

---

## MENENTUKAN KOEFISIEN EKSPANSI LINIER BATANG KUNINGAN DENGAN TEKNIK ESPI (*ELECTRONIC SPECKLE PATTERN INTERFEROMETRY*)

<sup>1</sup>Edi Tri Astuti, <sup>1</sup> Suryadi, <sup>2</sup>Zona Mabrura Ishaq, dan <sup>3</sup>Ahmad Paiz

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

<sup>2</sup>Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Andalas, Padang

<sup>3</sup>Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta

### ABSTRAK

Telah dilakukan eksperimen untuk menentukan koefisien ekspansi linier batang kuningan dengan teknik ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry). Objek uji yang digunakan terbuat dari kuningan dengan diameter 45 mm, panjang 44 mm, dan dikenai beban thermal dari temperatur 30°C sampai dengan 40°C menggunakan heater (pemanas) yang ditempelkan erat dibelakang objek. Data citra spekel selama pemanasan diamati dan setiap selang waktu 1 menit disimpan di memori komputer untuk diproses. Pemrosesannya dilakukan dengan cara mensubtraksikan (mengurangkan) ke dua citra spekel pixel per pixel dan hasilnya ditampilkan di layar monitor dalam bentuk pola frinji. Dari eksperimen diperoleh harga koefisien ekspansi linier kuningan  $\alpha = (1,96 \pm 0,02)10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  dengan standard deviasi terhadap rata-rata sebesar 1,02%.

**Kata kunci:** ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry), thermal, heater, citra, koefisien ekspansi linier .

### ABSTRACT

*An experiment to determine the linear coefficient of expansion for the brass rod have been done by using the ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry) technique. The specimen we used were brass with diameter 45 mm, length 44 mm, and thermal loaded from temperature 30 °C up to 40 °C use heaters behind object. The image speckle data for each 1 menit during thermal were record by the computers. Its process done by subtraction to image speckle data pixel by pixel, and the result presented on monitor screen in the fringe pattern. From experiment obtained that the average value of the linear coefficient of expansion for the brass is,  $\alpha = (1,96 \pm 0,02)10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  with the deviation from average value is 1.02 %.*

**Keywords:** ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry), thermal, heater, image, the linear coefficient of expansion

## I. PENDAHULUAN

Secara umum respon objek terhadap beban yang diberikan dapat mengakibatkan deformasi, dan itu dapat terjadi di daerah elastik, plastik maupun terjadinya patah static [1-3]. Pada daerah elastik, bila beban yang diberikan berupa thermal (panas) maka objek akan bertambah panjang, dan sebaliknya bila beban yang diberikan berupa pendinginan maka objek akan menyusut.

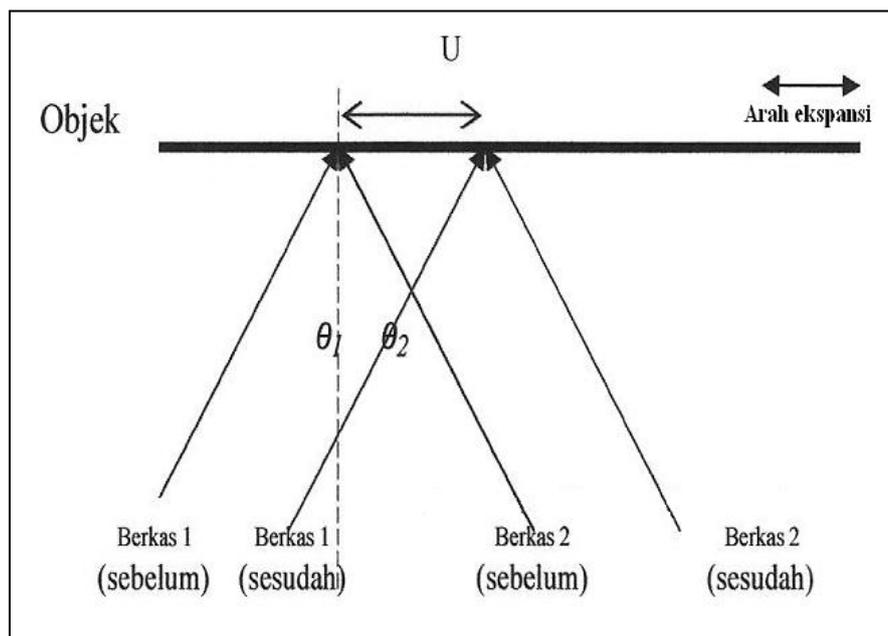
Koefisien ekspansi linier dari sebuah objek didefinisikan sebagai perubahan panjang suatu objek karena adanya kenaikan temperatur 1°C. Untuk menentukan koefisien ekspansi linier ini secara

akurat maka perubahan panjang dari objek terhadap kenaikan temperatur harus diamati dengan seksama. Banyak metode yang telah dilakukan seperti: mikrometer kapasitas, x-ray, interferometri ultrasonik, dll. Metode-metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Oleh karena alasan itu maka diperlukan suatu teknik pengukuran yang lebih akurat dan tidak merusak, yaitu dengan teknik ESPI. Metode ESPI yang digunakan adalah teknik berkas ganda. Prinsip kerjanya didasarkan pada fenomena interferensi acak gelombang cahaya koheren yang dihamburkan dari suatu permukaan objek uji yang difus, hasil dari penyinaran cahaya laser yang dikombinasikan dengan komputer pengolah citra [1]. Konsep dasarnya adalah merekam citra spekel dari objek uji sebelum dan sesudah deformasi dengan kamera CCD. Data citra spekel disimpan di memori komputer untuk selanjutnya disubstraksikan secara piksel per piksel dan hasilnya ditampilkan di layar monitor dalam bentuk pola frinji.

## II. METODOLOGI

### 2.1. Teknik ESPI.

Konsep dari teknik ini adalah dengan merekam citra spekel sebelum deformasi dan sesudah deformasi dengan menggunakan kamera CCD dan selanjutnya disimpan di memori komputer untuk diolah. Pengolahannya adalah dengan mensubtraksikan (mengurangkan) ke dua citra spekel pixel per pixel dan hasilnya ditampilkan di layar monitor dalam bentuk pola frinji. Secara matematis hal tersebut dapat diuraikan sebagai berikut (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Prinsip teknik ESPI [1].

Misalkan intensitas cahaya yang direkam sebelum terjadinya deformasi adalah [1]:

$$I_1 = |a_1|^2 + |a_2|^2 + 2|a_1||a_2| \cos\varphi \quad (1)$$

dimana  $a_1$  dan  $a_2$  adalah amplitudo dan  $\varphi$  adalah beda fasa dari berkas pertama dan berkas kedua pada kondisi awal terhadap bidang normal. Pada saat objek dikenai beban, objek mengalami deformasi sebesar  $U$ . Pada saat ini besarnya intensitas cahaya sesudah deformasi adalah:

$$I_2 = |a_1|^2 + |a_2|^2 + 2|a_1||a_2| \cos(\varphi + \Delta\varphi) \quad (2)$$

dimana  $\Delta\varphi$  adalah beda fasa ke dua berkas sesudah deformasi.

Kedua data tersebut kemudian disubtraksikan pixel per pixel dengan menggunakan program pengolah citra dan hasilnya ditampilkan di layar monitor dalam bentuk pola frinji. Jika amplitudo  $|a_1| = |a_2| = A$ , maka rumusnya menjadi [1]:

$$\begin{aligned} \Delta I &= |I_2 - I_1| \\ &= 4A^2 \left| \sin\left(\varphi + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \right| \end{aligned} \quad (3)$$

Perubahan intensitas  $\Delta I$  terhadap waktu terlalu cepat untuk diamati oleh mata ataupun kamera, sehingga yang dapat diamati hanyalah intensitas rata-rata:

$$\Delta I = 4A^2 \left| \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \right| \quad (4)$$

Untuk  $\Delta\varphi/2 = n\pi$  maka harga  $\Delta I = 0$  (terjadi garis gelap) dan bila  $\Delta\varphi/2 = (n + \frac{1}{2})\pi$  maka harga  $\Delta I = 1$  (terjadi garis terang) untuk  $n = 0, 1, 2, 3$ , dst.

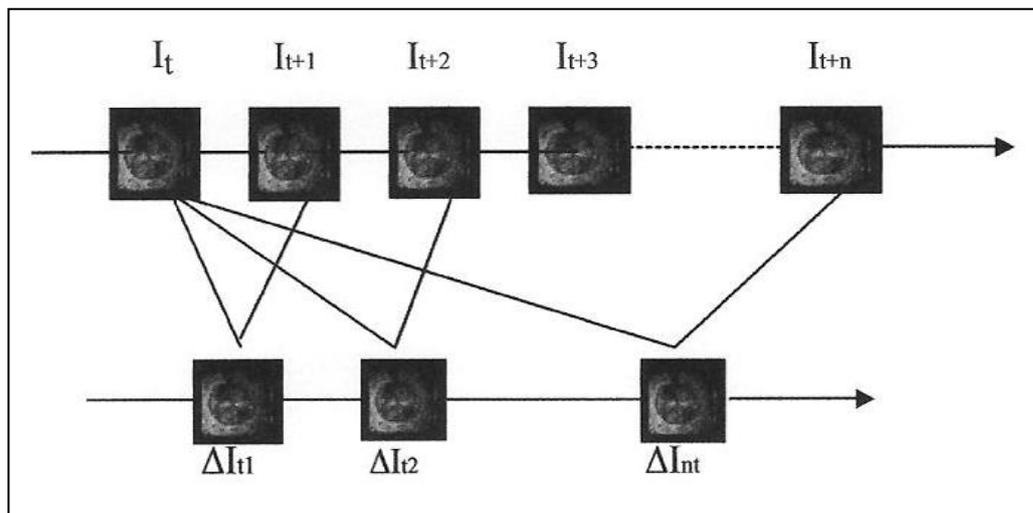
Besarnya deformasi arah in-plane  $U$  ditentukan melalui persamaan matematik [1]:

$$U = \frac{m\lambda}{2\sin\theta} \quad (5)$$

dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang cahaya,  $m$  adalah jumlah pola frinji dan  $\theta$  adalah besarnya sudut datang terhadap bidang normal.

## 2.2. Pengolahan Data Citra Spekel.

Selama objek dikenai beban thermal, data citra spekel direkam secara terus menerus dengan selang waktu  $\Delta t$  oleh kamera dan disimpan di dalam memori komputer. Untuk mengetahui keadaan deformasi maka dilakukan proses subtraksi setiap pixel dari dua citra spekel  $I_t$  dan  $I_{t+p\Delta t}$  secara kontinu seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Proses pengolahan ini menghasilkan pola frinji  $\Delta I_t, \Delta I_{t+1}$  dan  $\Delta I_{t+2}, \dots, \Delta I_{t+n}$ .



Gambar 2. Pengolahan citra spekel [1].

## 2.3. Menentukan Koefisien Ekspansi Linier.

Efek-efek yang biasa terjadi akibat perubahan temperatur adalah perubahan ukuran dan perubahan keadaan bahan. Perubahan dimensi linier dari suatu objek, seperti panjang, lebar, atau tebalnya karena adanya kenaikan temperatur  $1^\circ\text{C}$  dinamakan koefisien ekspansi thermal linier atau koefisien ekspansi linier. Jika suatu objek memiliki panjang linier  $L$  pada temperatur  $T$ , maka perubahan panjang yang berasal dari suatu perubahan temperatur  $\Delta T$  adalah  $\Delta L$  yang dapat dituliskan sebagai [1]:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (7)$$

dengan  $\alpha$ , yang dinamakan koefisien ekspansi linier, mempunyai nilai yang berbeda-beda untuk bahan-bahan yang berbeda. Dengan menuliskan kembali rumus ini maka kita dapatkan:

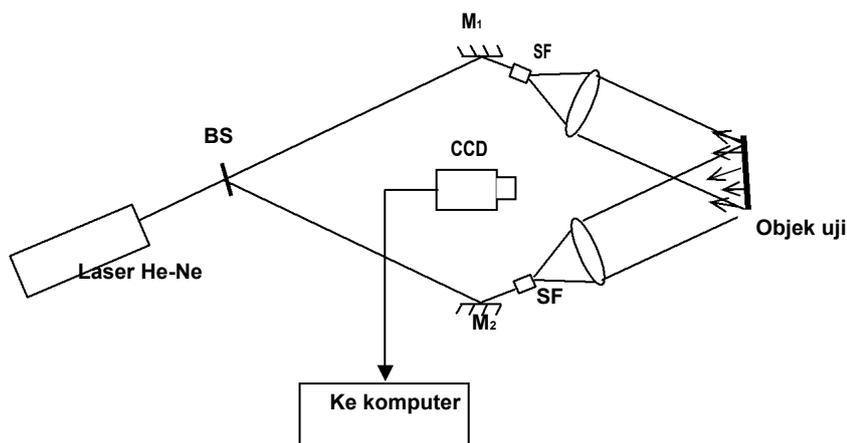
$$\alpha = \frac{\Delta L}{\Delta T^L} \quad (8)$$

sehingga  $\alpha$  mempunyai arti sebagai bagian perubahan panjang per derajat perubahan temperatur. Untuk menentukan koefisien ekspansi linier dalam makalah ini digunakan rumus berikut dibawah ini [4,5]:

$$\alpha = \frac{m\lambda}{2\sin\theta L \Delta T} \quad (9)$$

### III. EKSPERIMEN DAN HASIL

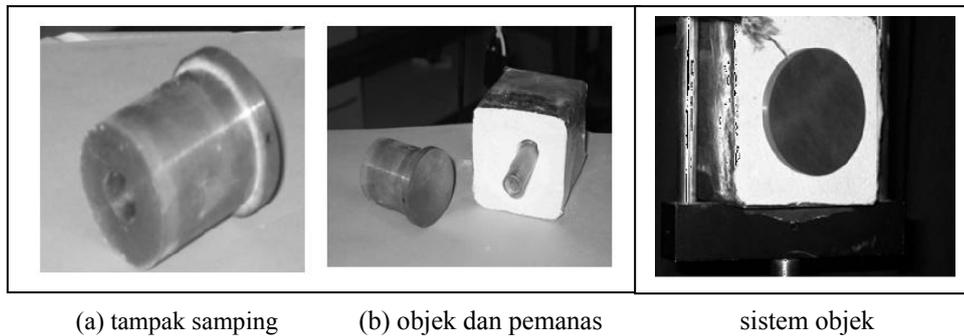
Teknik ESPI yang digunakan pada eksperimen ini adalah teknik ESPI berkas ganda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 [3,6,7].



Gambar 3. Diagram skematik sistem ESPI berkas ganda [3].

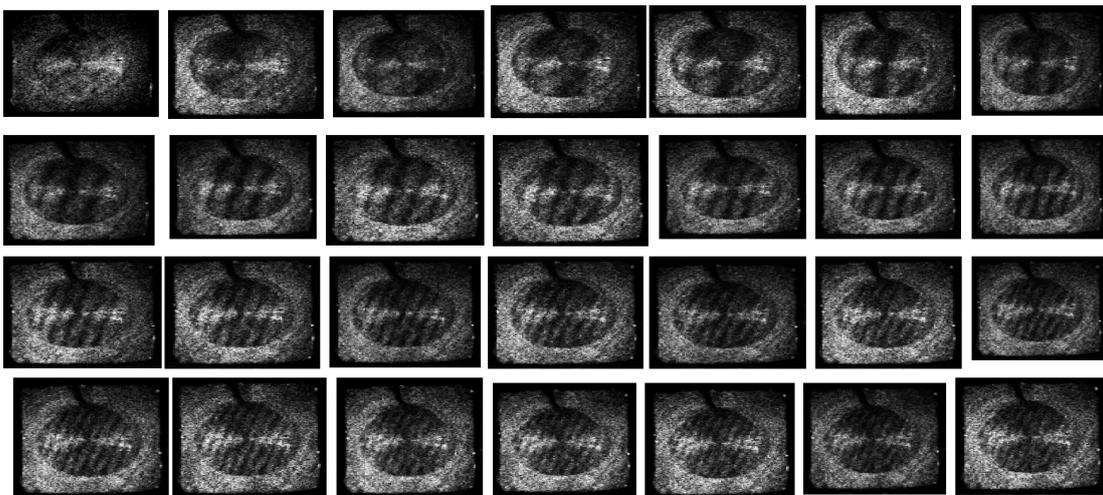
Berkas cahaya monokromatis dan koheren yang digunakan pada interferometer ini berasal dari sumber laser He-Ne dengan  $\lambda = 632,8$  nm dan daya 25 mW. Laser digunakan sebagai sumber cahaya untuk menerangi permukaan objek uji. Keluaran berkas laser dibagi menjadi dua berkas optik oleh pembagi berkas. Sebagian berkas dipantulkan oleh cermin 1 dan disebarkan oleh lensa objektif sehingga dapat menyinari objek secara merata. Dengan cara yang sama sebagian berkas lainnya dipantulkan oleh cermin 2 dan disebarkan oleh lensa objektif agar dapat menyinari objek sehingga membentuk interferometer antara berkas yang satu dengan berkas yang lainnya. Besarnya sudut datang berkas cahaya laser terhadap bidang normal pada objek uji  $\theta$  adalah  $27^{\circ}$ . Citra objek direkam dengan kamera CCD.

Objek yang digunakan pada eksperimen ini adalah batang kuningan dengan diameter 45 mm, panjang 44 mm, tebal 5 mm, dan dengan diameter lubang 8 mm yang dibentuk sedemikian rupa untuk memasukkan heater seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Objek uji.**

Objek dikenai beban thermal menggunakan pemanas (heater) yang ditempelkan erat dari belakang objek dengan perubahan temperatur konstan sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ . Data citra spekel selama pemanasan setiap selang waktu 1 menit direkam di memori komputer. Pola frinji hasil subtraksi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5 . Pola frinji hasil subtraksi selama pemanasan  $t=1 - 28$  menit.**

Jumlah frinji (m) bertambah dengan pertambahan temperatur. Hasil perhitungan deformasi in-plane dan koefisien ekspansi linier dapat dilihat pada Tabel 1.

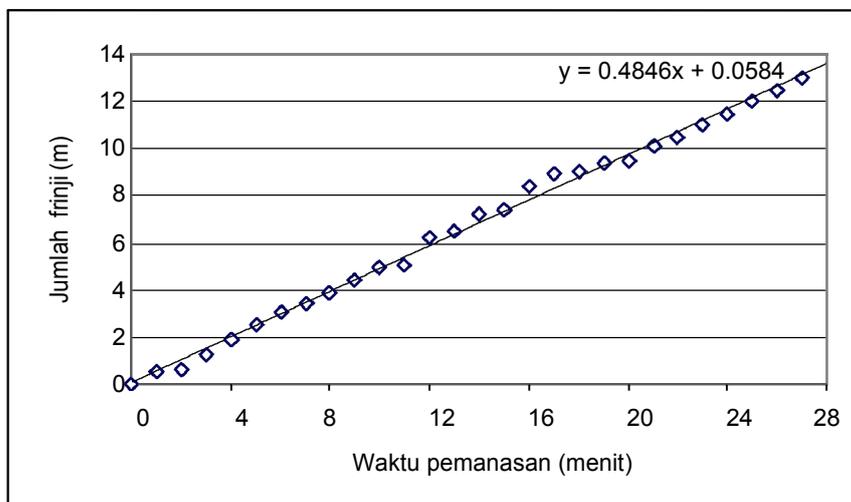
**Tabel 1. Waktu pemanasan terhadap jumlah frinji dan koefisien ekspansi linier**

Wakt u (mnt)	Temp ( °C)	Beda temp ( °C)	Jumlah frinji (m)	U ( $\propto$ m)	$\alpha$ ( °C)	Wakt u (mnt)	Temp ( °C)	Beda temp ( °C)	Jumlah frinji (m)	U ( $\propto$ m)	$\alpha$ ( °C)
1	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	15	35.90	5.90	7.20	4.85	1.87E-05
2	30.40	0.40	0.50	0.34	1.91E-05	16	36.00	6.00	7.40	4.99	1.89E-05
3	30.50	0.50	0.60	0.40	1.84E-05	17	36.50	6.50	8.40	5.66	1.98E-05
4	31.00	1.00	1.30	0.88	1.99E-05	18	36.90	6.90	8.90	6.00	1.98E-05
5	31.50	1.50	1.90	1.28	1.94E-05	19	37.00	7.00	9.00	6.07	1.97E-05
6	31.90	1.90	2.50	1.68	2.02E-05	20	37.50	7.50	9.40	6.33	1.92E-05
7	32.00	2.00	3.10	2.09	2.37E-05	21	37.90	7.90	9.50	6.40	1.84E-05
8	32.50	2.50	3.40	2.29	2.08E-05	22	38.00	8.00	10.10	6.81	1.93E-05
9	33.00	3.00	3.90	2.63	1.99E-05	23	38.50	8.50	10.50	7.08	1.89E-05
10	33.50	3.50	4.40	2.97	1.93E-05	24	38.90	8.90	11.00	7.41	1.89E-05
11	33.90	3.90	5.00	3.37	1.96E-05	25	39.00	9.00	11.50	7.75	1.96E-05
12	34.00	4.00	5.10	3.44	1.95E-05	26	39.50	9.50	12.00	8.09	1.93E-05
13	34.90	4.90	6.20	4.18	1.94E-05	27	39.90	9.90	12.50	8.42	1.93E-05
14	35.00	5.00	6.50	4.38	1.99E-05	28	40.00	10.00	13.00	8.76	1.99E-05

$$\text{Rata-rata } \alpha = \frac{\sum \alpha}{n} = \frac{5.28 \times 10^{-4}}{27} = 1.96 \times 10^{-5} / (^\circ\text{C})$$

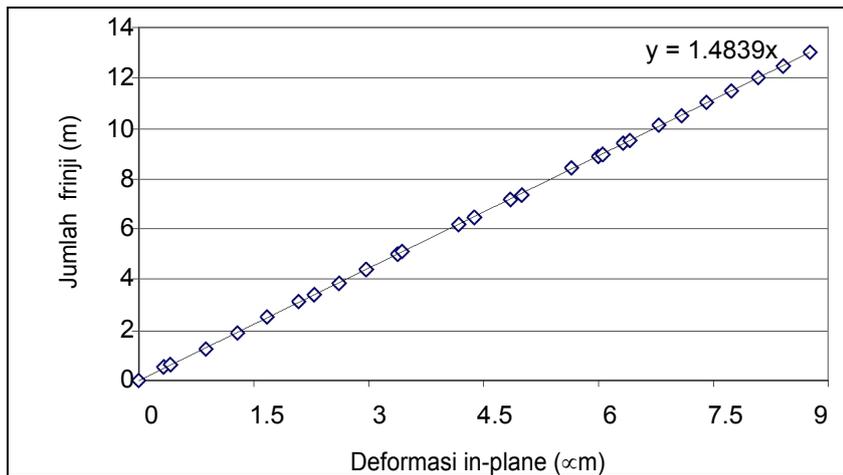
$$\text{Standard deviasi } \delta = \sqrt{\frac{\sum (\alpha - \bar{\alpha})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{2.04042 \times 10^{-12}}{27}} = 0.02 \times 10^{-5} / (^\circ\text{C})$$

Dari perhitungan diperoleh bahwa nilai koefisien ekspansi linier kuningan sebesar  $\alpha = (1,96 \pm 0,02) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$  dengan standard deviasi terhadap rata-rata sebesar 1,02%. Sedangkan dari *literatur* diketahui bahwa harga koefisien ekspansi linier kuningan adalah  $1.9 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ . Kurva hubungan waktu pemanasan dan jumlah frinji dapat dilihat pada Gambar 6.

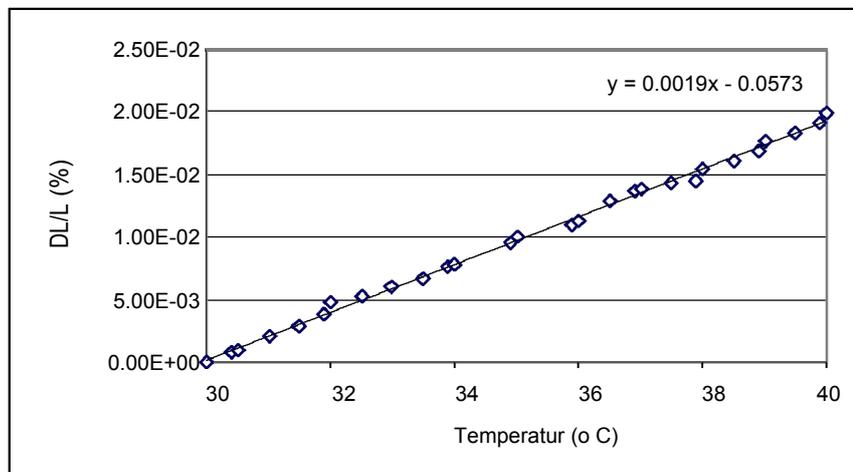


**Gbr. 6.**  
**Kurva**  
**hubungan**  
**waktu**  
**pemanasan**  
**dan jumlah**  
**frinji.**

Pada Gambar 7 berikut disajikan kurva hubungan antara deformasi in-plane dan jumlah frinji sedangkan pada Gambar 8 ditunjukkan kurva hubungan antara temperatur dan pertambahan panjang relatif.



Gambar 7. Kurva deformasi in-plane dan jumlah frinji



Gambar 8. Kurva temperatur dan pertambahan panjang relatif.

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Teknik ESPI (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*) dapat digunakan untuk menentukan koefisien muai panjang suatu bahan.
2. Dari eksperimen diperoleh harga koefisien ekspansi linier kuningan sebesar  $\alpha = (1,96 \pm 0,02)10^{-6}$

---

<sup>5</sup>/°C dengan standard deviasi terhadap rata-rata sebesar 1,02%. Sedangkan dari *literatur* diketahui bahwa harga koefisien ekspansi linier kuningan adalah  $1.9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

3. Agar diperoleh hasil pengukuran yang lebih baik maka disarankan untuk memperkecil beda temperatur. Dengan demikian maka informasi pola frinji yang didapat juga akan lebih banyak sehingga distribusi temperatur di seluruh permukaan objek dapat ditentukan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. R. S. Sirohi, *Speckle Metrology*, ed. R. S. Sirohi, Marcel Dekker, Inc., New York, 1993.
2. “*Electronic speckle pattern interferometry is an attractive technique for the characterization of materials at elevated temperatures*” dari <http://www.asnt.org/publications/materialseval/solution/jan98solutions/jan98sol.htm>.
3. Rika Suriamah, Edi Tri Astuti, dan Suprapedi, “Menentukan Modulus Elastisitas Pelat Aluminium A5063 Dengan Teknik ESPI (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*)”, J. Fis. HFI A5 (2002) 0519.
4. Endang Susilo R, Merry Chrismanto, “Aplikasi Interferometer Geser Murty Untuk Pengukuran Koefisien Muai Panjang dari Batang Aluminium”, Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya 2003, Fisika MIPA ITS-Surabaya, Vol. 2, hal. 290-293.
5. Endang Susilo R, Priyo Budi Wibowo, “Pengukuran Koefisien Muai Panjang Dari Batang Aluminium Dengan Menggunakan Metode Interferometer Michelson”, Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya 2003, Fisika MIPA ITS-Surabaya, Vol. 2, hal. 294-298.
6. Edi Tri Astuti dan Suprapedi, “Visualisasi Pola Frinji Pada Pengujian Dinamik Pelat Aluminium Dengan Teknik Interferometri Spekel”, J. Fis. HFI A5 (2002) 0519.
7. Agus Suheri, Edi Tri Astuti, Suprapedi, dan Sigit Arianto, “Pengukuran Pergeseran Piezoelectric Transducer Dengan Teknik Interferometri Spekel”, J. Fis. HFI A5 (2002) 0519