} \qquad (2.3)$$

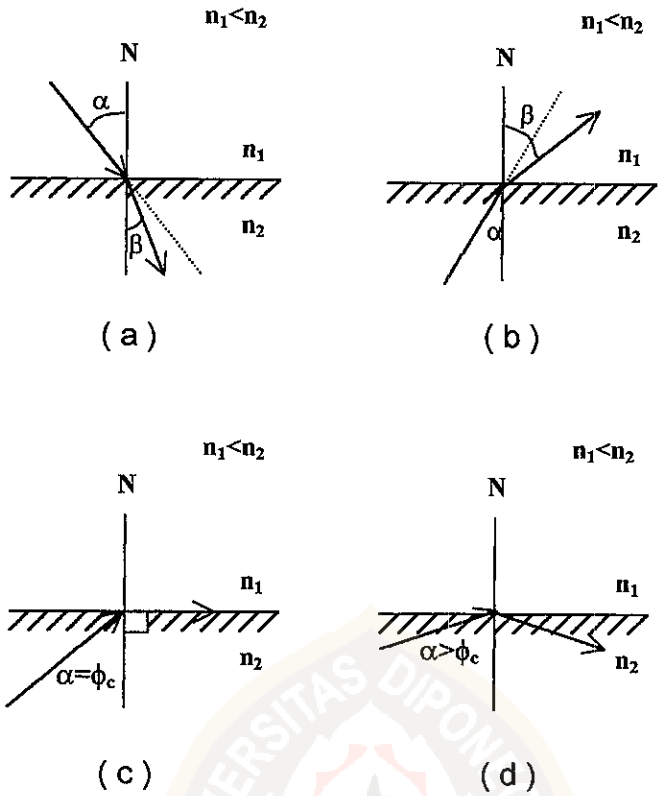
Dalam medium yang berbeda harga permeabilitas dan permitivitasnya berbeda.

Bila berkas sinar berpindah dari medium satu ke medium yang lain, maka sinar akan dibiaskan atau dipantulkan, tergantung dari kerapatan massa masing-masing medium.

- Jika sinar berjalan dari medium yang kerapatannya rendah ke medium yang kerapatannya lebih tinggi maka sinar akan dibiaskan dengan arah mendekati garis normal seperti gambar 2.1a.
- Jika sinar datang dari medium yang kerapatannya tinggi ke medium yang kerapatannya lebih rendah, maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal seperti gambar 2.1b.
- Jika sinar datang dari medium yang kerapatannya tinggi ke medium yang kerapatannya lebih rendah, maka sinar akan dibiaskan dengan sudut biasnya 90^0 (sejajar dengan bidang batas kedua medium) seperti gambar 2.1c.

  Sudut datangnya disebut sebagai sudut kritis (ϕ_c)
- Jika sinar datang dari medium yang kerapatannya tinggi ke medium yang kerapatannya lebih rendah dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritis, maka sinar akan dipantulkan sempurna oleh bidang batas, seperti gambar 2.1d.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.1.

(a) Pembiasan dari medium yang kerapatannya rendah ke medium yang kerapatannya lebih tinggi

(b) Pembiasan dari medium yang kerapatannya tinggi ke medium yang kerapatannya lebih rendah

(c) Pembiasan dari medium yang kerapatannya besar ke medium yang kerapatannya lebih kecil dengan sudut datang (α) = sudut kritis (ϕ_c)

(d) Pembiasan dari medium yang kerapatannya besar ke medium yang kerapatannya lebih kecil dengan sudut datang (α) > sudut kritis (ϕ_c)

Bila indeks bias mengalami perubahan maka kerapatannya akan berubah, sehingga indeks biasnya juga berubah. Indeks bias pada arah radial dapat diinterpretasikan sebagai profil suhu arah radial yang dapat ditentukan dari

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

persamaan Lorentz yang diterapkan pada gas ideal. Harga molar refraktivitas A ditulis sebagai (Karyono dkk, 1997):

$$A = \frac{W}{\rho}\left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right) \qquad (2.4)$$

atau $$A = \frac{RT}{P}\left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right) \qquad (2.5)$$

dengan W adalah berat molekul (kg / mol)

ρ adalah rapat massa (kg / m^3)

R adalah konstanta gas ($Joule . mol^{-1} . K^{-1}$)

T adalah suhu mutlak (K)

P adalah tekanan (N / m^2)

dan n merupakan indeks bias.

Molar refraktivitas 'A' ($m^3\ mol^{-1}$) merupakan ukuran kemampuan suatu medium untuk menyimpangkan sinar cahaya yang datang memasuki permukaannya (Isaacs, 1997).

Untuk gas, karena kecepatan cahaya dalam medium gas hampir sama dengan kecepatan cahaya dalam ruang hampa, maka harga $n \approx 1$, sehingga persamaan 2.5 dapat dituliskan:

$$A = \frac{2RT}{3P}(n - 1)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

atau

$$n - 1 = \frac{3\,PA}{2\,RT} \qquad (2.6)$$

Indeks bias gas akan bertambah dengan naiknya kerapatan gas.

Bila mediumnya berupa gas yang mengalami perubahan temperatur akibat pemanasan pada tekanan konstan, sehingga temperatur tiap daerah dalam medium berbeda, maka harga molar refraktivitas 'A' juga mengalami perubahan. Persamaan 2.6 dapat dituliskan sebagai berikut :

Pada daerah bertemperatur T_1 :

$$n_{T_1} - 1 = \frac{3\,PA_{T_1}}{2\,RT_1} \qquad (2.7a)$$

Pada daerah bertemperatur T_2 :

$$n_{T_2} - 1 = \frac{3\,PA_{T_2}}{2\,RT_2} \qquad (2.7b)$$

Sehingga degradasi indeks bias pada suatu medium dinyatakan dengan :

$$\Delta n = n_{T_2} - n_{T_1} \qquad (2.8)$$

Δn adalah degradasi indeks bias

$n_{T1,T2}$ adalah indeks bias pada suhu T_1 dan T_2

Bila mediumnya berupa air, maka volume air akan bertambah dengan naiknya temperatur jika tekanan terhadapnya tetap. Air akan mengalami perubahan volume sebesar dV apabila temperaturnya berubah sebesar dT. Jika koefisien muai volume β

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

didefinisikan sebagai perubahan fraksional volume (dV/V) dibagi perubahan temperatur dT, maka (Alberty, 1992, Sears dan Zemansky, 1969):

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \qquad (2.9)$$

atau $$\frac{1}{V}dV = \beta\,\Delta T \qquad (2.10)$$

Dengan mengintegralkan persamaan 2.10, didapatkan :

$$\ln\frac{V_T}{V_o} = \beta\,\Delta T$$

atau $$V_T = V_o\, e^{\beta\,\Delta T} \qquad (2.11)$$

dengan V_T adalah volume air pada temperatur T.

V_0 adalah volume air pada temperatur kamar.

Jika rapat massa air ρ pada temperatur T didefinisikan sebagai :

$$\rho = \frac{m}{V_T} \qquad (2.12)$$

Apabila persamaan 2.11 disubstitusikan ke persamaan 2.12 akan diperoleh :

$$\rho = \frac{m}{V_o\, e^{\beta\Delta T}} \qquad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.13 ke persamaan 2.4, didapatkan :

$$A = V_o\, e^{\beta\Delta T}\left(\frac{n^2-1}{n^2+2}\right) \qquad (2.14)$$

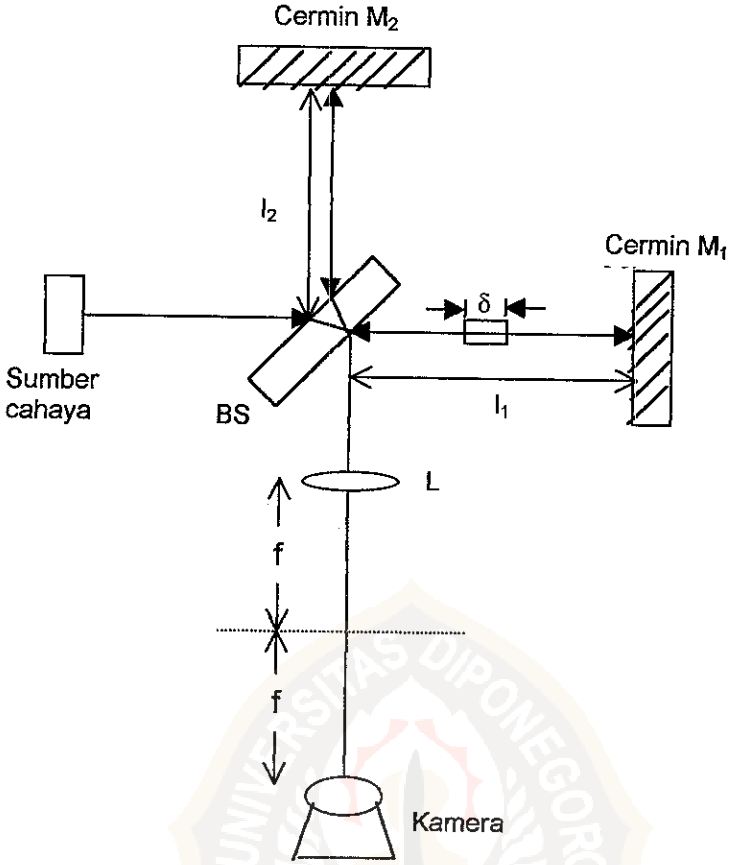
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dari persamaan 2.14 dihasilkan harga molar refraktifitas air yang menunjukkan adanya hubungan antara indeks bias dengan temperatur.

2.2. Hubungan Indeks bias dengan Pola Interferensi yang Berupa Frinji

Interferensi adalah interaksi antara dua buah gelombang atau lebih yang mempengaruhi suatu bagian medium yang sama (Sears, 1962). Interferometer yang dikembangkan oleh A.A. Michelson pada tahun 1881 menggunakan prinsip membagi amplitudo gelombang cahaya menjadi dua bagian yang kira-kira berintensitas sama. Interferometer Michelson diperlihatkan pada gambar 2.2.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.2. Skema Interferometer Michelson (Barakat dkk, 1992)

Keterangan gambar:

BS adalah pemecah berkas

δ adalah lebar sampel

M_1, M_2 adalah cermin pemantul

L adalah lensa positif

l_1, l_2 adalah jarak antara pemecah berkas dan cermin.

f adalah jarak fokus

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Pembelahan amplitudo gelombang menjadi dua bagian dilakukan dengan menggunakan pemecah sinar (*beam splitter*). Pemecah berkas ini akan membagi amplitudo gelombang menjadi dua bagian, amplitudo gelombang pertama ke arah cermin m_1 yang kedua ke arah cermin m_2. Kedua gelombang bergerak dalam arah yang saling tegak lurus, kemudian dipantulkan oleh cermin-cermin pemantul (cermin m_1 dan m_2), sedangkan jarak cermin m_1 dan m_2 terhadap pemecah berkas dapat diatur. Kedua cermin ini saling tegak lurus satu sama lain dan masing-masing tegak lurus pada berkas cahaya yang akan dipantulkan (Zahara, 1994).

Pada gelombang koheren dengan besar amplitudo sama dengan *a*, yang oleh pemecah berkas dipecah menjadi dua arah, yang pertama ke arah m_1 dan yang kedua ke arah m_2, gelombang datar di sepanjang lintasan sinar ke arah m_1, mempunyai amplitudo kompleks (Barakat dkk, 1992) sebagai berikut :

$$A_1 (x,y; \delta) = ar\, r_1\, t \exp (j\, \phi_1) \qquad (2.15)$$

Dengan

$$\phi_1 (x,y; \delta,n) = 2\pi/\lambda \;\; [\, 2l_1 + 2\delta\, (n-1)\,] \cos \theta$$

Sedangkan yang kedua, sinar ke arah m_2 mempunyai amplitudo kompleks :

$$A_2 (x,y) = ar\, r_2\, t \exp (j\phi_2) \qquad (2.16)$$

Dengan

$$\phi_2 = 2\pi/\lambda \;\; 2\, l_2 \cos \theta$$

$\phi_{1,2}$ adalah beda fase yang ditempuh oleh berkas cahaya 1 dan 2.

$r_{1,2}$ adalah koefisien pembiasan amplitudo dari cermin m_1 dan m_2

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

r adalah koefisien pembiasan

t adalah koefisien transmisi dari pemecah berkas BS

a adalah irradiasi cahaya datang.

Hasil interferensi kedua gelombang tersebut adalah :

$$I(x,y;\delta,n) = |A_1(x,y;\delta,n) + A_2(x,y)|^2$$

$$= |A_1|^2 + |A_2|^2 + A_1A_2^* + A_1^*A_2 \qquad (2.17)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.15 dan 2.16 ke persamaan 2.17 diperoleh :

$$I(x,y;\delta,n) = I_L RT\ [R_1+R_2+2(R_1R_2)^{1/2}\cos(\phi_1-\phi_2)] \qquad (2.18)$$

atau $$I(x,y;\delta,n) = I_1^2 + I_2^2 + 2(I_1I_2)^{1/2}\cos(\phi_1-\phi_2) \qquad (2.19)$$

Dengan

$I_L = |a|^2$ adalah irradiasi cahaya datang.

$R = |r|^2$ dan $T = |t|^2$

Beda phase yang didapat dalam persamaan 2.19 adalah :

$$\phi_1 - \phi_2 = 2\pi/\lambda\ [2(n-1)\delta + 2(l_1-l_2)]\cos\theta \qquad (2.20)$$

Bila mediumnya berupa udara, dengan indeks bias n=1 akan dihasilkan pola interferensi yang berbentuk frinji dengan total beda fase (ϕ) yang ditempuh oleh kedua berkas sinar yaitu :

$$\phi = \phi_1 - \phi_2$$

$$\phi = 2\pi/\lambda\ 2d\cos\theta \quad ; \quad d = l_1 - l_2$$

Dengan mengasumsikan panjang lintasan kedua berkas cahaya sama, maka $l_2 = l_1$ dan untuk sudut normal $\theta = 0$, maka persamaan 2.20 menjadi :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\phi_1 - \phi_2 = 2\pi/\lambda \ [\, 2(n-1)\,\delta \,] = 2\,m\,\pi \qquad (2.21)$$

sehingga intensitasnya maksimum,

Bila, $\phi_1 - \phi_2 = (2m+1)\,\pi$ (2.22)

maka intensitasnya minimum,

dengan $m = 2\delta/\lambda \ [\, n(x,y) - 1 \,]$

m adalah orde interferensi yang berupa bilangan bulat (0, ±1, ±2, ±3, ...)

Kedua berkas cahaya tersebut, akan berinterferensi saling memperkuat (bersifat konstruktif), apabila beda fase antara keduanya berupa kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang atau 2π, sehingga memberikan intensitas cahaya yang maksimum (seperti yang terlihat pada persamaan 2.21) dan akibatnya cincin nampak terang.

Interferensi cahaya akan saling memperlemah (bersifat destruktif), apabila beda fasenya berupa kelipatan setengah panjang gelombang, sehingga memberikan intensitas cahaya yang minimum (seperti yang terlihat pada persamaan 2.22) dan akibatnya cincin nampak gelap. Kedua pola interferensi konstruktif dan destruktif akan nampak pada layar berupa pola frinji gelap-terang yang berselang-seling.

Ukuran dari kekontrasan frinji (penampakan frinji) didefinisikan sebagai :

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \qquad (2.23)$$

dengan $I_{max} = I_1 + I_2 + 2\,(I_1 I_2)^{1/2}$, apabila $|\phi| = 0, 2\pi, 4\pi, \ldots$

dan $I_{min} = I_1 + I_2 - 2\,(I_1 I_2)^{1/2}$, apabila $|\phi| = \pi, 3\pi, 5\pi, \ldots$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Selisih lintasan kedua berkas cahaya dari interferrometer adalah

$$\Delta p = 2d \cos \theta \qquad (2.24)$$

dengan $d = l_1 - l_2$

θ adalah sudut antara lintasan sinar dengan frinji.

Pada sudut normal $\theta = 0$, maka $\Delta p = 2d$

Agar terjadi interferensi saling memperkuat (konstruktif) maka secara umum total selisih lintasan kedua berkas cahaya adalah :

$$\Delta = \Delta_p + \Delta_r = m\lambda \qquad (2.25)$$

Sedangkan jika

$$\Delta = \Delta_p + \Delta_r = (m + 1/2)\,\lambda \qquad (2.26)$$

maka akan terjadi interferensi saling memperlemah (destruktif).

Dengan Δ_p merupakan salah satu dari ½ λ atau 0, tergantung dari ada atau tidaknya perubahan fase relatif π antara kedua berkas cahaya dari pemantulan cermin m_1 dan m_2.

Persamaan 2.26 mengakibatkan frinji tampak gelap sehingga total selisih lintasan sinar adalah :

$$\Delta_p + \Delta_r = 2d \cos \theta + \tfrac{1}{2}\lambda = (m + 1/2)\,\lambda$$

atau $\quad 2d \cos \theta = m\lambda, \qquad m = 0, 1, 2, \ldots \qquad (2.27)$

Persamaan 2.27 menunjukkan bahwa pada pusat frinji tampak gelap apabila sudut normal $\theta = 0$, dan pusat frinji memiliki orde interferensi (m) sebesar :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$m_{maks} = \frac{2d}{\lambda} \qquad (2.28)$$

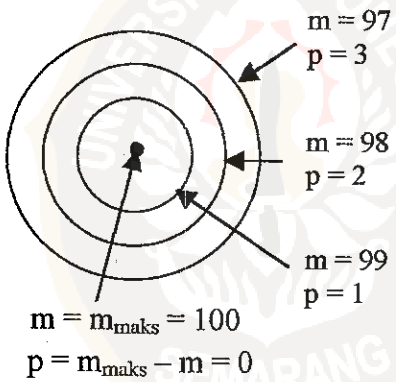
m_{maks} merupakan bilangan bulat.

Apabila pola frinji semakin keluar dari pusatnya, maka orde frinji m semakin berkurang. Hasil pengurangan orde m_{maks} dengan orde frinji m dinyatakan dengan orde p, sedangkan orde p merupakan bilangan bulat pada tiap-tiap orde frinji m, dapat dituliskan:

$$p = m_{maks} - m = \frac{2d}{\lambda} - m \qquad (2.29)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.27 ke persamaan 2.29 akan didapat :

$$p\lambda = 2d\,(1-\cos\theta)\,, \quad p = 0, 1, 2, \ldots \text{ (frinji tampak gelap)} \qquad (2.30)$$



Gambar 2.3. Ilustrasi orde frinji

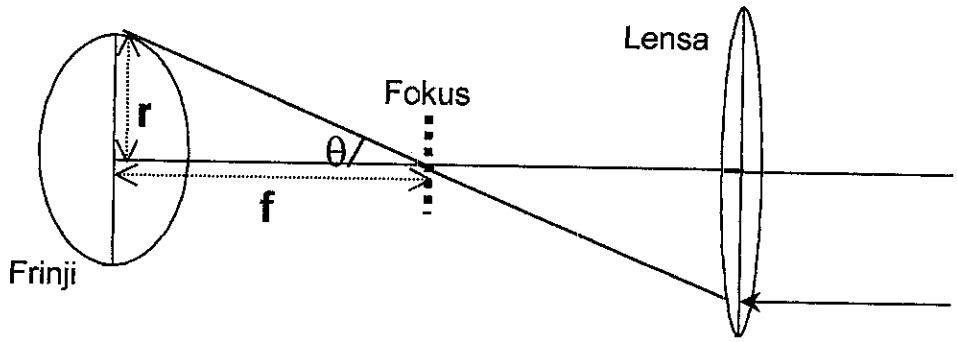
Keterangan :

Pusat frinji dengan orde p adalah nol. Apabila pola frinji semakin keluar dari pusat frinji, maka orde p semakin bertambah. Misal m_{maks} = 100 maka p =0, m=99 maka p=1, m=98 maka p=2, m=97 maka p=3, dan seterusnya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dengan mensubtitusikan persamaan 2.20 dan persamaan 2.21, diperoleh :

$$m\lambda = [\, 2(n-1)\,\delta + 2\,(l_1 - l_2)\,]\cos\theta \qquad (2.31)$$



Gambar 2.4 Lintasan sinar dari lensa pemfokus ke layar

Besar sudut yang terbentuk antara lintasan sinar dengan frinji adalah :

$$\tan\theta = D / 2f \qquad (2.32)$$

dengan D adalah diameter frinji

f adalah jarak fokus.

Dengan mensubtitusikan persamaan 2.31 dan 2.32 diperoleh :

$$m\lambda = [\, 2(n-1)\,\delta + 2\,(l_1 - l_2)\,]\,(1 - \sin^2\theta)^{1/2}$$

$$m\lambda = [\, 2(n-1)\,\delta + 2(l_1 - l_2)\,]\left[1 - \frac{\frac{D^2}{4}}{f^2 + \frac{D^2}{4}}\right]^{1/2} \qquad (2.33)$$

Dengan mengasumsikan D< < f , maka :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\frac{\frac{D^2}{4}}{f^2 + \frac{D^2}{4}} = \frac{D^2}{4f^2} \qquad (2.34)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.34 ke persamaan 2.33 diperoleh :

$$m\lambda = [\,2(n-1)\,\delta + 2(l_1 - l_2)\,]\left[1 - \frac{D^2}{4f^2}\right]^{1/2} \qquad (2.35)$$

Persamaan 2.30 ini menunjukkan hubungan antara indeks bias dengan pola interferensi yang berupa frinji.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)