

PENELITIAN TERHADAP DEFORMASI PADA PADUAN ALUMINIUM TIPE A5083P-O DENGAN TEKNIK INTERFEROMETRI OPTIK

Muchiar¹, Kisman Mahmud²

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

*Email : muhiar2003@yahoo.com

²Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Pusat 10510

Diterima: 4 April 2016

Direvisi: 10 Mei 2016

Disetujui: 1 Juni 2016

ABSTRAK

Deformasi yang terjadi pada pelat paduan aluminium tipe A5083P-O yang dibebani dengan beban tarik telah diteliti dipelajari dengan teknik interferometri optik pola spekel elektronik. Dari hasil substraksi terhadap rekaman pola spekel selama proses penarikan, telah ditemukan suatu pola frinji interferensi yang khas, berupa pita terang dengan posisi menyerong. Pola pita terang ini baru akan timbul pada tingkat deformasi plastis dan kedudukannya dapat berpindah-pindah serta arahnya dapat berubah disepanjang citra permukaan benda uji. Menjelang saat benda uji putus, pita putih ini akan tetap berada di suatu lokasi dimana patah akan terjadi. Dihubungkan dengan teori deformasi yang dikembangkan oleh Panin maka pita putih ini identik dengan slip-band yang akan muncul pada lokasi-lokasi dimana terjadi deformasi paling besar. Pengembangan selanjutnya dari teknik ini diharapkan dapat mengungkapkan tingkat atau kondisi deformasi dari material menjelang patah dan teknik ini juga diharapkan dapat menentukan lokasi dimana patah akan terjadi.

Kata kunci: deformasi, aluminium, interferometri, spekel elektronik

ABSTRACT

Deformation occurs in the aluminum alloy plate A5083P type-O burdened with a tensile load has been studied with the technique of electronic speckle pattern interferometry optics. From the result of subtraction to the recording speckle pattern during the process of withdrawal, has found an interference fringe pattern is typical, in the form of bright ribbon with oblique position. This bright new banding pattern will arise at the level of plastic deformation and its position can be moved and its direction can be changed along the image of the surface of the specimen. By the time of the test specimen broke up, white band will remain in a location where the fracture would occur. Deformation associated with the theory developed by Panin then the white ribbon is synonymous with slip-band will appear at the locations where the greatest deformation occurs. Further development of this technique is expected to disclose the level or deformation of the material ahead of the fracture and the technique is also expected to determine the location where the fracture would occur.

Keywords: deformation, aluminum, interferometry, electronic speckle

PENDAHULUAN

Teori baru tentang deformasi pada bahan logam, khususnya deformasi pada fasa plastis, yang dikembangkan oleh Panin, menunjukkan bahwa pada fasa deformasi plastis akan timbul *slip-band*. *Slip-band* yang muncul pada fasa deformasi plastis mempunyai kaitan dengan deformasi yang terjadi. Pada lokasi *slip-band*, deformasi yang terjadi akan berbeda dibandingkan dengan lokasi lainnya. Metoda interferometri, yang didasarkan pada interferensi antara dua muka gelombang, diketahui mempunyai sensitifitas yang tinggi didalam menentukan deformasi suatu objek. Ada banyak metoda interferometri, salah satu diantaranya adalah metoda interferometri pola spekel elektronik. Dengan metoda ini perubahan yang terjadi pada pola spekel objek uji disimpan didalam memori komputer untuk kemudian disubstraksi setelah eksperimen selesai. Oleh karena deformasi yang dialami objek berlangsung secara kontinyu, maka metoda ini sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian ini mempunyai arti yang penting sekali bagi khasanah ilmu pengetahuan. Dengan penelitian ini sebagian dari peristiwa yang terjadi pada benda logam yang dibebani hingga sampai pada fasa deformasi plastis akan dapat lebih dipahami.

LANDASAN TEORI

Jika sepotong logam dibebani dengan beban tarik, maka potongan logam tersebut akan mengalami deformasi. Apabila beban bertambah secara kontinyu maka deformasi juga akan berlangsung secara kontinyu, hingga akhirnya logam tersebut putus. Selama pemberian beban, sebelum putus, objek akan menjalani dua fasa, yaitu fasa deformasi elastis dan fasa deformasi plastis. Pada fasa elastis, deformasi yang terjadi akan berbanding lurus (linier) dengan kenaikan beban, sesuai dengan hukum Hooke, dan deformasi ini tidak bersifat permanen.

Apabila pemberian beban diteruskan hingga melewati batas fasa elastis, maka objek akan tiba pada fasa plastis. Pada fasa ini deformasi yang terjadi tidak lagi mengikuti hukum Hooke, deformasi tidak lagi berbanding lurus dengan perubahan beban, bentuknya sangat spesifik, bergantung pada jenis bahan logamnya, dan deformasi ini bersifat permanen. Fasa plastis ini akan berakhir dengan putus atau patahnya objek.

Dalam teorinya yang dinamakan Teori Gelombang Plastis, Panin memperlakukan deformasi plastis sebagai transformasi struktur lokal dari kristal penyusun material tersebut. Menurut Panin deformasi plastis akan melalui beberapa tingkatan, yaitu tingkatan mikro, meso, dan makro. Pada masing-masing tingkatan selalu terkait konsentrasi stress, dan ini menyebabkan

terjadinya deformasi dalam modus translasional dan rotasional yang menghasilkan kerusakan pada tingkatan tersebut. Secara sederhana dapat dituliskan konsentrasi mikro-stress yang terjadi akan menimbulkan deformasi, deformasi ini akan membangkitkan dislokasi (kerusakan tingkat mikro), dan kerusakan ini akan menyebabkan terjadinya struktur pita. Proses ini akan terus berkembang ke tingkat makro dan berakhir dengan putus atau patahnya material.

Modus translasional dan rotasional akan menghasilkan medan vortex dan batas dari vortex-vortex ini akan memperlihatkan diskontinuitas. *Slip-band* dipercaya sebagai struktur pita meso atau makro yang muncul pada batas dari vortex. Jadi pemonitor *slip-band* berarti pemonitor lokasi dari pita meso atau atau makro atau juga pemonitor diskontinuitas pada tingkat mikro atau makro. Menjelang akhir dari fasa plastis pita makro ini akan terkonsentrasi pada bagian yang paling lemah dari material, dimana nanti peristiwa putus atau patah terjadi.

Jika permukaan suatu objek yang difus disinari dengan berkas cahaya monokromatis dan koheren maka seluruh permukaan objek akan terlihat diselimuti oleh bintik-bintik terang-gelap yang sangat halus dan terdistribusi secara acak. Pola bintik-bintik terang-gelap ini dinamakan pola spekel.

Pola spekel terbentuk akibat berinterferensinya sinar-sinar yang dihamburkan oleh partikel-partikel permukaan objek yang difus. Meskipun intensitas pola spekel terlihat acak, setiap spekel mengandung informasi fasa dari titik tertentu pada permukaan objek. Jika dua pola spekel, sebelum dan sesudah terjadinya perubahan pada objek direkam, maka akan timbul suatu pola gelap-terang (pola frinji) yang baru, dan metoda ini dikenal sebagai metoda interferometri spekel. Apabila perekaman pola spekel dilakukan dengan kamera CCD (*charge coupled device*) dan kemudian disimpan didalam memori komputer, untuk kemudian disubstraksi, maka metoda ini dikenal sebagai interferometri pola spekel elektronik (*electronic speckle pattern interferometry*, ESPI).

Pada penelitian ini yang digunakan adalah metoda interferometri pola spekel berkas ganda, dimana dalam benda uji diterangi dengan dua berkas cahaya monokromatis koheren. Jika intensitas masing-masing berkas adalah I_1 dan I_2 dan keduanya membuat sudut θ pada saat tiba di permukaan objek, maka intensitas pola spekel yang direkam sebelum terjadi deformasi dapat dinyatakan sebagai

$$I_b = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_O| \cos \theta, \text{ dan pola spekel yang direkam sesudah deformasi sebagai}$$
$$I_a = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_O| \cos(\theta + \phi)$$

dimana ϕ merupakan perubahan sudut fasa akibat deformasi yang terjadi. Jika kedua rekaman ini kemudian disubstraksi maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned}
 I_{sub} &= I_a - I_b \\
 &= [I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} | \gamma_0 | \cos(\theta + \phi)] - [I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 + I_2} | \gamma_0 | \cos\theta] \\
 &= [2\sqrt{I_1 I_2} | \gamma_0 | \cos(\theta + \phi)] - [2\sqrt{I_1 I_2} | \gamma_0 | \cos\theta] \\
 &= [2\sqrt{I_1 I_2} | \gamma_0 |] [\cos(\theta + \phi) - \cos\theta] \\
 &= [4\sqrt{I_1 I_2} | \gamma_0 |] \left[\sin\left(\theta + \frac{\phi}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]
 \end{aligned}$$

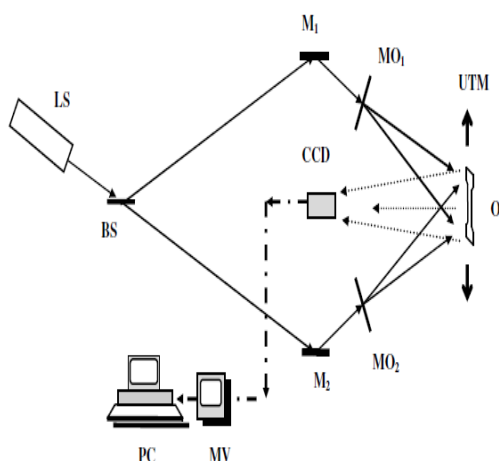
Dari persamaan di atas, maka frinji gelap terjadi untuk beda fasa $\phi = 0, \pm\pi, \pm2\pi, \pm4\pi, \dots$ dst.nya. dan frinji terang akan terjadi untuk beda fasa $\phi = 0, \pm\pi, \pm3\pi, \pm5\pi, \dots$ dst.nya.

Eksperimen

1. Benda Uji

Benda uji adalah pelat paduan logam aluminium tipe A5083P-O, tebal 3 mm, dengan komposisi kimia: Si = 0,09%; Mg = 4,54 %; Fe = 0,27 %; Cr = 0,08 %; Cu = 0,03 %; Zn = 0,02 %; Mn = 0,64 %; Ti = 0,03 %; Lain-lain < 0,15%; Al = sisanya. Benda uji dibentuk sesuai dengan standard JIS-Z2201-13B. Pemilihan standar ini disesuaikan dengan kemampuan mesin uji tarik (*Universal Tensile Machine*, UTM) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu hanya mampu dibebani hingga 20 kN.

2. Sistem Interferometri Pola Spekel Elektronik



Gambar 1. Skema rangkaian komponen optik dan peralatan eksperimen

Sebagaimana telah disebutkan, pada penelitian ini digunakan metoda interferensi pola spekel elektronik berkas ganda. Susunan

dari komponen dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan secara skematik pada Gambar 1, dimana LS, laser helium-neon dengan daya luaran 35 mWatt dan panjang gelombang 632,8 nm, berfungsi sebagai sumber cahaya monokromatis koheren. BS, pembagi berkas variabel (*variable beam-splitter*), berfungsi membagi berkas laser yang datang dari sumber menjadi dua berkas dengan perbandingan intensitas 1:1. M₁ dan M₂, cermin datar (*front-surface mirror*), berfungsi mengarahkan masing-masing berkas laser untuk menerangi objek uji.

MO₁ dan MO₂ objektif mikroskop untuk memekarkan masing-masing berkas. O, benda uji berupa pelat paduan aluminium yang dipotong berdasarkan JIS-Z2201-13B, dan ditarik dengan UTM. CCD, kamera elektronik untuk mengambil citra pola spekel benda uji. MV, monitor video untuk memonitor citra yang diambil oleh kamera CCD. PC, komputer personal, untuk menyimpan data yang diambil dengan kamera CCD, dan juga untuk mengolah dan memproses data spekel yang diperoleh.

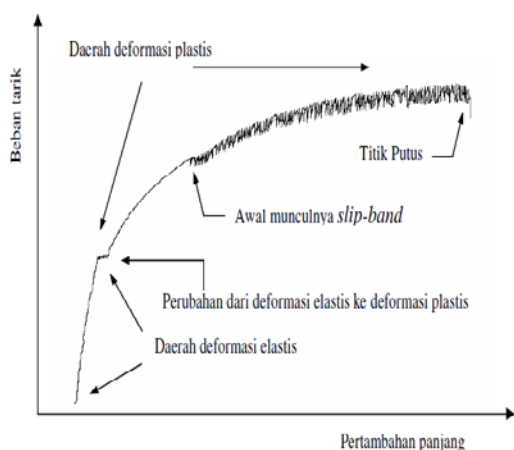
3. Procedur Eksperimen

Pada penyusunan komponen-komponen interferometer sesuai dengan skema pada Gambar 1, satu hal yang harus diperhatikan ialah bahwa panjang lintasan optik kedua berkas laser harus diusahakan sama panjang dan intensitasnya sama kuat. Benda uji dipasang pada UTM dan laju penarikan di set pada posisi paling rendah, yaitu 1 mm/menit. Bukaan diafragma dan *f-number* lensa kamera CCD diatur sedemikian rupa sehingga pola spekel yang dihamburkan benda uji terlihat dengan kontras dan kecemerlangan (*brightness*) yang baik.

Selama proses penarikan benda uji oleh UTM, citra pola spekel permukaan objek dimonitor terus-menerus dan setiap 0.5 detik pola tersebut disimpan didalam memori komputer. Proses penarikan ini berlangsung sampai benda uji putus. Data yang diperoleh disubstraksi secara berurutan, dan setiap kali hasilnya di visualkan pada layar monitor, untuk kemudian disimpan dalam memori komputer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemberian beban tarik dengan cara menarik benda uji dengan UTM telah menghasilkan kurva perubahan panjang karena penambahan beban sebagai ditunjukkan dalam Gambar 2. Hasil substraksi dari rekaman pola spekel elektronik yang menghasilkan dan menunjukkan terjadinya *slip-band* ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 2. Kurva pertambahan panjang akibat pemberian beban tarik.

Dari kurva pertambahan panjang akibat perubahan beban tarik, Gambar 1, terlihat bahwa *slip-band* mulai muncul pada daerah deformasi plastis, tepatnya pada bagian dimana kurva yang terjadi tidak "halus", melainkan "berombak-ombak". Pada lokasi dimana *slip-band* muncul, maka ternyata beban tarik juga mengalami penurunan nilai. Penurunan nilai ini menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut terjadi deformasi yang lebih besar bila dibandingkan dengan deformasi di lokasi lain. Dihubungkan dengan teori Panin yang menyatakan bahwa pada lokasi *slip-band* terjadi deformasi yang menimbulkan dislokasi atau kerusakan, maka pola pita yang berhasil divisualkan ini adalah sesuai dengan *slip-band* yang dimaksud oleh Panin.

Dari contoh-contoh *slip-band* yang ditunjukkan pada Gambar 2 dalam Lampiran, terlihat bahwa lokasi *slip-band* dapat berpindah-pindah, jumlahnya bisa lebih dari satu, dan arahnya bisa berubah. *Slip-band* ini baru akan menetap di satu lokasi, yaitu pada saat menjelang putusnya benda uji. Dan kenyataannya benda uji akan putus di titik tersebut. Dihubungkan dengan teori Panin, maka peristiwa yang terjadi ini menunjukkan bahwa deformasi yang menyebabkan terjadinya dislokasi amat bergantung pada struktur mikro dan makro dari material. Pada saat menjelang akhir dari deformasi plastis, maka *slip-band* ini akan menetap pada bagian material dengan struktur paling lemah.

KESIMPULAN

Metoda interferometri pola spekel elektronik berkas ganda dapat diaplikasikan untuk memvisualkan *slip-band* yang terjadi pada fasa deformasi plastis dari material pelat paduan aluminium yang dibebani dengan beban tarik. Lokasi, jumlah, dan arah dari *slip-band* akan bergantung pada lokasi dimana struktur mikro maupun makro dari material paling lemah dibandingkan sekitarnya.

Dari penelitian ini disarankan untuk melanjutkan penelitian ini untuk jenis-jenis material lainnya, sehingga karakteristik dari *slip-band* yang terjadi dapat diketahui dan diinventarisir. Lebih lanjut metoda ini dapat dikembangkan menjadi suatu metoda untuk pengujian tak merusak.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pimpinan Puslitbang Fisika Terapan - LIPI yang telah memberi dorongan dan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Untuk kawan-kawan di Laboratorium laser dan Opto-elektronika, terima kasih atas saran, kritik dan diskusi-diskusinya. Ucapan yang sama disampaikan pula kepada kawan-kawan di Laboratorium Kayu yang telah memberikan pinjaman alat UTM beserta *plotter*-nya. Untuk kawan-kawan di Bengkel Mekanik yang telah ikut membantu mempersiapkan benda uji kami sampaikan pula ucapan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Lokberg, O.J., *Speckle Metrology*, ed. R.S. Sirohi, Marcel Dekker Inc. New York, 1993.
- Panin, P.E., *Physical mesomechanics of plastic deformation and experimental results obtained by optical methods*, Oyo Buturi, vol. 64 (1995), No.9, 888.
- The Japanese Industrial Standard - Z2202, 1980.
- Yoshida, S., et.al., *Phase unwrapping for dual beam electronic speckle pattern interferometry*, Applied Optics, January 1, 1997.