



MENENTUKAN KOEFISIEN EKSPANSI LINIER MATERIAL KUNINGAN DENGAN TEKNIK ESPI

Edi Tri Astuti

Pusat Penelitian Fisika – LIPI
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang
rias12@yahoo.com

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

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

Abstract - Have performed experiments to determine the coefficient of linear expansion of brass rod with a technique ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry). Dimensions of the test object that is used has a diameter of 45 mm, length 44 mm, and heated from 30 ° C to 40 ° C using a heater affixed to the back of the object. Speckle image data during heating was observed and every interval of 1 minute is stored in computer memory for further processing. The processing is done by subtracting to two speckle image pixel per pixel, and the results are displayed on the screen in the form of fringe pattern. Obtained from experiments brass linear expansion coefficient $\alpha = (1,96 \pm 0,02)10^{-5}/^{\circ}C$ with a standard deviation of the average of 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 patah statik^[1,3]. Pada daerah elastik, bila beban yang diberikan berupa 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 telah dilakukan seperti: mikrometer kapasitans, X-ray, ultrasonik, dll. Masing-masing metode mempunyai keuntungan dan kekurangan. Oleh karena itu maka diperlukan suatu teknik pengukuran yang lebih akurat dan tidak merusak, yaitu dengan teknik ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry).

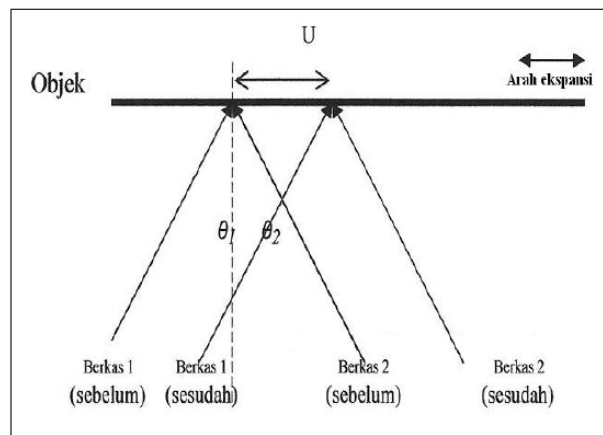
ESPI adalah salah satu teknik pengujian optik tidak kontak dan tidak merusak, banyak digunakan di industri sejajar dengan metoda ultrasonik, emisi akustik dll. Konfigurasi optik yang digunakan dalam ESPI harus disesuaikan dengan pergeseran yang akan diamati. Dalam eksperimen ini digunakan teknik dual beam (berkas ganda). Prinsip kerjanya didasarkan pada interferensi acak gelombang cahaya yang dihamburkan dari suatu permukaan objek uji yang difus, kemudian hasil tersebut ditangkap kamera CCD untuk kemudian diproses dengan komputer pengolah citra.



II. DASAR TEORI

2.1. Teknik ESPI

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



Gambar1. Prinsip teknik ESPI

Misalkan intensitas cahaya sebelum 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 φ adalah beda fasa dari berkas pertama dan berkas kedua pada kondisi awal terhadap bidang normal.

Pada saat objek diberi panas, objek mengalami pemuaian sebesar U . Pada saat ini besarnya intensitas cahaya sesudah deformasi dapat dituliskan sebagai:

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

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

Jika amplitudo $|a_1| = |a_2| = A$, maka rumusnya menjadi ^[1]:

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

Perubahan intensitas ΔI 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 $\frac{\Delta\varphi}{2} = n\pi$ maka harga $\Delta I = 0$ (terjadi garis gelap) dan bila $\frac{\Delta\varphi}{2} = (n + \frac{1}{2})\pi$ maka harga $\Delta I = 4A^2$ (terjadi garis terang) untuk $n = 0, 1, 2, 3$, dst.

Nilai pemuaian U ditentukan melalui persamaan matematik [1]:

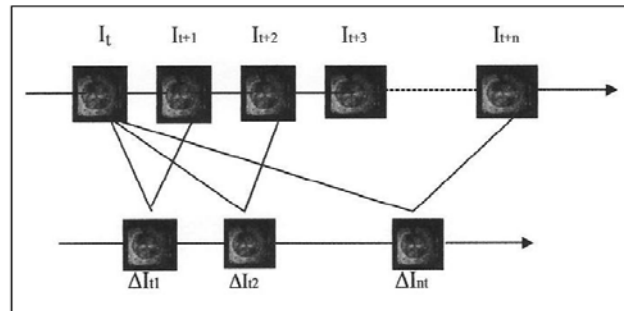
$$U = m\lambda/2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (5)$$

dengan λ adalah panjang gelombang cahaya, m adalah jumlah pola frinji dan θ adalah besarnya sudut datang terhadap bidang normal.

2.2. Pengolahan Data Citra Spekel

Selama objek dipanasi, citra pola spekel diamati dengan kamera CCD dan datanya direkam di dalam komputer secara kontinu dalam selang waktu Δt .

Untuk mengetahui nilai pemuaian maka dilakukan subtraksi data tiap pixelnya dari dua citra spekel I_t dan $I_{t+p\Delta t}$ dengan menggunakan program pengolah data seperti ditunjukkan pada Gambar.2. Proses pengolahan ini menghasilkan pola frinji $\Delta I_{t_0}, \Delta I_{t_1}, \text{ dan } \Delta I_{t_3, \dots, \Delta I_{t_{nt}}}$.



Gambar 2. Pengolahan citra spekel

2.3. Menentukan Koefisien Ekspansi Linier

Efektif yang biasa terjadi akibat perubahan temperatur adalah perubahan keadaan bahan dan perubahan dimensi. Perubahan dimensi linier dari suatu objek, seperti panjang, lebar, atau tebalnya karena adanya kenaikan temperatur 1°C dinamakan koefisien ekspansi linier. Jika suatu objek memiliki panjang L pada temperatur T , maka perubahan panjang yang berasal dari suatu perubahan temperatur ΔT adalah ΔL yang dapat dituliskan sebagai^[1]:

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

dengan α , adalah koefisien ekspansi linier, yang mempunyai nilai yang berbeda-beda untuk setiap bahan. Dengan menuliskan kembali rumus ini maka kita dapatkan:

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

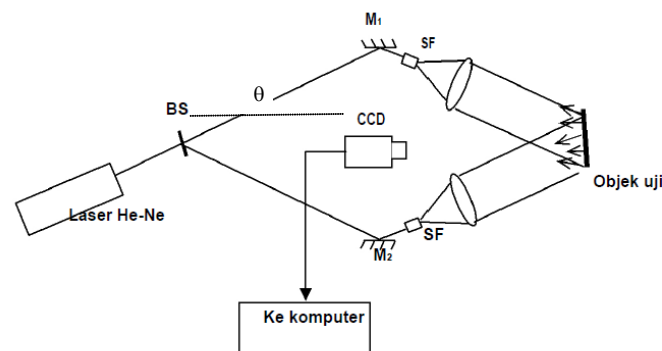
sehingga α mempunyai arti sebagai bagian perubahan panjang per derajat perubahan temperatur. Untuk menentukan koefisien ekspansi digunakan rumus^[4,5]:

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

$$\alpha = \frac{m\lambda}{2 \sin \phi \Delta T}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

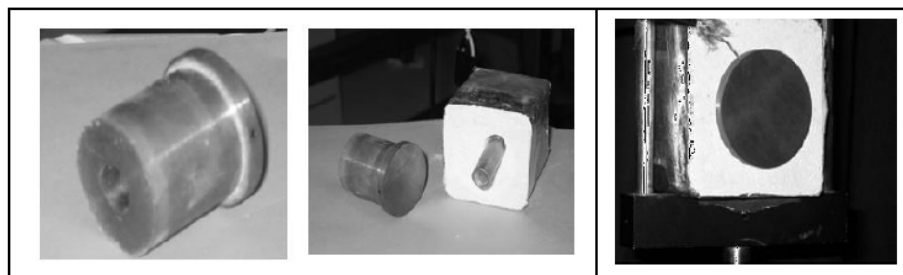
Diagram skematis ESPI berkas ganda diperlihatkan pada Gambar. 3.^[3,6,7]



Gambar 3 Diagram skematik sistem ESPI berkas ganda

Laser He-Ne dengan $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ dan daya 25 mW digunakan sebagai sumber cahaya untuk menerangi permukaan objek uji. Keluaran berkas laser dibagi menjadi dua berkas oleh pembagi berkas. Satu berkas dipantulkan oleh cermin 1 dan dikembangkan oleh lensa sehingga dapat menyinari objek secara merata. Satu berkas lainnya dipantulkan oleh cermin 2 dan dikembangkan oleh lensa agar dapat menyinari objek sehingga membentuk interferometer.

Besarnya sudut datang berkas cahaya laser terhadap bidang normal pada objek uji θ adalah 27° . Citra objek direkam menggunakan kamera CCD. Objek yang digunakan pada eksperimen ini adalah batang kuningan dengan diameter 45 mm, panjang 44 mm, tebal 5 mm, dan diameter lubang 8 mm yang dibentuk sedemikian rupa sehingga heater dapat dimasukkan ke dalamnya (seperti ditunjukkan pada Gambar.4).

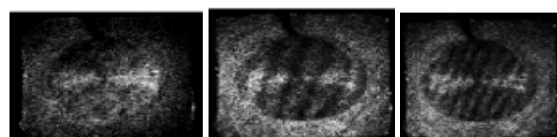


(a) Tampak samping (b) Objek dan pemanas (c) Sistem objek

Gambar 4. Objek uji

Objek dipanaskan dengan heater yang ditempelkan dibelakang objek dan diatur sedemikian sehingga selang perubahan temperaturnya konstan sebesar 1°C .

Data citra spekel selama pemanasan setiap 1 menit direkam di memori komputer. Contoh pola frinji hasil subtraksi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar. 5.



Gambar 5. Contoh pola frinji hasil subtraksi selama pemanasan



Jumlah pola frinji (m) bertambah dengan kenaikan temperatur. Hasil perhitungan pemuaian dan koefisien ekspansi linier dapat dilihat pada Tabel 1.

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

Waktu (menit)	Temp. (°C)	Beda temp. (°C)	Jumlah frinji (m)	U (mm)	a. (/°C)
1	30.00	0	0	0	0.00E+00
2	30.40	0.40	0.50	0.34	1.91E-05
3	30.50	0.50	0.60	0.41	1.84E-05
4	31.00	1.00	1.30	0.89	1.84E-05
5	31.50	1.50	1.90	1.31	1.99E-05
6	31.90	1.90	2.50	1.72	2.02E-05
7	32.00	2.00	3.10	2.13	2.37E-05
8	32.50	2.50	3.40	2.34	2.08E-05
9	33.00	3.00	3.90	2.68	1.99E-05
10	33.50	3.50	4.40	3.03	1.93E-05
11	33.90	3.90	5.00	3.44	1.96E-05
12	34.00	4.00	5.10	3.51	1.95E-05
13	34.90	4.90	6.20	4.27	1.94E-05
14	35.00	5.00	6.50	4.47	1.95E-05
15	35.90	5.90	7.20	4.95	1.87E-05
16	36.00	6.00	7.40	5.09	1.89E-05
17	36.50	6.50	8.40	5.78	1.98E-05
18	36.90	6.90	8.90	6.12	1.98E-05
19	37.00	7.00	9.00	6.19	1.87E-05
20	37.50	7.50	9.40	6.47	1.92E-05
21	37.90	7.90	9.50	6.54	1.84E-05
22	38.00	8.00	10.10	6.95	1.93E-05
23	38.50	8.50	10.50	7.22	1.89E-05
24	38.90	8.90	11.00	7.57	1.89E-05



Tabel 1. Waktu pemanasan terhadap jumlah frinji dan koefisien ekspansi linier (lanjutan)

Waktu (menit)	Temp. (°C)	Beda temp. (°C)	Jumlah frinji (m)	U (mm)	a. (1/°C)
25	39.00	9.00	11.50	7.91	1.96E-05
26	39.50	9.50	12.00	8.26	1.93E-05
27	39.90	9.90	12.50	8.60	1.93E-05
28	40.00	10.00	13.00	8.94	1.99E-05

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

Standard deviasi :

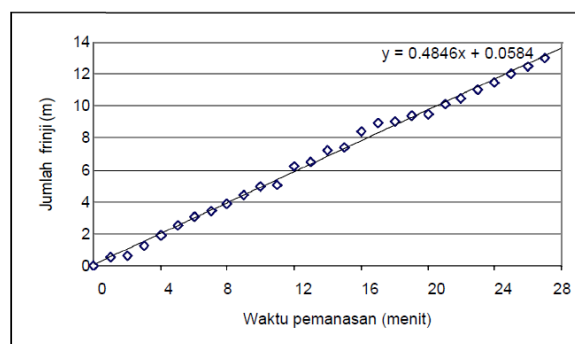
$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(\alpha_{t0} - \alpha_{t1})^2}{(n - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2.0404 \times 10^{-12}}{27}} = 0.02 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai koefisien ekspansi linier kuningan sebesar $\alpha = (1.96 \pm 0,02) \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ dengan standar deviasi terhadap rata-rata sebesar 1,02%.

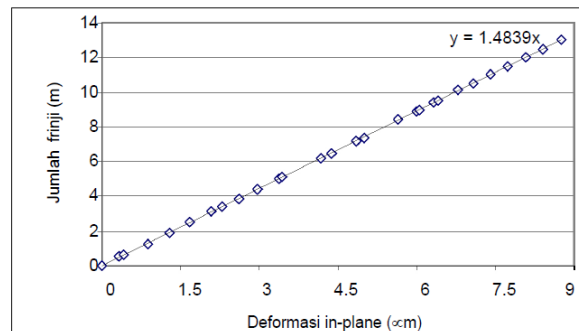
Dari <http://www.bukupedia.net/2016> diketahui nilai koefisien ekspansi linier kuningan adalah $1.9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Kurva antara waktupemanasan dengan jumlah pola frinji dapat dilihat pada Gambar. 6.

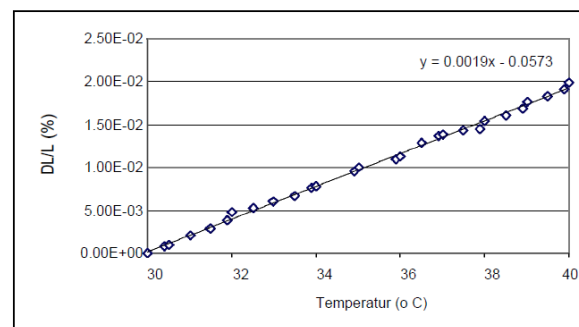


Gambar 6. Kurva hubungan waktu pemanasan dan jumlah frinji.

Pada Gambar. 7 ditunjukkan kurva antara deformasi dan jumlah pola frinji, sedangkan pada Gambar. 8 digambarkan kurva antara temperatur dan pertambahan panjang relatif.



Gambar 7. Kurva deformasi in-plane dan jumlah frinji



Gambar 8. Kurva temperatur dan pertambahan panjang relatif.

IV. 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 $\alpha = (1.96 \pm 0,02) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ dengan standar deviasi terhadap rata-rata sebesar 1,02%.
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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Puslit Fisika – LIPI atas pendanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. R. S. Sirohi, *Speckle Metrology*, ed. R.S. Sirohi, Marcel Dekker, Inc., New York, 1993.
- [2]. Rika Suriamah, Edi Tri Astuti, dan Suprapedi, “Menentukan Modulus Elastisitas Pelat Aluminium A5063 Dengan Teknik ESPI (*Electronics Speckle Pattern Interferometry*)”, *J. Fis. HFI A5* (2002)0519.
- [3]. 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.*
- [4]. 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.*
- [5]. Edi Tri Astuti dan Suprapedi, “Visualisasi Pola Frinji Pada Pengujian Dinamik Pelat Aluminium Dengan Teknik Interferometri Spekel”, *J. Fis. HFI A5* (2002) 0519.
- [6]. Agus Suheri, Edi Tri Astuti, Suprapedi, dan Sigit Arianto, “Pengukuran Pergeseran Piezoelectric Transducer Dengan Teknik Interferometri Spekel”, *J. Fis. HFI A5* (2002) 0519.