

## PENGUKURAN KECEPATAN ANGULAR PERMUKAAN DIFUSE DENGAN PEREKAMAN OBYEK REFLEKSI MENGGUNAKAN FOTOGRAFI SPEKEL

Deti Nurdiawati <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dosen Teknik Elektro, Universitas Darma Persada

### Abstract

Telah dilakukan pengukuran kecepatan angular suatu permukaan difus dengan perekaman obyek refleksi menggunakan metode fotografi spekel dengan sistim optik sederhana dan penyinaran tunggal (single exposure). Informasi ini diambil dengan teknik pointwise filtering. Pola spekel terjadi ketika obyek difus disinari oleh cahaya koherent dan direkam oleh negatif film. Untuk pengukuran kecepatan angular saat pencahayaan, obyek difus berputar saat itu pola spekel juga berputar dan masing-masing spekel memanjang. Perpanjangan spekel menjadi celah (rectangular slit) sehingga terjadi pola difraksi yang memberikan informasi tentang obyek. Obyek difus yang digunakan pelat ground glas diameter 2,8 cm. Sumber cahaya Laser He-Ne ( $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ), daya 30 mw. Kecepatan angular yang diberikan 2,3 deg/sec dan 1,36 deg/sec.

**Keywords** : \_ Spekel, Frinji, Difuse, Difraksi, Interferensi

### I. PENDAHULUAN

Pola-pola spekel Laser telah banyak digunakan untuk berbagai pengukuran di bidang sains dan industri. Sebagai salah satu aplikasinya adalah mengukur kecepatan dari obyek difuse yang bergerak. Metode-metode yang telah banyak dilakukan melibatkan teori yang sangat luas dan prosedur percobaan yang kompleks. Pada eksperimen ini untuk mengukur kecepatan angular dari obyek difuse transparan menggunakan teknik dan peralatan system optik yang sangat sederhana dan menggunakan single exposure. Sebagai informasi diambil ragam titik dan teknik filtering dari rekaman spekel yang diperoleh.

Salah satu metode untuk mengukur kecepatan angular, yaitu dengan perolehan pola frinji digunakan metoda fotografi konvensional. Metoda ini memberikan resolusi yang tinggi tetapi memerlukan waktu yang lama, karena diperlukan proses pengembangan, pencucian dan pengeringan.

Panjang gelombang masing-masing yang dihamburkan suatu permukaan mempunyai fase dan amplitudo relatif random. Sinar yang dihamburkan oleh permukaan tersebut akan saling berinterferensi dan menghasilkan bintik-bintik terang dan gelap. Bila pengamat bergerak, maka spekel nampak bergerak relatif terhadap obyeknya. Masing-masing spekel memberikan informasi tentang titik difus hemburannya. Gerakan spekel bergantung pada pergeseran obyeknya. Pelat kaca digunakan sebagai difus, disinari oleh cahaya koheren. Difuse diputar oleh motor dengan kecepatan putar di kontrol oleh kecepatan

motor yang tetap. Selama penyinaran putaran difus akan membuat setiap spekel yang direkam menjadi memanjang sehingga merupakan rectangular slit, karena melewati slit sehingga akan menghasilkan pola difraksi berupa pita terang dan gelap yang akan memberikan informasi mengenai obyek. Sistem filter pointwise akan menghasilkan frinji dengan besar dan arah sesuai gerakan spekel.

## II. TUJUAN

Mengukur kecepatan angular dari obyek difuse dengan perekaman obyek refleksi

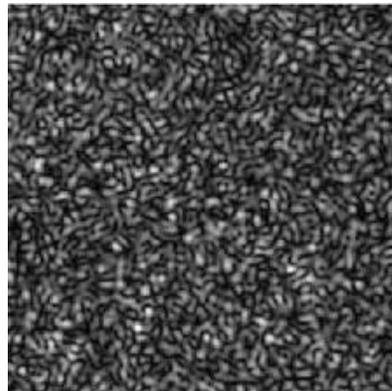
## III. TEORI SPEKEL

### 3.1 Laser Spekel

Spekel merupakan pola bintik terang dan gelap yang sangat halus terdistribusi secara acak menyelimuti permukaan obyek. Spekel terjadi apabila suatu objek yang mempunyai permukaan difus disinari dengan berkas cahaya monochromatic dan koheren. Berkas cahaya koheren dari cahaya yang dipantulkan atau di transmisikan oleh setiap permukaan tersebut akan menyebabkan interferensi, dan menghasilkan bintik terang dan gelap.

Panjang gelombang masing-masing yang dihamburkan suatu permukaan mempunyai fase dan amplitudo relatif random. Sinar yang dihamburkan oleh permukaan tersebut akan saling berinterferensi dan menghasilkan bintik-bintik terang dan gelap. Bila pengamat bergerak, maka spekel nampak bergerak relatif terhadap obyeknya. Masing-masing spekel memberikan informasi tentang titik difus hemburannya. Gerakan spekel bergantung pada pergeseran obyeknya.

Detektor seperti film ditempatkan pada susunan optik akan mengamati pola frinji interferensi (spekel) secara random akibat permukaan yang kasar karena fase cahaya yang dihamburkan akan berubah dari titik ke titik sesuai permukaan. Pola spekel yang dihasilkan oleh cahaya laser yang dihamburkan oleh permukaan tersebut seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pola Spekel

### 3.2 Ukuran Spekel

Spekel disebabkan oleh interferensi dari masing-masing panjang gelombang yang dihamburkan oleh permukaan yang mempunyai fase dan amplitudo yang random. Pola spekel terlihat dalam seluruh ruang tiga dimensi disekitar hamburan obyek dan tergantung medium hamburan dan tingkat angular saat gelombang diterima oleh pengamat. Ada dua buah tipe dasar pola spekel yaitu, obyektif dan subyektif tergantung pada pengamatan pola tersebut. Pengamatan ukuran spekel secara obyektif adalah cahaya yang dihamburkan oleh obyek langsung pada layar atau fotodetektor tanpa melalui bayangan dari sebuah alat optik, pola spekel obyektif diamati pada layar. Pola spekel yang dibentuk pada bidang adalah superposisi dari pola frinji yang dibentuk oleh cahaya yang dihamburkan oleh setiap pasangan pada diffuser. Pada pengamatan pola spekel subyektif sebelum mengenai layar atau fotodetektor digunakan sistim optik, sehingga pola spekel yang diamatai pada layar merupakan bayangan dari sebuah lensa. Ukuran spekel dapat berubah tergantung besar celah yang digunakan. Selain itu perbedaan pola spekel adalah tergantung pada jarak terhadap layar dan kekasaran permukaan, spekel menjadi lebih kecil ketika permukaan menjadi kasar.

Pola spekel yang dibentuk pada bidang dengan jarak  $Z$  dari difuser adalah superposisi dari pola frinji yang dibentuk oleh cahaya dari setiap pasangan setiap tempat pada difuser. Setiap dua tempat yang dipisahkan oleh jarak  $L$  menimbulkan frinji pada frekuensi  $L / (\lambda Z)$ . Untuk jarak pisah  $L$  yang kecil, jumlah pasangan titik-titik akan bertambah sesuai frekuensi. Maka jumlah pasangan dari titik yang dipisahkan oleh  $L$  akan menjadi  $(L-1)$ .

Ketika permukaan difus di sinari oleh cahaya koheren, akan nampak spekel pada permukaan. Hasil spekel didistribusikan secara random dalam ruang dan ukuran tergantung karakteristik dari permukaan, pada suatu tempat berbeda dari satu titik ke titik yang lain. Ukuran spekel pada film ditentukan oleh resolusi lensa ideal ( hanya pada difraksi ) diberikan oleh,

Spekel size pada bidang rekaman adalah :

$$d = 1.22 ( z / D ) \quad (1)$$

Dimana,  $D$  = diameter aperture lensa ( mm )

$z$  = jarak dari lensa ke bayangan / film ( cm )

$\lambda$  = panjang gelombang sinar laser ( nm )

Panjang gelombang obyek ground glas transaran yang diputar dengan kecepatan tetap, direkam pada suatu negatif film. Untuk memperoleh spekel digunakan sistim pencahayaan tunggal ( single exposure ). Hasil perekaman pola spekel yang terjadi disebut spekelgram, disinari kembali ( rekonstruksi ) dengancahayakoheren,masing-masing pasangan spekel yang tergeser berfungsi sebagai pasangan celah seperti pada percobaan Young. Masing-masing pasangan celah menimbulkan pola difraksi berupa pita terang dan gelap disebut frinji. Sehingga dari pola difraksi yang dihasilkan dapat diperoleh informasi citra obyek. Salah satu metoda untuk memperoleh pola frinji yaitu metode fotografi konvensional.

Metode ini memberikan resolusi yang tinggi tetapi memerlukan waktu yang lama, karena diperlukan proses pengembangan, pencucian dan pengeringan.

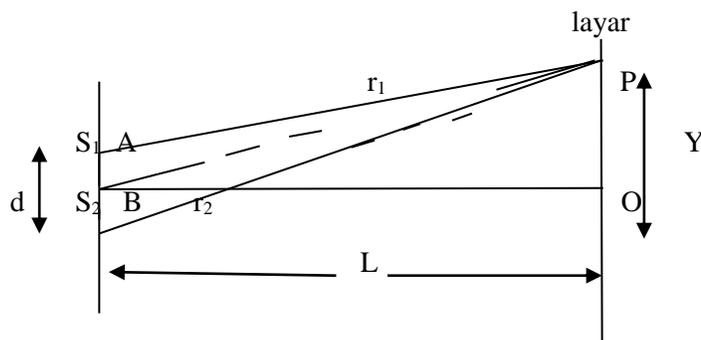
Spekel terjadi apabila suatu obyek yang mempunyai permukaan kasar (diffus) disinari dengan berkas cahaya koheren. Berkas yang dihamburkan oleh permukaan tersebut akan saling berinterferensi dan menghasilkan bintang terang dan gelap. Seberkas cahaya laser yang jatuh pada permukaan yang kasar dan acak akan dihamburkan melalui setiap titik pada permukaan obyek (gambar 2). Titik-titik yang berasal dari berkas hamburan obyek yang akan bersifat sebagai sumber cahaya baru yang koheren dengan fasa dan amplitudo yang berbeda satu dengan yang lain.

Untuk mencapai suatu titik pada layar, gelombang cahaya akan menempuh lintasan optik yang berbeda-beda. Akibatnya akan terjadi peristiwa interferensi, sehingga pada bidang citra akan terbentuk pola spekel. Pola difraksi pita terang dan gelap diamati dengan perangkat penapisan Fourer. Lebar pita terang, gelap dan posisinya tergantung pada jarak pasangan celah (pergeseran yang dialami spekel pada posisi tertentu dipermukaan obyek).

### 3.3 Interferensi

Interferensi adalah superposisi dua buah gelombang atau lebih. Fenomena interferensi pertama kali diteliti oleh Thomas Young. Seberkas cahaya laser yang jatuh pada permukaan yang kasar ( difus ) dan acak akan dihamburkan melalui setiap titik pada permukaan obyek. Titik-titik yang berasal dari berkas hamburan obyek yang akan bersifat sebagai sumber cahaya baru yang koheren dengan fasa dan amplitudo yang berbeda satu dengan yang lain.

Berkas cahaya yang melewati dua buah celah sempit  $S_1$  dan  $S_2$ . Kedua celah akan menjadi sumber cahaya baru. Superposisi amplitudo cahaya di titik P pada bidang pengamat menghasilkan pola terang dan gelap.



Gambar 3.1 Geometri Percobaan Young

$L$  = jarak celah ke layar ( m )

$d$  = jarak kedua celah ( mm )

$Y$  = posisi sebuah titik terang atau gelap pada layar ( mm )

Untuk mencapai suatu titik pada layar, gelombang cahaya akan menempuh lintasan optic yang berbeda. Akibatnya akan terjadi peristiwa interferensi, sehingga pada bidang citra akan terbentuk pola spekel. Masing-masing spekel mempunyai peranan penting yang memberikan informasi tentang titik difus hamburannya.

Dua buah sinar AP dan BP berinterferensi. Hasil interferensi pada layar bisa konstruktif (garis terang) dan destruktif (garis gelap), tergantung selisih panjang lintasan kedua sinar.

Fungsi gelombang (amplitudo cahaya kompleks) pada titik P adalah :

$$S(P) = S_1 + S_2 \quad (2)$$

Dimana :  $S_1(r,t) = A_1 \cos(k_1 r_1 + \omega t - \epsilon_1)$

$$S_2(r,t) = A_2 \cos(k_2 r_2 + \omega t - \epsilon_2)$$

Dua buah sumber cahaya mempunyai frekuensi yang identik. Interferensi pada titik P disebabkan oleh superposisi gelombang  $S_1$  dan  $S_2$  yang memberikan intensitas,

$$\begin{aligned} I(p) &= \{ |S(p)|^2 \} = [S_1 + S_2][S_1 + S_2]^* \quad (3) \\ &= |S_1|^2 + |S_2|^2 + S_1^* S_2 + S_1 S_2^* \\ &= I_1 + I_2 + I_3 \end{aligned}$$

Dimana :

$$I_1 = \langle |S_1|^2 \rangle \quad \text{dan} \quad I_2 = \langle |S_2|^2 \rangle$$

$$I_{12} = S_1^* S_2 + S_1 S_2^*$$

$I_{12} = S_1 S_2 \cos \delta$  ----->  $\delta$  adalah perbedaan fase diantara gelombang antara dua sumber

$$\delta = (kr_2 - \omega t - \epsilon_2) - (kr_1 - \omega t - \epsilon_1) \quad (4)$$

Intensitas cahaya pada titik P :

$$I(p) = I_1 + I_2 + 2 I_1 I_2^{1/2} \cos \delta \quad (5)$$

Jika kedua sumber mempunyai amplitudo yang sama, kemudian

$$I(p) = 2 I_0 + 2 I_0 \cos \delta = 2 I_0 (1 + \cos \delta) = 4 I_0 \cos^2 (\delta/2) \quad (6)$$

Dimana :  $\delta = k(r_2 - r_1) = k \Delta$

untuk,  $d \ll L$  ,  $\Delta = d \sin \theta$  sehingga perbedaan fase menjadi

$$\delta = (2\pi / \lambda) d (Y/L) \quad ; \quad I(p) = 4 I_0 \cos^2 \{ (Y d / \lambda L) \pi \} \quad (7)$$

Pita terang ( intensitas maximum) terjadi pada kondisi,

$$(Y d / \lambda L ) \pi = 0 , \pm \pi , \pm 2\pi , \dots\dots$$

$$m \pi = (Y d / \lambda L ) \pi \quad \text{-----> } m = 0 , \pm 1 , \pm 2 , \dots\dots\dots$$

$$d \sin \theta = Y d / L \quad \text{-----> } m \lambda = Y d / L$$

$$d \sin \theta = m \lambda \tag{8}$$

$\lambda$  = panjang gelombang

$$\cos^2 ( Y d / \lambda L ) \pi = 1$$

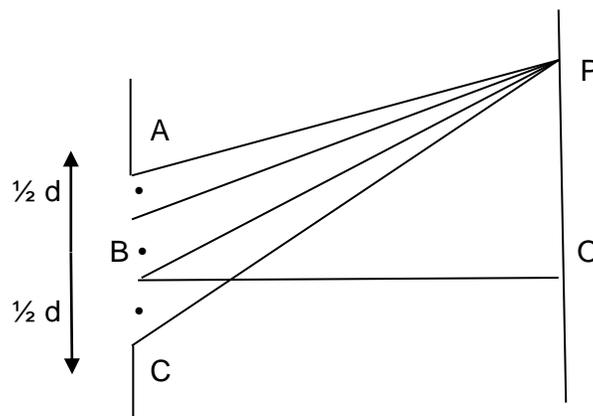
Jarak dari pita terang ke terang berikutnya atau dari pita gelap ke gelap berikutnya adalah :

$$\Delta Y = L \lambda / d \tag{9}$$

**3.4 Difraksi (lenturan)**

Difraksi gelombang cahaya dapat terjadi jika gelombang cahaya melalui celah sempit, dengan lebar celah lebih kecil dari panjang gelombang. Berkas cahaya sejajar yang datang menuju celah akan menyebar setelah melewati celah. Disepanjang celah itu, terbentuk sumber-sumber gelombang baru yang koheren yang selanjutnya akan berinterferensi. Jika didepan celah dipasang layar, maka akan terlihat pola terang dan gelap, yang disebut pola difraksi.

Pola difraksi pita terang dan gelap diamati dengan perangkat penapisan Fourier. Lebar pita terang , gelap dan posisinya tergantung pada jarak pasangan celah (pergeseran yang dialami spekel pada posisi tertentu dipermukaan obyek).



Gambar 3.2. Difraksi Celah Ganda

Selisih lintasan gelombang B dengan C adalah,  $\delta = \frac{1}{2} d \sin \theta$

Selisih kedua gelombang =  $\frac{1}{2} \lambda$  ,  $\lambda \delta = \frac{1}{2} \lambda$

maka setiap pasangan menghasilkan interferensi destruktif ( titik P gelap )

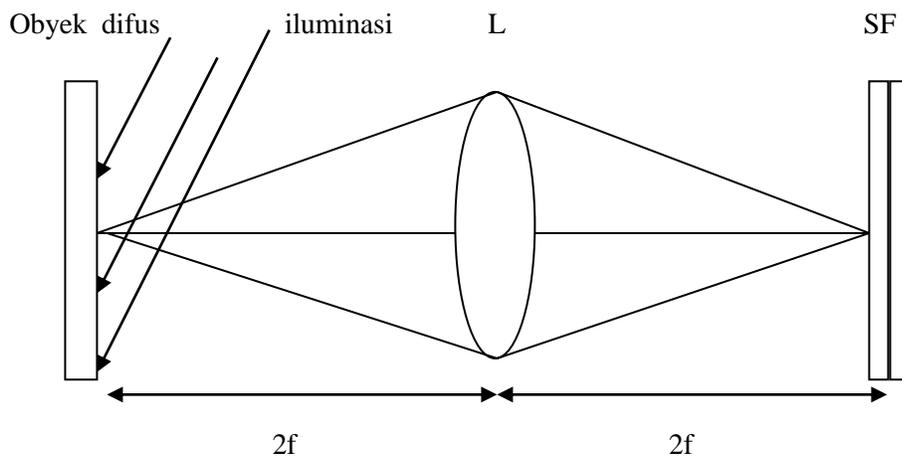
$$\delta = \frac{1}{2} \lambda \text{ -----> } d \sin \theta = n \lambda \text{ , } n = 1,2,3,\dots \quad (10)$$

dan terjadi interferensi konstruktif ( titik P terang )

$$d \sin \theta = ( 2n - 1 ) \frac{1}{2} \lambda \text{ , } d = \text{lebar celah} \quad (11)$$

### 3.5 Spekel fotografi

Sebuah obyek difus berbentuk pelat datar, disinari dengan cahaya koheren, pola spekel yang dihasilkan oleh permukaan obyek direkam pada film. Prinsip dasar spekel fotografi seperti gambar 2.4.



Gambar 3. Perekaman Spekel

Bayangan spekel dari permukaan obyek dibentuk pada film yang disebut spekelgram dengan panjang focus  $f$  dan diameter aperture  $D$ . Bayangan yang dihasilkan pada bidang film akan diatur secara random sebagai pola spekel dengan karakteristik  $d$  yang ditentukan oleh aperture lensa. Ukuran spekel yang direkam adalah  $d$ . Untuk sistim bayangan adalah fokus pada jarak terhadap bidang  $Z \approx f =$  panjang fokus lensa,

$$d = 1,22 ( \lambda / D ) 2 f \quad (12)$$

Susunan percobaan untuk merekam spekel fotografi untuk mengukur kecepatan angular. Dalam percobaan digunakan berkas cahaya laser He-Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm, diameter 1 mm. Berkas cahaya diperbesar 20x. Diantara lensa pembesar dan

kolimator diletakkan lensa dengan pinhole 50  $\mu\text{m}$ . Cahaya laser setelah melalui kolimator, diarahkan ke difuser. Pola spekel direkam oleh Fuji Minicopy Film Panchromate HR II resolusi tinggi.

Selama penyinaran, difuser berputar dan perpanjangan spekel  $wTR$ , dimana  $w =$  kecepatan angular. Perpanjangan spekel lebih panjang jika digerakkan dari pusat rotasi. Amplitudo kompleks yang direkam pada spekelgram adalah :

$$U(\xi, \eta) = D(x, y) \cdot \text{rect}(x/R\theta) \quad (13)$$

Dimana,  $D(x, y) =$  amplitudo transmisi dari difuser pada bidang  $x, y$  Distribusi amplitudo pada bidang Fourier [andaikan bahwa transmisi dari spekelgram sebanding dengan  $U(\xi, \eta)$

$$F\{U(\xi, \eta)\} = U(\mu_x, \nu_y) = D(\mu_x, \nu_y) R\theta \sin \pi R \mu_x \theta / \pi R \mu_x \theta. \quad (14)$$

Distribusi irradians dapat ditulis sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \{F[U(\xi, \eta)]\}^2 &= \{D(\mu_x, \nu_y) R\theta \sin \pi R \mu_x \theta / \pi R \mu_x \theta\}^2 \\ &= D^2(\mu_x, \nu_y) R^2 \theta^2 \text{sinc}^2 R\theta \mu_x \end{aligned} \quad (16)$$

Yang dimodulasi oleh  $\text{sinc}^2$  frinji. Distribusi irradians minimum diperoleh pada

$$\pi R \mu_x \theta = m\lambda \quad \text{dan} \quad R\theta = \lambda z / x \quad (17)$$

Dimana,  $R\theta = wTR$ , sehingga

$$w = \lambda z / x RT \quad (18)$$

$x =$  jarak diantara dua minimum yang berturutan ( cm )

$R =$  jari-jari dari sebuah titik ( mm )

$T =$  waktu penyinaran ( sec )

$W =$  kecepatan angular ( deg/sec )

$z =$  jarak lensa ke bayangan / film ( cm )

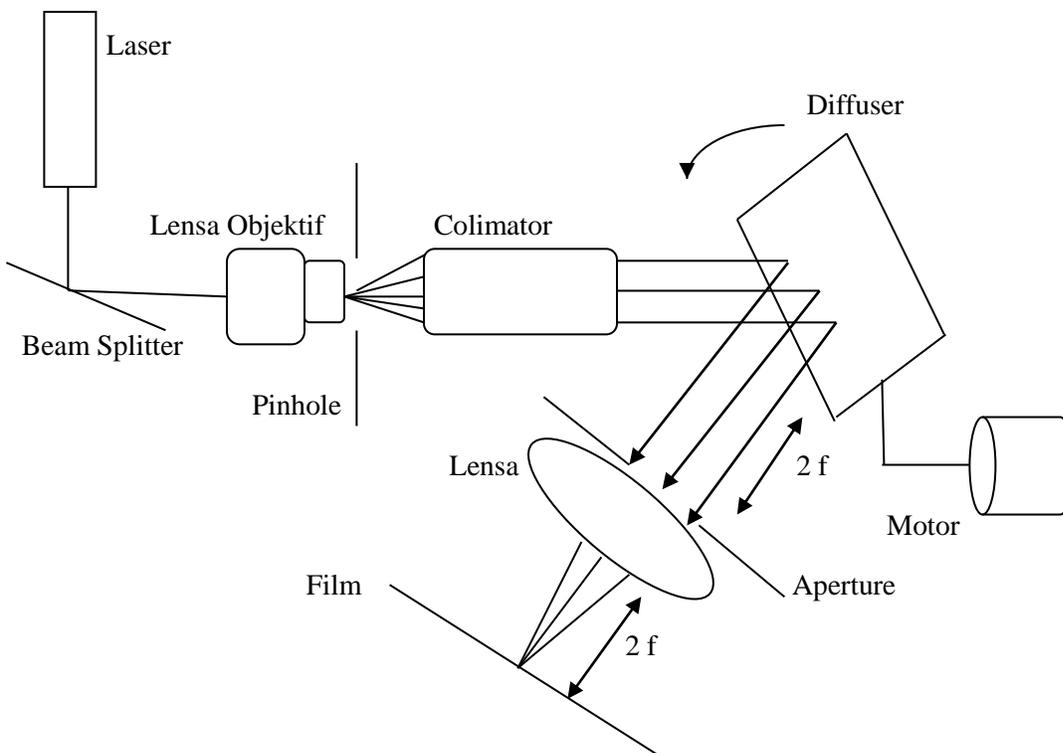
#### IV. PERCOBAAN

Susunan percobaan untuk merekam spekel fotografi pada pengukuran kecepatan angular ( gambar 4.1 dan gambar 4.2 ). Dalam percobaan digunakan sumber cahaya laser He-Ne dengan daya 30 mwatt, panjang gelombang 632,8 nm. Obyek yang digunakan adalah ground glas dengan diameter antara 0,5 mm sampai 2,3 mm. Berkas cahaya diperbesar oleh lensa obyektif mikroskop dengan perbesaran 20x. Berkas laser dikolimasikan oleh lensa (Lensa kolimator), digunakan agar menghasilkan berkas yang paralel. Diantara

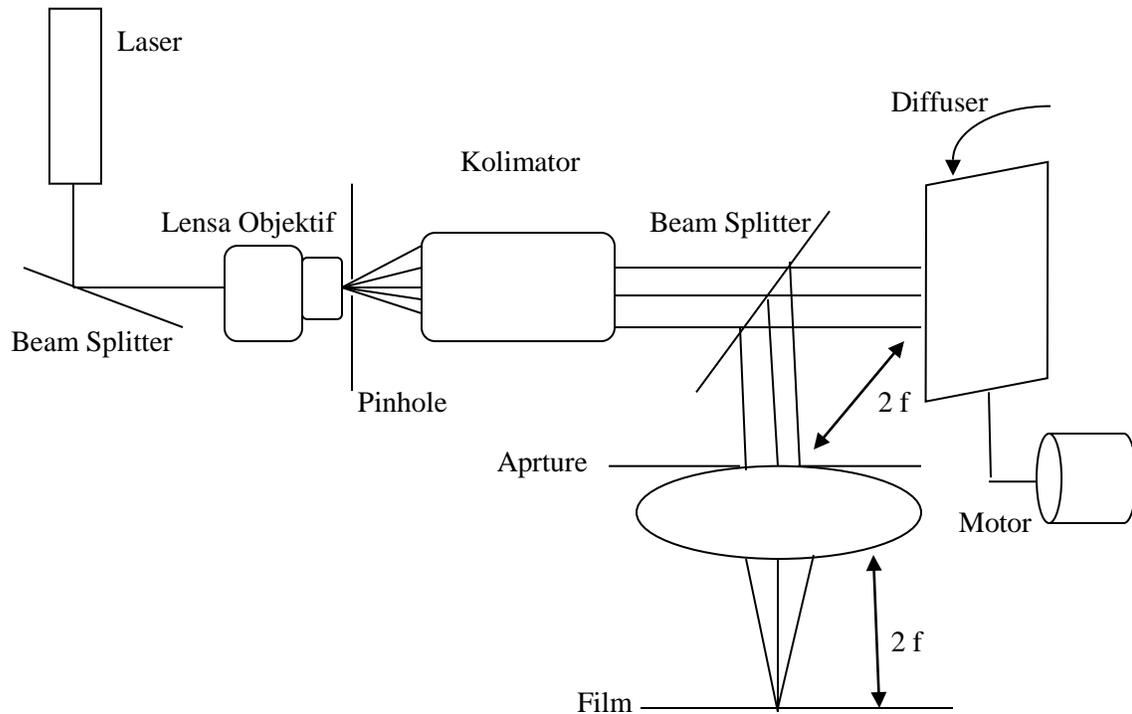
lensa pembesar dan kolimator diletakkan lensa dengan pinhole 50  $\mu\text{m}$ . Cahaya laser setelah melalui kolimator, diteruskan ke difuser yaitu ground glas sebagai penghasil spekel. Objek diffuse ( ground glas ) diputar oleh motor dengan kecepatan tetap yang ditentukan oleh kecepatan dari motor. Pada penelitian ini dicoba untuk beberapa kecepatan rotasi difuser yaitu pada kecepatan 2,3 deg/sec dan 1,36 deg/sec.

Bayangan dari rotasi difuser direkam oleh film pada setiap periode  $T$  dengan perbesaran 1 ( $M = 1$ ). Seperti putaran difuser pola spekel juga berputar. Setelah spekelgram disinari kemudian memfilter pointwise berbagai titik pada spekelgram untuk mendapatkan kecepatan angular. Setelah penyinaran, pola spekel direkam oleh Fuji Minicopy Film Panchromate HR II resolusi tinggi. Untuk menentukan kecepatan angular dari objek yang berputar dengan mengamati pola difraksi pada film dan dihitung sesuai dengan persamaan (18).

Susunan percobaan untuk mengukur kecepatan objek diffuse menggunakan spekel fotografi seperti pada gambar 3.



Gambar 4.1. Set-Up perekaman objek refleksi



Gambar 4.2. Set-Up perekaman objek refleksi dengan beam splitter

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan utama pada percobaan ini adalah menentukan kecepatan angular dari obyek yang berputar dengan mengamati pola difraksi. Pembacaan pola difraksi dan perhitungan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 dan table 2.

Untuk kecepatan angular 2,3 deg/sec dan 1,36 deg/sec, daya laser 30 mw dan panjang focus 8 cm.

- Filter pada jarak ( 0,Y ) mm dari sumbu
- Filter pada jarak ( X,Y ) mm dari sumbu

Pembacaan pola difraksi dan hasil perhitungan dari objek refleksi untuk kecepatan angular yang diberikan 2,3 deg/sec dan 1,36 deg/sec :

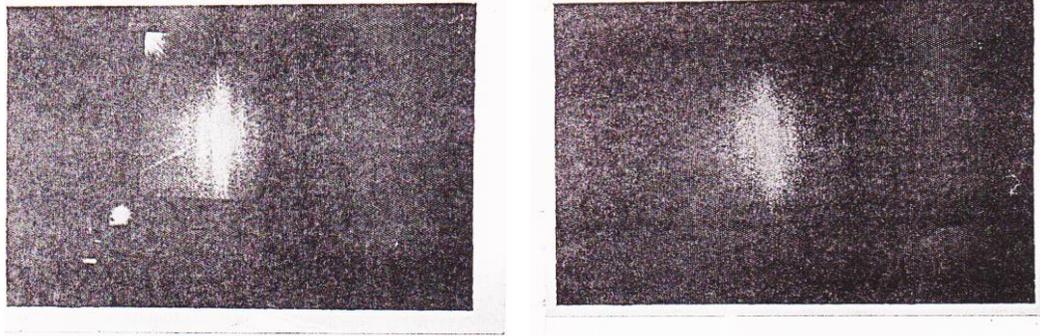
**Tabel 1 :****Pembacaan dari pola difraksi dan hasil perhitungan obyek refleksi dengan beam splitter.**

No	Daya Laser (mW)	Pjg Fokus (cm)	R (mm)	X (cm)	Z (cm)	W <sub>m</sub> (deg/sec)	W <sub>g</sub> (deg/sec)	Error (%)	X*R	Rata-rata error	Kondisi
1	30	8	0,4	2,60	120	2,921	2,3	26,98	1,04	19,44	T=1/8 sec
			0,5	2,35	120	2,585	2,3	12,39	1,175		Apt = 5 mm
			0,6	2,00	120	2,531	2,3	10,05	1,2		
			0,8	1,80	120	2,109	2,3	8,29	1,44		
			1,5	1,30	120	1,558	2,3	32,28	1,95		
			2,0	0,90	120	1,687	2,3	26,63	1,8		
2	30	8	0,7	2,90	123	1,534	1,36	12,77	2,03	12,06	T=1/8 sec
			0,9	2,70	123	1,281	1,36	5,79	2,43		Apt = 5 mm
			1,2	2,30	123	1,128	1,36	17,06	2,76		
			1,3	2,00	123	1,197	1,36	11,95	2,6		
			1,8	1,40	123	1,235	1,36	9,16	2,52		
			2,2	0,90	123	1,572	1,36	15,62	1,98		

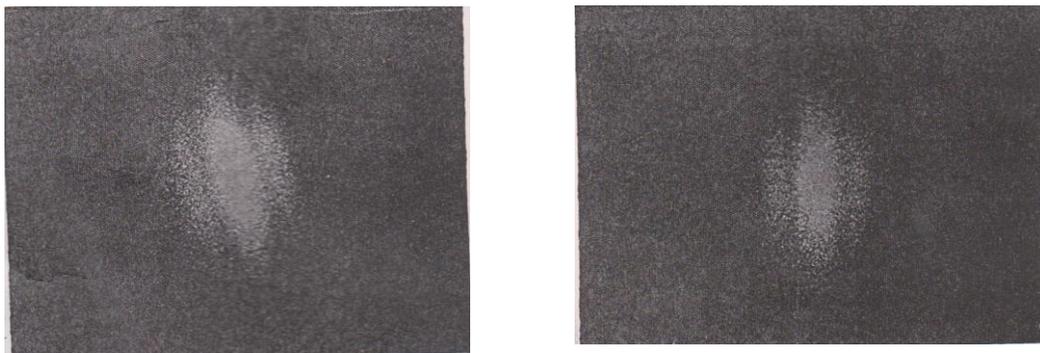
**Tabel 2 :****Pembacaan dari pola difraksi dan hasil perhitungan obyek refeksi**

No :	Daya Laser (mW)	Panjang Fokus (cm)	W <sub>g</sub> (deg/sec)	Kondisi
1	30	2,2	3,33	T = ¼ sec, Apt = 10 mm
2	30	2,2	2,30	T = ¼ sec, Apt = 7 mm
3	30	2,2	1,36	T = ¼ sec, Apt = 15 mm

Fotografi obyek refleksi yang diperoleh dengan pointwise filtering yang direkam spekelgram pada kecepatan 2,3 deg/sec ( gambar 5.1a) dan pada kecepatan 1,36 deg/sec (gambar 5.1b), daya laser 30 mwatt dan panjang focus 8 cm.



Gambar. 5.1a



Gambar. 5.1b

## VI. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan dari pengukuran obyek difus rotasi dengan spekel fotografi dengan perekaman obyek secara refleksi.

Secara eksperimen, penggunaan laser He-Ne pada daya 30 mW, panjang gelombang 632,8 nm, panjang fokus 8 cm dan kecepatan angular 2,30 deg/sec dan 1,36 deg/sec, diperoleh hasil rata-rata 2,232 deg/sec dan 1,324 deg/sec. Kesalahan terkecil diperoleh pada kecepatan angular 2,3 deg/sec. Pada metode ini tidak mengharuskan lokasi pusat rotasi, karena pada analisa menunjukkan setiap titik pada spekelgram dapat memberikan hasil kecepatan angular yang tidak terlalu jauh dengan kecepatan yang diberikan.

**VII. DAFTAR PUSTAKA**

1. A. F. Fercher, "Velocity Measurement by First Order Statistics of Time-Differentiated Laser Speckles," *Opt. Commun.* 33,129-135 (1980)
2. C.S Narayana Murthy, "Measurement of angular velocity using speckel photography" *App.Opp.* Vol. 30. No. 22 (1991)
3. Jenkin F.A., H. EE. White, *Fundamental of Optics*, Mc Graw Hill (1957).J. D. Briers and I. G. Angus, "Speckle Photography Applied to the Measurement of In-Plane Rotation," *Opt, Acta* 26(10), 1229-1231 (1079)
4. J. D. Briers and I. G. Angus, "Speckle Photography Applied to the Measurement of In-Plane Rotation," *Opt, Acta* 26(10), 1229-1231 (1079)
5. J. Ohtsubo and T. Asakura, "Velocity Measurement by a Diffuse Object by Using Time – Varying Speckles," *Opt. Quantum Electron.* 8, 523-529 (1976)
6. Max Born and Emil Wolf, *Principles of Optic*, (1993)
7. Rajpal S. Sirohi, *Speckle Metrology*, (1993)
8. S.G. Lipson, Ph.d and H. Lipson, F.R.S : *Optical Physics*, Cambridge University Press, USA, (1968)