

PENGGUNAAN METODA INTERFEROMETRI OPTIK UNTUK MENENTUKAN PERUBAHAN LAJU ALIRAN FLUIDA GAS

Muchiar¹, Kisman M. Mahmud²

¹Pusat Penelitian Fisika-LIPI Kawasan PUSPITEK, Serpong, Tangerang, Banten 15314

²Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta
email: muhiar2003@yahoo.com, kismanmahmud@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengaplikasikan metoda interferometri optik bagi penentuan perubahan laju aliran suatu fluida gas. Metoda yang dipilih adalah metoda interferometri holografi waktu-nyata. Dengan metoda ini, salah satu berkas lengan interferometer yang disusun dilewatkan melalui medium yang hendak diteliti. Perubahan laju pada medium tersebut akan merubah panjang lintasan optiknya, sesuai dengan laju aliran udara yang melewatinya. Pada penelitian ini yang diukur adalah perubahan laju dari gas Nitrogen yang dialirkan ke dalam sebuah pipa yang dilintasi oleh salah satu lengan interferometer, yaitu lengan berkas objek. Selanjutnya lengan berkas objek ini diarahkan menerangi sebuah pelat referensi. Perubahan aliran gas di dalam pipa, akan merubah panjang lintasan optik dari lengan berkas objek dari interferometer ini, dan citra yang dihasilkan akan memiliki pola berbeda. Apabila citra sebelum terjadinya perubahan diinterferensikan dengan citra setelah terjadi perubahan, maka akan didapatkan suatu pola interferensi yang memunculkan frinji-frinji yang mengindikasikan besarnya perubahan yang terjadi. Dengan menganalisa secara kualitatif maupun kuantitatif pola frinji interferensi yang diperoleh, maka perubahan laju dari gas di dalam pipa dapat diketahui.

Kata kunci: Interferometri, optic, fluida

ABSTRACT

Research to apply the method of the optical interferometer for determining the gas flow rate changes of a fluid has been conducted. The selected method is a real-time holographic interferometry, which one of compiled interferometer arm archive is passed through the medium to be studied. Changes in the rate of the medium will change the optical path length, according to the rate of air flow through it. In this study, the change rate of nitrogen gas that flowed into a pipe that crossed by one of the arms of the interferometer, beam arm object, is measured. Furthermore, the beam arm object is directed to illuminate a reference plate. Changes in the gas flow inside the pipe, will alter the optical path length of the beam arm object of this interferometer, and the produced image will have a different pattern. If the image before and after the change is interferenced, it will get an interference pattern that led to the fringes that indicates the magnitude of the changes occurred. By qualitative and quantitative analyze of the interference fringe pattern obtained, hence the change rate of the gas inside the pipe can be obtained.

Keywords: Interferometri, optic, fluida

PENDAHULUAN

Holografi adalah suatu metoda perekaman citra objek yang menghasilkan citra tiga dimensi dari objek tersebut. Sedangkan interferometri adalah suatu metoda pengukuran yang didasarkan pada

fenomena interferensi yang terjadi apabila dua berkas cahaya dengan frekuensi sama bertemu di satu titik atau medium yang sama. Interferometri-holografi merupakan metoda pengukuran yang sekaligus memanfaatkan fenomena interferensi dan metoda perekaman citra tiga dimensi.

Interferometri holografi, berdasarkan teknik perekaman hologram yang dilakukan, dapat dibedakan menjadi tiga metoda yang berbeda, yaitu metoda interferometri holografi pencahayaan-ganda (*double-exposure*), metoda interferometri holografi waktu-nyata (*real-time*) dan metoda interferometri holografi waktu rata-rata (*time-average*). Salah satu dari metoda ini yaitu metoda interferometri holografi waktu-nyata, akan digunakan di dalam penelitian perubahan laju aliran fluida gas ini.

Pada metoda interferometri holografi waktu-nyata, dilakukan satu kali perekaman secara holografi, yaitu perekaman holografi dari keadaan objek sebelum mengalami perubahan pada selambar media perekaman holografi, baik berupa film holografi maupun film thermoplastik. Hologram yang diperoleh selanjutnya akan digunakan sebagai hologram acuan, dengan menempatkannya pada tempat semula. Interferensi akan terjadi sepanjang waktu (waktu-nyata) diantara citra objek sebelum terjadinya sesuatu perubahan dengan citra objek pada saat itu, sehingga akan didapatkan pola interferensi yang setiap waktu dapat berubah, bergantung pada terjadi atau tidaknya perubahan pada objek.

Di dalam penelitian ini, perubahan laju fluida gas tidaklah diukur secara langsung, melainkan dikonversi ke perubahan panjang lintasan optik dari berkas laser yang melaluinya. Sebagai objek, disini kita namakan pelat referensi, digunakan sepotong pelat aluminium berukuran 5 cm x 8 cm dengan tebal 3 mm, dimana pelat ini diklem dengan kuat pada suatu kedudukan yang terpasang pada meja optik. Sedangkan untuk media rekam holografi digunakan pelat film thermoplastik.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan interferometri holografi waktu-nyata dapat digunakan untuk menentukan secara kualitatif maupun secara kuantitatif perubahan laju aliran suatu fluida gas di dalam pipa. Ketelitian pada pengukuran dengan cara ini, antara lain, akan bergantung pada ketelitian di dalam menentukan pergeseran pola frinji yang terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

Berbeda dengan fotografi yang umum, pada perekaman dengan metoda holografi diperlukan dua berkas gelombang cahaya monokromatis dan koheren dengan panjang gelombang yang sama. Satu berkas, yang dinamakan berkas referensi, digunakan sebagai referensi. Berkas ini tidak mengalami gangguan atau perubahan apapun. Satu berkas yang lainnya, dinamakan berkas objek, digunakan untuk menerangi objek yang hendak diambil gambarnya.

Interferometri holografi, adalah suatu ilmu yang menggabungkan metoda pengukuran yang memanfaatkan fenomena interferometri dan proses perekaman secara holografi. Hasil perekaman yang sudah diproses adalah berupa hologram. Bilamana hologram ini direkonstruksi, maka pada citra objek yang hasil rekonstruksi akan tampak suatu pola interferensi yang menggambarkan perubahan yang terjadi pada objek. Berdasarkan teknik perekaman yang dilakukan, maka interferometri holografi dapat dibedakan menjadi tiga metoda dasar. Pertama adalah metoda interferometri holografi pencahayaan-ganda, dimana disini dilakukan dua kali perekaman pada media rekam yang sama. Proses perekaman yang pertama dilakukan sebelum objek mengalami sesuatu perubahan dan proses perekaman yang kedua dilakukan setelah objek mengalami sesuatu perubahan. Setelah kedua proses perekaman berlangsung, maka dilakukan pemrosesan terhadap media rekam ini, sehingga diperoleh sebuah hologram dari objek dengan disertai pola interferensi yang menggambarkan perubahan yang terjadi.

Metoda kedua, adalah metoda interferometri holografi waktu-nyata. Pada metoda ini, hanya dilakukan satu kali proses perekaman secara holografi, yaitu pada saat objek belum mengalami sesuatu perubahan. Setelah perekaman berlangsung, media rekam kemudian diproses sehingga diperoleh hologram dari objek yang belum mengalami perubahan. Hologram ini kemudian ditempatkan pada tempatnya semula, sehingga citra yang terekam pada

media rekam, setiap saat akan selalu berinterferensi dengan citra objek pada saat itu (*realtime*). Dan interferensi ini akan menghasilkan pola interferensi yang sesuai dengan perubahan yang terjadi pada objek pada saat itu.

Metoda ketiga, adalah metoda interferometri holografi waktu rata-rata, yang biasanya digunakan untuk objek yang bervibrasi. Pada metoda ini perekaman dilakukan hanya satu kali, tetapi waktu perekaman (*time-exposure*) lebih panjang dibandingkan dengan perioda vibrasi dari objek. Sehingga dengan demikian, citra yang terekam merupakan rata-rata terhadap waktu dari integrasi sekian banyak citra objek yang berinterferensi pada media rekam tersebut. Setelah media rekam diproses, akan diperoleh hologram dari objek yang disertai pola interferensi yang menggambarkan perubahan rata-rata dari objek.

Metode interferometri Holografi waktu nyata

Pada penelitian ini akan digunakan metoda

$$I = [V_{01}]^2 + [V_{02}]^2 + [U_r]^2 + Ur^*(U_{01} + U_{02}) + Ur(U_{01}^* + U_{02}^*) \quad [1]$$

dimana U_r adalah muka gelombang referensi dan tanda asterik * menunjukkan konjugasi kompleks dari fungsi tersebut. Jika kemudian media rekaman diproses menjadi hologram dan hologram ini kemudian direkonstruksi, maka muka gelombang rekonstruksi akan sebanding dengan jumlah kedua muka

$$I_i = [V_i]^2 \propto 2[A_0]^2 \{1 + \cos[k(\Phi_{02} - \Phi_{01})]\} \quad [2]$$

dimana $k = 2\pi/\lambda$ adalah bilangan gelombang, $(\Phi_{02} - \Phi_{01})$ adalah beda fasa antara berkas objek sesudah terjadi sesuatu perubahan dengan sebelum terjadinya perubahan. Perubahan laju gas yang terjadi mengakibatkan terjadinya perubahan panjang lintasan optik dari berkas objek dan ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan fasa. Apabila objek diterangi dengan berkas yang membuat sudut α terhadap normalnya, serta saat rekonstruksi citra diamati dengan sudut pengamatan β terhadap normalnya, maka intensitas citra dapat dinyatakan sebagai:

interferometri holografi waktu nyata untuk menentukan secara kualitatif perubahan laju aliran suatu fluida gas. Untuk keperluan penelitian ini, lengan berkas objek akan dilewatkan melintasi fluida gas yang hendak diukur. Apabila terjadi perubahan pada laju aliran gas, maka lintasan optik dari berkas ini akan berubah. Jika berkas ini kemudian diinterferensikan dengan berkas referensi, maka akan didapatkan pola interferensi yang berbeda, dimana perbedaan ini mengindikasikan perubahan yang terjadi.

Misalkan muka gelombang dari berkas objek yang melalui fluida yang diteliti, sebelum mengalami sesuatu perubahan laju dinamakan U_{01} , dan kemudian misalkan pula muka gelombang dari berkas ini setelah fluida mengalami sesuatu perubahan kecepatan dinamakan U_{02} . Pada saat dilakukan perekaman dengan metoda interferometri holografi berkas ganda, kedua muka gelombang ini akan saling menambahkan, sehingga distribusi intensitas I yang terekam pada media rekaman dapat dinyatakan sebagai:

gelombang objek tersebut.

Jika dimisalkan muka gelombang $U_{01} = A_0 \exp ik\Phi_{01}$ dan muka gelombang $U_{02} = A_0 \exp ik\Phi_{02}$, maka distribusi intensitas citra rekonstruksi dapat dituliskan sebagai:

$$I_{id} \propto 2[A_0]^2 \{1 + \cos[kz_1(\cos \alpha + \cos \beta)]\} \quad [3]$$

atau

$$I_{id} \propto 4[A_0]^2 \cos^2 \frac{1}{2} [kz_1(\cos \alpha + \cos \beta)] \quad [4]$$

Persamaan [4] menunjukkan geometri dari frinji interferensi yang tampak pada permukaan citra objek apabila hologram yang dibuat dengan teknik pencahayaan ganda direkonstruksi. Intensitas bervariasi sesuai dengan kuadrat dari cosinus dengan

jarak diantara dua frinji yang berurutan bersesuaian dengan besarnya perubahan yang terjadi.

Dari Persamaan [4] ini, deformasi atau pergeseran total z_1 dapat diturunkan dan diperoleh:

$$z_1 = \frac{N\lambda}{\cos \alpha + \cos \beta} \quad [5]$$

dimana N menunjukkan jumlah dari frinji-terang, dihitung mulai dari bagian objek yang tidak mengalami deformasi.

METODE PERCOBAAN

Alat dan Bahan Percobaan

Dari diagram percobaan dapat dilihat alat dan bahan yang digunakan adalah:

- Sumber laser Helium-Neon (He-Ne), sebagai sumber pencahayaan.
- Meja optik yang dilengkapi peredam getaran.
- Pembagi berkas variabel, **PB**, yang berfungsi membagi berkas laser yang berasal dari sumber menjadi dua berkas, berkas objek dan berkas referensi, dengan perbandingan intensitas yang dapat diatur sesuai dengan keperluan.
- Cermin-cermin datar pemantul, **CR**, untuk mengarahkan berkas objek dan berkas referensi sesuai dengan keperluan. Cermin ini adalah jenis *front-surface mirror*, yang tidak menghasilkan pantulan sekunder.
- Media rekam holografi, untuk merekam citra objek dalam penelitian ini digunakan film thermoplastik yang diproses secara listrik.
- Objektif mikroskop, **OM**, perbesaran 20x
- Gas Nitrogen (N_2) murni, Sebagai bahan percobaan di dalam penelitian ini digunakan gas Nitrogen (N_2) murni. Gas ini dialirkan melalui sebuah pipa

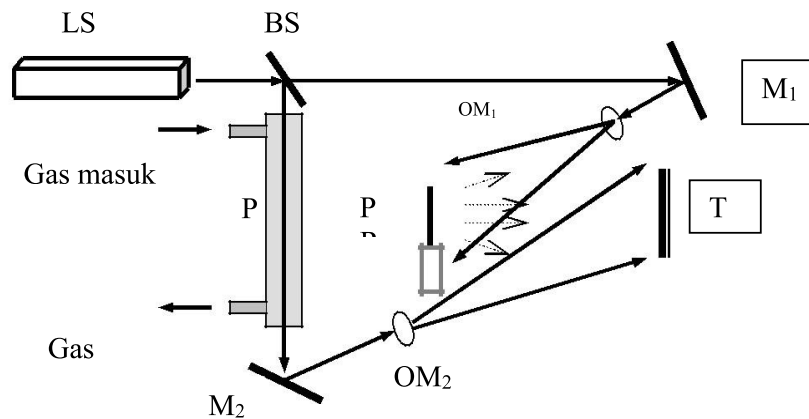
Diagram Percobaan

Rangkaian percobaan yang digunakan serupa dengan rangkaian untuk pembuatan hologram umumnya. Secara skematik

susunan dari komponen-komponen yang digunakan pada percobaan ini ditunjukkan pada Gambar 1. Berkas laser yang berasal dari sumber laser He-Ne, **LS**, dengan daya 35 mW dan panjang gelombang 632,8 nm, dibagi dua dengan menggunakan sebuah pembagi berkas (*beam splitter*), **BS**. Sebuah berkas, dinamakan berkas objek, diarahkan dengan menggunakan cermin datar jenis *front-surface*, **M₁**, dan dimekarkan dengan menggunakan lensa objektif mikroskop, **OM₁**, untuk menerangi objek, **O**. Berkas yang lainnya, dinamakan berkas referensi, diarahkan dengan bantuan cermin datar, **M₂**, dan dimekarkan dengan menggunakan lensa objektif mikroskop, **OM₂**, langsung menyinari pelat film holografi, **H**. Jadi pelat holografi selain menerima pantulan atau hamburan sinar dari objek, juga menerima langsung berkas cahaya referensi. Untuk memberikan deformasi statis pada objek, **O**, maka ujung bebasnya didorong dengan gaya, **F**, yang berasal dari mikrometer.

Sebelum percobaan dilakukan, maka komponen-komponen percobaan disusun sesuai dengan skema pada Gambar 1. Di dalam penyusunan komponen-komponen ini harus diperhatikan hal-hal berikut:

- Panjang lintasan berkas sinar **BS-M₁-OM₁-O-H** harus diusahakan sama panjang dengan lintasan berkas sinar **BS-M₂-OM₂-H**.
- Intensitas berkas sinar referensi yang menerangi pelat film harus diusahakan sama kuat dengan intensitas berkas sinar objek yang dihamburkan oleh permukaan objek.
- Kestabilan meja kerja harus dijaga, sehingga tidak ada getaran-getaran atau gangguan-gangguan lainnya dari luar yang tiba atau mempengaruhi meja.
- Tidak ada aliran udara yang melintas melalui kedua berkas cahaya.
- Tidak terjadi perubahan suhu udara yang cukup besar.
- Pastikan bahwa permukaan pelat film yang menghadap berkas sinar datang adalah permukaan yang beremulsi.



Gambar 1. Skematik susunan komponen percobaan

Semua hal yang disebutkan di atas amat penting untuk diperhatikan, karena akan berpengaruh pada kualitas hologram yang dihasilkan, efisiensi interferensi dan juga pada ketelitian pengukuran.

Setelah komponen-komponen tersusun dengan baik dan kondisi lingkungan sudah tercapai, maka percobaan dapat dimulai. Pertama kali yang dilakukan adalah melakukan beberapa kali perekaman terhadap objek yang belum mengalami deformasi, masing-masing dilakukan pada pelat film yang berbeda. Perekaman dilakukan dengan waktu pencahayaan (*exposure time*) berbeda-beda, tujuannya adalah untuk mendapatkan waktu pencahayaan yang tepat. Setelah proses perekaman dengan beberapa waktu pencahayaan ini selesai, maka masing-masing pelat diproses untuk mendapatkan hologramnya, dan selanjutnya masing-masing hologram di rekonstruksi. Dari pengamatan terhadap masing-masing citra yang dihasilkan, maka dapat dipastikan bahwa perangkat percobaan sudah bekerja dengan baik, dan waktu pencahayaan yang terbaik juga dapat dipilih, dan kemudian waktu pencahayaan inilah yang digunakan untuk percobaan selanjutnya.

Setelah waktu perekaman yang terbaik diperoleh, maka langkah berikutnya adalah melakukan perekaman yang sesungguhnya. Langkah pertama adalah melakukan perekaman terhadap objek yang belum mengalami deformasi. Langkah kedua,

objek diberi deformasi yang terukur, dan kemudian dilakukan perekaman yang kedua pada pelat film yang sama, tanpa sama sekali mengutik pelat film dari dudukannya. Langkah ketiga, pelat film ini kemudian diproses untuk mendapatkan hologramnya. Ketiga langkah ini kemudian diulangi beberapa kali dan masing-masing untuk deformasi terukur yang berlainan.

Setelah pembuatan semua hologram yang diinginkan selesai, maka selanjutnya satupersatu hologram tersebut direkonstruksi. Masing-masing citra virtual dari hasil rekonstruksi ini kemudian direkam kembali pada film fotografi yang biasa. Setelah semua citra virtual hasil rekonstruksi hologram difoto, maka film diproses dan gambarnya dicetak. Hasil yang kita peroleh adalah gambar atau rekaman dari citra virtual hasil rekonstruksi. Berdasarkan hasil inilah selanjutnya dilakukan analisa kualitatif maupun kuantitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar-gambar hasil percobaan ditunjukkan dalam Gambar 2, dimana gambar (a) menunjukkan foto dari susunan komponen percobaan yang sesungguhnya, sedangkan gambar (b) sampai dengan (d) menunjukkan gambar rekaman citra virtual dari objek yang sudah mengalami deformasi, masing-masing dengan besar deformasi yang berbeda.

Dari gambar pola frinji yang muncul, secara kualitatif dapat dilihat bahwa makin banyak jumlah frinji interferensi, maka makin besar deformasi yang dialami oleh objek tersebut. Pola frinji yang tidak simetris menunjukkan bahwa deformasi yang dialami oleh bagian-bagian objek tersebut tidak simetris. Bagian objek dengan jumlah frinji lebih banyak berarti juga mengalami deformasi lebih banyak. Arah perubahan frinji juga menunjukkan arah deformasi maksimum yang terjadi. Jadi, secara kualitatif, dapat dilihat selain besarnya deformasi yang terjadi, juga arah terjadinya deformasi maksimum atau bagian-bagian yang mengalami deformasi berbeda.

Untuk menentukan besarnya deformasi secara kuantitatif, maka dapat digunakan hubungan dari Persamaan [4] atau Persamaan [5], dengan terlebih dahulu menentukan sudut datang berkas cahaya pada objek dan sudut pengamatan rekonstruksi, dan panjang gelombang berkas laser yang digunakan. Pada percobaan ini, sudut datang berkas sinar yang menerangi objek, α , dan sudut datang berkas konstruksi pada hologram, β adalah sama besar, yaitu 30° , sedangkan panjang gelombang laser yang digunakan adalah 632,8 nm. Berdasarkan data ini dan Persamaan [3], maka hubungan antara posisi frinji dengan

besarnya deformasi dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3. Sumbu vertikal menunjukkan intensitas relatif dan sumbu horisontal menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi dalam satuan nanometer [nm]. Puncak atau harga maksimum dari kurva ini berkaitan dengan frinji terang yang muncul pada citra rekonstruksi, sementara harga nol atau harga minimum dari kurva menunjukkan frinji gelap. Jadi frinji terang akan terjadi pada deformasi yang besarnya memberikan harga maksimum pada kurva, dan frinji gelap terjadi pada deformasi yang memberikan harga minimum atau nol pada kurva. Dengan demikian, berdasarkan kurva ini, maka besarnya deformasi yang terjadi pada posisi frinji terang dan frinji gelap dapat ditentukan dengan mudah, dan hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 1.

Untuk menentukan deformasi dari bagian-bagian objek yang tidak berada pada harga harga maksimum atau minimum intensitas relatif, maka besarnya deformasi dapat ditentukan dengan terlebih dahulu mencari harga intensitas relatifnya, I_{rel} , dan kemudian menghitungnya dengan hubungan yang berikut:

$$z(x) = \frac{\text{arc}(I_{rel} - 1)}{k(\cos \alpha + \cos \beta)} \quad [6]$$

dimana I_{rel} berharga antara 0 hingga 2.

Tabel 1. Hubungan antara posisi frinji-terang dengan simpangan.

Frinji-terang	Simpangan, z1		Frinji-gelap	Simpangan, z1	
	[nm]*	$x \lambda$		[nm]*	$x \lambda$
Pertama	365,3	0,58	Pertama	182,7	0,29
Kedua	730,7	1,16	Kedua	548,0	0,87
Ketiga	1096,0	1,73	Ketiga	913,4	1,44
Keempat	1461,4	2,31	Keempat	1278,7	2,02
Kelima	1826,7	2,89	Kelima	1644,1	2,60
Keenam	2192,1	3,46	Keenam	2009,4	3,18
Ketujuh	2557,4	4,04	Ketujuh	2874,6	3,75
Kedelapan	2922,8	4,62	Kedelapan	2740,1	4,33
Kesembilan	3288,1	5,20	Kesembilan	3105,5	4,91
Kesepuluh	3653,5	5,77	Kesepuluh	3470,8	5,48
Kesebelas	4018,8	6,35	Kesebelas	3836,1	6,06
Keduabelas	4384,2	6,93	Keduabelas	4201,5	6,64
Ketigabelas	4749,5	7,51	Ketigabelas	4566,8	7,22
Keempatbelas	5114,9	8,08	Keempatbelas	4932,2	7,79
Kelimabelas	5480,2		Kelimabelas	5297,5	8,37

Fringi-terang	Simpangan, z1		Fringi-gelap	Simpangan, z1	
	[nm]	$x \lambda$		[nm]*	$x \lambda$
Keenambelas	5845,6	9,24	Keenambelas	5662,9	8,95
Ketujuhbelas	6210,9	9,81	Ketujuhbelas	6028,2	9,53
Kedelapanbelas	6576,3	10,39	Kedelapanbelas	6393,6	10,10
Kesembilanbelas	6941,6	10,97	Kesembilanbelas	6758,9	10,68
Keduapuluh	7306,9	11,55	Keduapuluh	7124,3	11,26

Catatan: $\alpha = \beta = 30^\circ$. * $\lambda = 632,8 \text{ nm}$;

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

- Untuk mendapatkan rekaman holografi yang baik, maka panjang lintasan, perbandingan intensitas cahaya antara berkas objek dan berkas referensi, aliran udara di daerah percobaan (yang dilintasi berkas cahaya), lamanya penyinaran film, kebersihan komponen-komponen optik, karakteristik permukaan objek, dan kestabilan meja optik haruslah diperhatikan sekali sesuai dengan persyaratan.
- Interferometri holografi pencahayaan-ganda dapat digunakan untuk menentukan secara kualitatif maupun kuantitatif, dalam batas tertentu, deformasi statis yang terjadi pada objek.
- Analisa kuantitatif secara visual dibatasi oleh kemampuan pengamatan terhadap jumlah frinji yang terbentuk, yang ditentukan selain oleh besarnya

deformasi, juga ditentukan oleh sudut datang berkas objek dan sudut berkas rekonstruksi, dan efisiensi interferensi, yang ditentukan oleh kualitas berkas yang berinterferensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Max Born, Emil Wolf, *Principles of Optics; Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light*, Pergamon Press, New York, 1980
- Robert K. Erf, *Holographic Nondestructive Testing*, Academic Press, New York 1974
- John N. Butter, *Holography And Its Technology*, Peter Peregrinus Ltd., London 1971
- Francis T.S. Yu, *Optical Signal Processing Experimental Manual*, Electrical Engineering Department, The Pennsylvania state University, Pennsylvania, 1982