

## VISUALISASI KONSENTRASI *STRESS* PADA FASA DEFORMASI PLASTIS DENGAN TEKNIK INTERFEROMETRI OPTIK

Nur Hasanah<sup>1</sup>

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

### **Abstrak**

*Teknik interferometri optik digunakan untuk mengamati secara tidak merusak suatu objek yang mengalami deformasi, khususnya yang sedang berada pada fasa deformasi plastis. Teknik yang digunakan adalah teknik interferometri pola spekel elektronik berkas ganda. Pilihan pada teknik ini didasarkan pada kemampuannya dan juga karena relatif tidak terlalu peka terhadap gangguan lingkungan. Berkas cahaya monokromatik dihasilkan oleh sumber laser He-Ne berdaya 30 mWatt. Sebagai sampel digunakan pelat aluminium, dipotong dengan bentuk dan ukuran sesuai dengan standar pengukuran, JIS-Z 2201-I3B. Sampel ini dipasang pada mesin tarik dan kemudian diberi beban tarik hingga putus. Citra spekel yang terjadi di amati melalui monitor hotam-putih dan secara teratur di rekam dan disimpan didalam memori komputer. Selanjutnya terhadap data citra ini dilakukan proses substraksi. Apabila benda-uji sudah berada pada fasa deformasi plastis, maka pada citra hasil substraksi akan tampak suatu sabuk-terang. Disimpulkan bahwa sabuk-terang ini mencerminkan lokasi dari konsentrasi stress yang terjadi pada benda uji. Umumnya, posisi, ukuran, jumlah, dan arah dari sabuk ini dapat berubah selama berlangsungnya proses pemberian beban tarik. Menjelang akhir dari fasa deformasi plastis, sabuk terang ini akan menetap di satu lokasi, di mana nantinya objek akan mengalami putus patah.*

**Kata kunci:** ESPI berkas-ganda, konsentrasi **stress**, meso-band.

### **1. PENDAHULUAN**

Suatu objek dari material padat (**solid state**), apabila dibebani dengan beban tarik yang cukup, pada suatu saat akan sampai pada fasa deformasi plastis, yang sifatnya permanen. Dengan demikian, objek yang sudah berada pada fasa ini tidak akan dapat kembali lagi ke keadaan/bentuk semula, walaupun beban penyebabnya sudah dihilangkan. Apabila pemberian beban di lanjutkan, maka proses deformasi akan berlanjut, dan akan berakhir dengan patah/putusnya objek.

Pada fasa deformasi plastis, sebagaimana pada fasa deformasi elastis yang terjadi sebelumnya, tidak ada tanda-tanda khas, yang dapat digunakan sebagai petunjuk. Oleh karena itu hampir tidak mungkin untuk mengetahui dengan cepat dan langsung apakah sebuah objek sudah memasuki fasa plastis atau belum. Salah satu cara yang biasa dilakukan untuk mengetahui keadaan ini, ialah dengan melakukan uji-tarik terhadap benda-uji yang dibuat dari bahan yang sama. Dari pengujian ini akan diperoleh kurva yang menunjukkan hubungan antara **stress** dan strain atau elongasi yang terjadi. Dan dari kurva ini akan dapat di ketahui besarnya beban yang menyebabkan objek memasuki fasa deformasi plastic. Akan tetapi perlu diketahui, bahwa nilai besaran **stress** yang diperoleh berdasarkan kurva ini adalah hasil integrasi dari **stress** yang terjadi pada pada seluruh bagian sampel. Jadi, kurva **stress-struin** tidak dapat menunjukkan lokasi dari konsentrasi **stress** lokal atau konsentrasi **stress** maksimum yang terjadi pada sampel.

Berdasarkan hal-hal di atas dan juga mengingat betapa penting dan bermanfaatnya untuk mengetahui dengan cepat keadaan deformasi yang di alami oleh suatu objek, bagi kepentingan keamanan dan keselamatan pemakaiannya, maka dilakukanlah penelitian ini. Penelitian ini di dasarkan pada teori baru tentang deformasi plastis yang di kembangkan oleh V.E. Panin dan kawan-kawan. Dengan penelitian ini kami mencoba memperlihatkan secara kualitatif lokasi terjadinya konsentrasi *stress* pada suatu objek yang mengalami deformasi plastis karena beban tarik.

## 1. DASAR TEORI

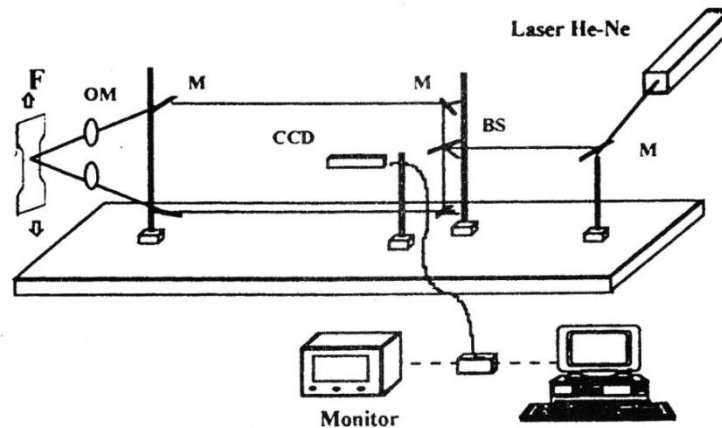
Plastisitas adalah sifat yang memungkinkan suatu material mengalami deformasi permanen tanpa putus atau patah. Apabila suatu material padat (*solid-state*) yang berada didalam keadaan plastis menerima *stress* konstan yang terus menerus, maka material tersebut dapat mengalami deformasi, dan pada akhirnya mengalami putus atau patah.

Menurut V.E. Panin dari Rusia mereka, deformasi plastis pada material padat akibat pembebanan, mempunyai kaitan dengan kehilangan stabilitas *shear* dan berkembang dalam proses relaksasi multi tingkat. Ada tiga tingkatan pada pertumbuhan deformasi plastis, yaitu tingkatan mikro, meso, dan makro. Pada setiap tingkatan, konsentrasi *stress* akan menghasilkan cacat (*defect*). Akibat proses relaksasi, cacat ini akan menjalar di dalam material dan menimbulkan deformasi translasional. Apabila cacat pada tingkatan meso menjalar, maka akan terbentuk *meso-band*. Akibat tidak homogenya deformasi translasional, maka pada kedua ujung *meso-band* ini akan di bangkitkan vortex translasional-rotasional. Pada tahap awal deformasi plastis, *meso-band* terbentuk pada berbagai lokasi objek dalam arah *stress* maksimum. Pada tahap ini, konsentrasi *stress* tetap pada tingkatan lokal/setempat dan deformasi yang ditunjukkan oleh *meso-band* juga bersifat lokal. Apabila deformasi mencapai tingkat makro, maka vortex translasional- rotasional di integrasikan kedalam beberapa vortices, dan deformasi di lokalisir pada batas (*boundary*) dari vortices skala makro ini. Pada tingkatan ini, konsentrasi *stress* masih tetap pada tingkatan lokal. Bila deformasi mencapai tingkat akhir, maka konsentrasi *stress* akan tumbuh pada tingkatan global. Pada tahap ini *meso-band* akan menggambarkan deformasi yang terjadi pada objek secara keseluruhan dan akan menetap pada satu lokasi tertentu.

## 2. PERCOBAAN

Percobaan ini menggunakan teknik interferometri pola spekel elektronik berkas-ganda (double-beam electronic speckle pattern interferometry, ESP1). Sepasang berkas cahaya monokromatis menerangi benda-uji dalam arah vertikal, searah dengan pemberian beban tarik. Secara diagramatik tata-letak peralatan ditunjukkan pada gambar. 1. Berkas cahaya monokromatis yang digunakan berasal dari sebuah sumber laser He-Ne dengan daya 35 mWatt (**S**). Berkas laser ini terlebih dahulu dipecah menjadi dua berkas yang sama kuat dengan menggunakan sebuah pembagi berkas (**BS**). Masing-masing berkas kemudian di arahkan dan dikembangkan, berturut-turut menggunakan cermin datar (**M**) dan lensa objektif mikroskop (**MO**), untuk menerangi benda-uji. Satu berkas menerangi benda-uji dari arah atas dan berkas lainnya menerangi dari arah bawah dan masing-masing mempunyai panjang lintasan optik hampir sama. Kamera CCD yang dihubungkan dengan monitor hitam-putih digunakan untuk menangkap citra spekel dari benda-uji selama berlangsungnya percobaan. Monitor ini dihubungkan juga dengan

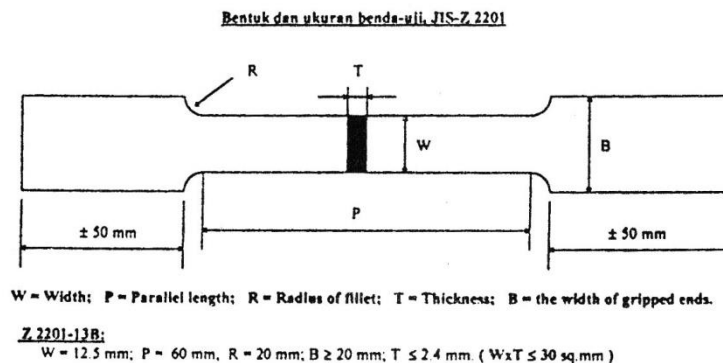
sebuah komputer guna keperluan perekaman dan penyimpanan data citra spekel secara berkala.



Gambar 1. Tata-letak peralatan

Benda-uji dibuat dari bahan pelat aluminium. Pada percobaan ini telah di buat benda-uji dari dua jenis bahan pelat aluminium yang berbeda. Benda uji jenis pertama dibuat dari bahan pelat aluminium yang dijual di pasaran lokal, dengan komposisi kandungan bahan-bahan kimianya tidak di ketahui. Sedangkan benda-uji jenis ke dua dibuat dari bahan pelat aluminium yang diketahui komposisi bahan kimianya, yaitu pelat aluminium tipe A 5052.

Bentuk dan ukuran dari setiap benda-uji disesuaikan dengan standar pengukuran JIS (**Japanese Industrial Standard**) nomor Z 2201-13B. Pemilihan nomor ini disesuaikan dengan kemampuan **load-cell** dari mesin uji-tarik (**Universal Tensile Machine, UTM**) yang digunakan. Secara diagramatik, bentuk dan ukuran benda-uji ditunjukkan pada gambar 2.

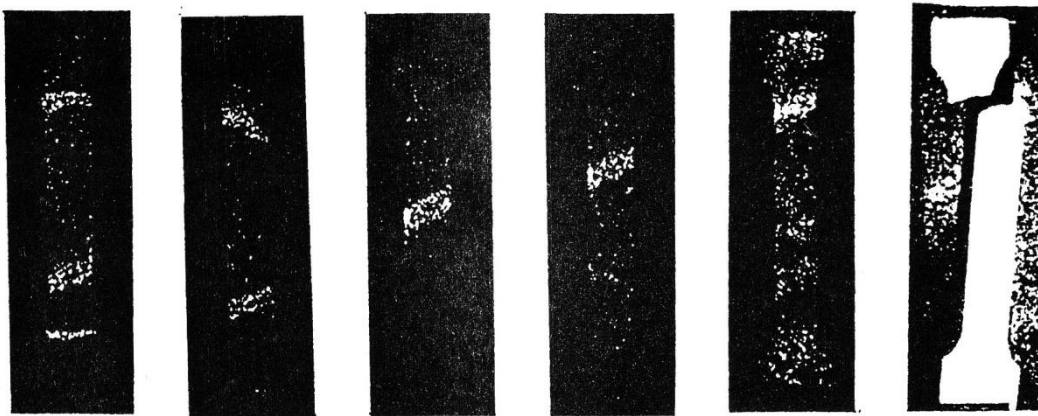


Gambar 2. Benda-uji, berdasarkan JIS-Z 2201-13B

Benda-uji dipasang pada UTM dan kemudian diberi beban tarik dengan laju  $\pm 0,45$  mm/menit atau 0,0075mm/detik. Penarikan dilakukan hingga benda uji putus. Selama proses penarikan citra spekel dari benda-uji di monitor secara terus-menerus melalui monitor hitam-putih. Selanjutnya, setiap selang waktu  $\Delta T = \pm 2$  detik citra spekel yang terjadi di rekam dan disimpan ke dalam komputer. Selang waktu ini sebanding dengan deformasi sebesar 0,015 mm. Selanjutnya, terhadap data-data citra yang sudah di rekam ini dilakukan proses substraksi.

### 3. HASIL, DAN DISKUSI

Substraksi data citra spekel dari benda-uji, berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, dapat dibagi menjadi dua kelompok. Pertama, ialah kelompok hasil substraksi pada saat benda-uji masih dalam fasa deformasi elastis, atau belum memasuki fasa deformasi plastis. Hasil substraksi pada kelompok ini tidak menunjukkan sesuatu yang khas. Beberapa hasil substraksi memang menampilkan pola frinji. Akan tetapi pola frinji yang terjadi adalah seperti yang umum terjadi pada peristiwa interferensi. Hasil yang menarik baru diperoleh pada kelompok kedua, yaitu hasil substraksi setelah benda-uji memasuki fasa deformasi plastis. Pada sebagian citra hasil substraksi akan tampak atau muncul suatu sabuk-terang, sebagaimana terlihat pada monitor hitam-putih, yang sangat khas. Sabuk-terang ini sangat berbeda dari frinji in-terferensi yang umum terjadi. Ia selalu membuat sudut sebesar  $\pm 45^\circ$  terhadap arah beban. Pada sebuah citra hasil substraksi, boleh jadi akan tampak lebih dari sebuah sabuk-terang, dengan arah yang sama ataupun berlawanan, dan ukurannya pun bisa berlainan. Di sepanjang fasa deformasi plastis, hasil substraksi menunjukkan bahwa arah, lebar, jumlah, dan posisi dari sabuk-terang ini bisa berubah-ubah. Intensitas perubahan meningkat dari awal fasa deformasi plastis hingga saat pertengahan dan kemudian berkurang dengan makin mendekatnya kepada akhir dari fasa deformasi plastis. Menjelang akhir dari fasa deformasi plastis, hanya akan tampak sebuah sabuk-terang dengan arah, lebar, dan posisi selalu tidak berubah. Dari pengamatan, ternyata benda uji akan mengalami patah/putus pada posisi stasioner dari sabuk-terang ini. Pada gambar 3 di tunjukkan beberapa sabuk-terang yang tampak pada citra hasil substraksi.



Gambar 3. Berbagai Karakteristik sabuk-terang pada citra substraksi

Sabuk-terang yang tampak pada hasil substraksi citra spekel benda-uji selama fasa deformasi plastis, dapat dihubungkan dengan teori deformasi plastis yang dikembangkan oleh V.E. Panin. Sabuk-terang adalah suatu penjelasan dari **meso-band** pada tingkat makro. Sabuk-terang mempunyai beberapa kesamaan dengan **meso-band**, seperti selalu membuat sudut  $\pm 45^\circ$  terhadap arah beban tarik, bergerak dalam arah **shear-stress** maksimum, dan menggambarkan deformasi lokal. Sabuk-terang yang bergerak menggambarkan **meso-band** yang terjadi pada berbagai lokasi pada waktu yang berlainan. Penurunan jumlah sabuk-terang dapat diinterpretasikan sebagai integrasi dari vortex translasional-rotasional, dan sabuk-terang yang tidak berubah-ubah menggambarkan **meso-band** yang muncul pada tingkat akhir dari fasa deformasi plastis, yang akan berakhir dengan terjadinya peristiwa patah/putus.

#### 4. KESIMPULAN

Disimpulkan bahwa sabuk-terang yang tampak pada hasil substraksi spekel citra objek-uji merupakan visualisasi dari *meso-band*, yang disebabkan oleh konsentrasi stress lokal.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. O.J. Lokberg, *Speckle Metrology*, ed. R.S. Sirohi, Marcel Dekker Inc., New York, 1993.
2. Satoru Toyooka, *Laser Speckle Interferometry*, Simposium Fisika nasional XIII, Puspiptek, Serpong, Januari 1991
3. **V.E. Panin**, Physical mesomechanics of plastic deformation and experimental results obtained by optical methods, *Oyo Buturi*, vol. 64 (1995), No. 9, 888.
4. The Japanese Industrial Standard - Z 2201, 1980.
5. Muchiar, A. Kusnowo dan S. Yoshida, Proceeding Seminar Nasional Optoelektronika