BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PEREKAMAN HOLOGRAM REFLEKSI

Holografi merupakan suatu teknik perekaman dan rekonstruksi gelombang cahaya. Gelombang cahaya yang direkam adalah gelombang obyek dan gelombang acuan pada media perekam. Pada rekonstruksi dihasilkan tiruan gelombang obyek dengan amplitudo berbeda tetapi mempunyai fase dan arah yang sama dengan gelombang obyek [5]. Kesan tiga dimensi yang dihasilkan diperoleh karena amplitudo dan fase gelombang cahaya sekaligus dapat direkam dalam pemotretan. Kedua parameter tersebut terkandung dalam satu fungsi gelombang,[6]

$$U(y,z) = A \text{ eksp } i\varphi(y,z) \qquad (2.1)$$

dimana :

U = fungsi gelombang

A = amplitudo gelombang

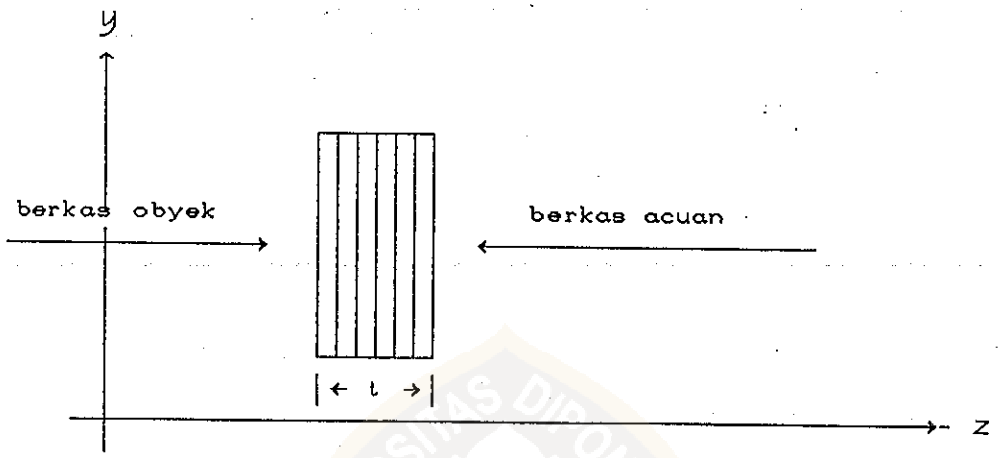
φ = sudut fase gelombang

Dalam pembuatan hologram refleksi ini digunakan sistem perekaman holografi fresnel, yaitu perekaman dimana jarak antara obyek dengan media perekam dibuat relatif dekat sehingga media perekam dapat menerima berkas hamburan obyek tanpa harus menggunakan lensa atau alat bantu lainnya.[6]

Hologram refleksi direkam dengan memberikan berkas gelombang acuan dan berkas obyek yang masuk media perekam

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)

arah ini akan berinterferensi dan membentuk pola gelombang stasioner dalam media perekam yang memeberikan frinji-frinji yang sejajar atau mendekati sejajar dengan permukaan emulsi media perekam[5], seperti tampak pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Berkas acuan dan berkas obyek pada sisi yang berlawanan dan pola frinji pada media perekam

Pada hologram refleksi, difraksi Bragg merupakan suatu fenomena, orientasi bidang-bidang difraksi cenderung sejajar dengan bidang hologram. Difraksi hanya terjadi untuk sudut-sudut datang tertentu. Sudut datang (θ_i) dari gelombang datang pada kisi tiga dimensi sama dengan sudut difraksi (θ_d) atau

$$\theta_d = \theta_i \qquad (2.2)$$

Persamaan kisi difraksi ini harus memenuhi persamaan :

$$\sin \theta_i + \sin \theta_d = \frac{m\lambda}{d} \qquad (2.3)$$

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 kedua persamaan diatas didapatkan

$$\sin \theta_i = \sin \theta_d = \frac{m\lambda}{2d} \qquad (2.4)$$

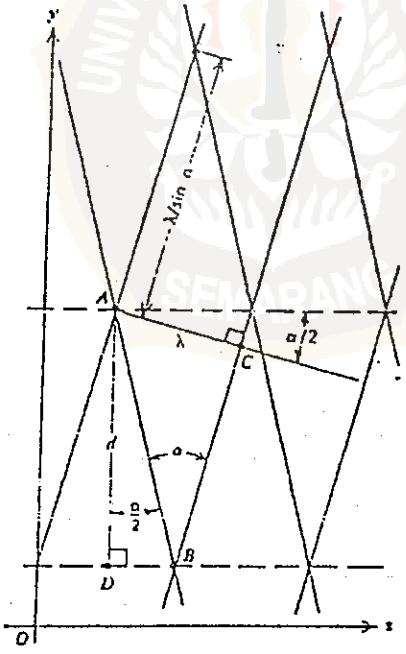
dimana :

λ = panjamg gelombang sumber

d = jarak frinji

m = 1,2,3,...

Dua gelombang datar dengan panjang gelombang yang sama yaitu λ berinterferensi dengan sudut α antara vektor-vektor gelombangnya. Dianggap sumbu x tegak lurus bidang yang digambarkan oleh vektor-vektornya seperti tampak pada gambar berikut ini :



Gambar 2.2. Detail interferensi dua gelombang datar dan hubungannya dengan syarat Bragg.

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)

Pada segitiga ABC, AC menunjukkan panjang gelombang dan $\angle$ ABC = α , sudut antara muka-muka gelombang yang berinterferensi sama dengan vektor gelombang masing-masing. Ditunjukkan bahwa :

$$\overline{AB} = \frac{\lambda}{\sin \alpha}$$

Pada segitiga ABD, jarak d antara bidang-bidang interferensi konstruktif adalah

$$d = \overline{AD} = \cos \tfrac{1}{2} \alpha \frac{\lambda}{\sin \alpha} = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{1}{2} \alpha} \qquad (2.5)$$

dimana $\sin \alpha = 2 \sin \frac{1}{2} \alpha \cos \frac{1}{2} \alpha$

Dari efek difraksi yang diamati dengan proses interferogram, dari persamaan (2.4) jika dimasukkan m = 1 , dan dengan menggunakan persamaan (2.5) dapat ditunjukkan bahwa sudut datang besarnya

$$\sin \theta_i = \frac{\lambda'}{2d} = \frac{\lambda'}{\lambda} \sin \tfrac{1}{2} \alpha$$

$$= \sin \tfrac{1}{2} \alpha \qquad , \lambda' = \lambda \qquad (2.6)$$

dimana λ' adalah panjang gelombang dari gelombang datang. Hal ini identik dengan sudut interferensi murni muka gelombang dengan bidang-bidang difraksi akhir, dengan anggapan digunakan panjang gelombang yang sama. Untuk difraksi yang efisien berkas cahaya harus datang sejajar dengan vektor gelombang dari salah satu muka gelombang yang berinterferensi.

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)

Lebih jauh akan dibahas sudut dan gelombang yang masuk kedalam media perekam. Diluar media perekam, sinus sudut datang akan lebih besar oleh faktor n, yaitu indeks bias media perekam relatif terhadap media sekitarnya. Panjang gelombang λ_o, yaitu panjang gelombang diluar media juga akan semakin besar oleh faktor ini. Sudut datang gelombang diberikan dengan

$$\sin \tfrac{1}{2}\alpha_o = n \sin \tfrac{1}{2}\alpha \qquad (2.7)$$

dan sudut yang sesuai untuk difraksi Bragg dari dua persamaan terakhir didapatkan :

$$\sin \theta_o = n \sin \theta_i = \frac{\lambda}{\lambda'} n \sin \tfrac{1}{2}\alpha$$

$$= \frac{\lambda}{\lambda'} \sin \tfrac{1}{2}\alpha_o \qquad (2.8)$$

yang tetap bersesuaian dengan muka gelombang yang berinterferensi murni. Jarak antara titik-titik difraksi, dalam bentuk eksternal parameter yang diamati :[6]

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{1}{2}\alpha} = \frac{\lambda_o}{2 \sin \frac{1}{2}\alpha_o} \qquad (2.9)$$

Pada perekaman, obyek disinari dengan cahaya koheren yang hamburannya dikenakan tepat pada media perekam. Berkas gelombang cahaya ini disebut berkas obyek [3]

$$U_o = A_o \text{ eksp } i\varphi_o (y,z) \qquad (2.10)$$

dimana :

U_o = fungsi gelombang obyek

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)

A_o = Amplitudo gelombang obyek

φ_o = sudut fase gelombang obyek

Disamping menerima berkas dari obyek, media perekam disinari pula oleh cahaya yang disebut dengan berkas acuan

$$U_r = A_r \text{ eksp } i\varphi_r (y,z) \qquad (2.11)$$

dimana :

U_r = fungsi gelombang acuan

A_r = amplitudo gelombang acuan

φ_r = sudut fase gelombang acuan

Medan total dalam media perekam adalah :

$$U_f = U_o + U_r$$

$$= A_o \text{ eksp } i\varphi_o + A_r \text{ eksp } i\varphi_r \qquad (2.12)$$

Intensitas yang terekam pada media perekam besarnya adalah

$$I_f = |U_f|^2 = U_f \cdot U_f^*$$

$$= (U_o + U_r)(U_o + U_r)^*$$

$$= U_o U_o^* + U_r U_r^* + U_o U_r^* + U_o^* U_r$$

$$= I_o + I_r + 2 A_o A_r \cos(\varphi_o - \varphi_r) \qquad (2.13)$$

Berkas obyek maupun berkas acuan merupakan amplitudo kompleks dari gelombang cahaya. Karena frekuensi temporal dari cahaya sangat tinggi ($\simeq 10^{15}$ Hz), ketergantungan terhadap waktu secara eksplisit diabaikan. Amplitudo kompleks tersebut berisikan semua informasi tentang struktur

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)

spasial gelombang cahaya yang pokok dalam holografi.[φ] Karena fungsi perubahan waktu tidak bermanfaat dalam penggabungan gelombang dengan frekuensi yang sama, maka fungsi waktu dapat dihilangkan. Penjumlahan aljabar dua atau lebih amplitudo kompleks sebanding dengan penjumlahan vektor amplitudo realnya.[5]

Beda fase $\varphi_o(y,z)-\varphi_r(y,z)$ dari intensitas yang mengenai media perekam akan menentukan terjadinya frinji dalam media perekam tersebut. Jika φ_o dan φ_r berubah bersama-sama sehingga besar beda fase tetap maka cosinus beda fase mempunyai harga tertentu yang tetap. Tetapi jika φ_o dan φ_r berubah secara bergantian satu sama lain, harga beda fase setiap kali juga akan berubah, maka hologram tidak akan diperoleh. Hal ini terjadi jika digunakan cahaya yang tidak koheren. Sedangkan hubungan fase yang tetap didapatkan dari cahaya koheren sehingga

$$\varphi_o - \varphi_r = \text{konstan} \qquad (2.14)$$

2.2 REKONSTRUKSI HOLOGRAM REFLEKSI

Distribusi intensitas berkas obyek dan berkas acuan pada plat film dengan pola intensitas

$$I(y,z) = |U_o + U_r|^2 \qquad (2.15)$$

Apabila ingin melihat bayangan yang terbentuk harus menyinari hologram dengan berkas rekonstruksi

$$U_c = A_c \text{ eksp } i\varphi_c(y,z) \qquad (2.16)$$

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)

dimana :

U_c = fungsi gelombang rekonstruksi

A_c = amplitudo gelombang rekonstruksi

φ_c = sudut fase gelombang rekonstruksi

Berkas gelombang yang direfleksikan media perekam adalah :

$$\psi_c = \frac{-i\ k\ C\ U_o\ \{\rho_2 - \rho_1\}}{2} \int_{k-\Delta k/2}^{k+\Delta k/2} R(k')e^{ik'\ell_o}\, dk' \qquad (2.17)$$

Persamaan ini merupakan persamaan gelombang yang direfleksikan jika hologram direkonstruksikan dengan caahaya putih.[8] Penurunan persamaan (2.17) dapat dilihat pada lampiran A.

2.3 VARIASI REKONSTRUKSI : PERBESARAN BAYANGAN [6]

Secara umum, jika gelombang rekonstruksi berbeda dengan gelombang acuan, aberasi-aberasi bayangan akan timbul. Efek bayangan yang mungkin timbul karena perubahan skala hologram, panjang gelombang dan kurvatur akan dijelaskan lebih lanjut dengan perubahan koordinat titik bayangan rekonstruksi dan perubahan fasenya.

Pada proses rekonstruksi, bayangan yang dihasilkan hologram dapat diperbesar atau diperkecil dengan berbagai cara, antara lain :

1. Dengan menggunakan berkas rekonstruksi yang mempunyai koordinat titik sumber yang berbeda dengan berkas acuan.
2. Dengan menggunakan panjang gelombang berkas rekonstruksi

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)

berbeda dari yang digunakan pada proses perekaman.

Apabila perbesaran bayangan untuk arah sumbu x dan sumbu y dinamakan perbesaran lateral atau M (lat) sedangkan perbesaran kearah sumbu z dinamakan perbesaran longitudinal atau M (long) maka perbesaran bayangan diberikan :

$$M\ (lat) = m \left\{ 1 + \frac{m^2 z_o}{\mu z_c} - \frac{z_o}{z_c} \right\}^{-1} \qquad (2.18)$$

$$M\ (long) = \frac{1}{\mu} M^2_{(lat)} \qquad (2.19)$$

dimana :

$\mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\text{panjang gelombang berkas rekonstruksi}}{\text{panjang gelombang berkas acuan}}$

m = harga yang menunjukkan berapa kali hologram diperbesar

z_o = koordinat z dari titik benda

z_r = koordinat z dari titik sumber berkas acuan

z_c = koordinat z dari titik sumber berkas rekonstruksi

2.4 KARAKTERISTIK HOLOGRAM REFLEKSI [4]

Hologram refleksi mempunyai beberapa sifat yang menarik , antara lain :

1. Penampilan bayangan tiga dimensi dapat dilihat dengan merekonstruksikannya dengan cahaya putih atau cahaya polikromatik.
2. Perspektif dari bayangan berubah jika dilihat dari kedudukan pandang yang berbeda.

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)

3. Pada proses rekonstruksi permukaan gelombang hologram tidak menghasilkan bayangan negatif.
4. Kapasitas informasi yang besar.

   Beberapa bayangan dapat ditumpuk dalam emulsi film, dan setiap bayangan dapat direkam tanpa dipengaruhi oleh bayangan lain.
5. Perputaran 180° mengelilingi sumbu vertikal atau sumbu horizontal, hologram mengakibatkan pembalikan bayangan.
6. Perputaran 180° terhadap sumbu tegak lurus bidang hologram tidak mengakibatkan pembalikan bayangan.
7. Bayangan yang terbentuk pada waktu rekonstruksi dapat diperbesar atau diperkecil.

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)