

ANALISA TEGANGAN DI SEKITAR LUBANG PADA PELAT *PIN-LOADED* DENGAN MENGGUNAKAN METODA *DIGITAL IMAGE CORRELATION (DIC)*

Syarif Hidayat, Bambang K Hadi, Hendri Syamsudin, Lenny Iryani, Arie Sukmajaya

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung

syarhidayat@yahoo.com, bambang.hadi@yahoo.com, hendri.syamsudin@ae.itb.ac.id

Abstrak

Dengan cara eksperimen, analisa tegangan yang terjadi pada daerah sekitar struktur berlubang dapat diukur dengan menggunakan dua metode yang umum yaitu teknik optik dan teknik non-optik. Pada teknik non-optik seperti *strain gage* dan LVDT diperlukan adanya kontak antara alat ukur dengan daerah yang akan diukur, sehingga data pergeseran atau *displacement* yang didapatkan merupakan data lokal pada satu titik saja. Untuk mendapatkan data pada semua bagian spesimen maka diperlukan sensor atau alat ukur sebanyak titik yang diinginkan. Proses ini juga cukup memakan waktu dan biaya dengan adanya proses kalibrasi dan setting alat. Untuk mengatasi kekurangan teknik non-optik ini maka dikembangkanlah teknik optik. Salah satu teknik optik yang banyak digunakan adalah *digital image correlation (DIC)*. DIC ini menggunakan alat pengindera citra sebagai instrumennya. Keunggulan dari DIC adalah data *full field displacement* pada area yang diinginkan dapat diperoleh dan dilakukan tanpa kontak langsung dengan spesimen. Penelitian ini menggunakan teknik dan perlengkapan DIC yang telah dikembangkan oleh Kelompok Keahlian Struktur Ringan, FTMD ITB. Penelitian ini difokuskan pada kajian eksperimental distribusi tegangan disekitar lubang akibat pin-loaded. Spesimen komposit yang dikaji terbuat dari serat woven E-glass dan resin Epoxy yang diproduksi dengan menggunakan metoda Vacuum Assisted Resin Transfer Molding. Beberapa modifikasi pada setting-up alat uji telah dikembangkan pada penelitian ini untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik pada kasus struktur dengan kondisi pin-loaded. Hasil yang diperoleh, menunjukkan korelasi yang cukup baik antara distribusi tegangan dan modulus kegagalan yang terjadi. Hasil yang diperoleh dari kajian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman terhadap fenomena konsentrasi tegangan disekitar lubang dan fenomena kegagalan struktur komposit akibat pin-loaded.

Kata kunci : Komposit, Pin-loaded, Digital Image Correlation (DIC)

Pendahuluan

Material komposit mengalami peningkatan penggunaannya pada berbagai struktur terutama pesawat terbang dan wahana ruang angkasa dikarenakan mempunyai potensi dalam mengurangi berat struktur, peningkatan umur lelah (*fatigue life*) dan ketahanan korosi.

Kemajuan dibidang komposit mendapat sambutan yang luas dalam bidang struktur, karena kelebihan-kelebihan yang didapat sehingga hal ini menempatkannya sebagai pilihan alternatif pengganti bahan logam. Terdapat banyak sifat mekanik bahan komposit yang melampaui kemampuan bahan logam, misalnya kekuatan jenisnya yang berada jauh diatas jenis logam, serta kekuatan mekaniknya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

Seiring dengan peningkatan penggunaan bahan komposit, pengetahuan mengenai perilaku struktur terhadap pembebanan juga makin diperlukan.

Berbagai metoda analitik dan pengujian telah dilakukan untuk menyingkap tabir perilaku bahan komposit. Sebagian respon dapat diketahui dengan mudah yaitu dengan menggunakan metoda yang sama seperti logam, sebagian lagi tidak dapat dilakukan mengingat perbedaan dasar dari kedua bahan tersebut. Seperti diketahui, logam memiliki sifat sama dalam segala arah (*isotropik*) sedangkan komposit bergantung pada arah serat. Hal ini mengisyaratkan sifat-sifat mekanik yang unik untuk setiap bahan komposit, tergantung pada arah serat dan susunan setiap arah lapisan.

Sifat-sifat mekanik material komposit juga dapat disesuaikan dengan beban yang akan dialaminya. Walaupun demikian, komposit juga memiliki kekurangan dibandingkan material konvensional, antara lain lebih getas, lebih sensitif terhadap timbulnya cacat, toleransi kerusakan yang rendah.

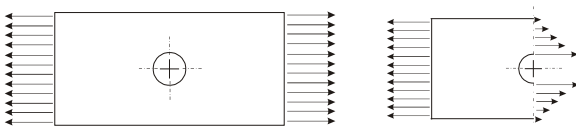
Pada struktur kadang-kadang tidak dapat dihindarkan adanya lubang baik untuk pemasangan baut, pin atau

rivet, maupun untuk keperluan pemeriksaan, perbaikan dan perawatan. Lubang pada pelat menyebabkan ketidak seragaman distribusi tegangan di sekitar lubang. Besar tegangan yang terjadi pada penampang berlubang bervariasi dengan tegangan maksimum yang terjadi di tepi lubang dan semakin jauh dari lubang, tegangan yang terjadi semakin kecil. Hal-hal tersebut akan menimbulkan konsentrasi tegangan.

Secara eksperimen, konsentrasi tegangan yang terjadi pada struktur berlubang dapat diukur dengan menggunakan dua metode yang umum yaitu teknik optik dan teknik non-optik. Pada teknik non-optik seperti strain gage dan LVDT diperlukan adanya kontak antara alat ukur dengan daerah yang akan diukur, sehingga data pergeseran atau displacement yang didapatkan merupakan data lokal pada satu titik saja. Untuk mendapatkan data pada semua bagian spesimen maka diperlukan sensor atau alat ukur sebanyak titik yang diinginkan. Proses ini juga cukup memakan waktu dengan adanya proses kalibrasi dan setting alat. Untuk mengatasi kekurangan teknik non-optik ini maka dikembangkanlah teknik optik. Salah satu teknik optik yang banyak digunakan adalah digital image correlation (DIC). DIC ini menggunakan alat pengindera citra sebagai instrumennya. Keunggulan dari DIC adalah full field displacement pada area yang diinginkan dapat diperoleh dan dilakukan tanpa kontak langsung dengan spesimen

Konsentrasi tegangan

Pada suatu pelat adanya perubahan geometri struktur secara mendadak akibat lubang akan menimbulkan distribusi tegangan yang tidak seragam. Ketidakteraturan distribusi tegangan ini akan menimbulkan konsentrasi tegangan yang dapat mengurangi kekuatan struktur dalam menahan beban. Distribusi tegangan yang terjadi pada pelat berlubang akan semakin meningkat ketika mendekati tepi lubang seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1 Pelat berlubang yang mendapat beban tarik

Pada pelat tanpa lubang, jika mendapat beban aksial sebesar P, maka tegangan yang terjadi pada penampang pelat tersebut adalah :

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

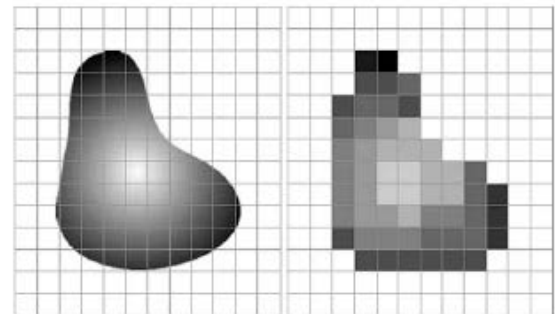
Dimana : σ = tegangan pada penampang pelat
 F = beban aksial yang diberikan
 A = luas penampang pelat

Jika pelat tersebut terdapat lubang, maka distribusi tegangan yang terjadi tidak seragam lagi. Di tepi lubang tegangan akan mencapai harga maksimum, σ_{max} . Faktor konsentrasi tegangan, K_t didefinisikan untuk menyatakan pengaruh lubang tersebut, yaitu dengan membagi tegangan maksimum yang terjadi di tepi lubang, σ_{max} dengan tegangan yang terjauh dari lubang, σ_{nom} .

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \tag{2}$$

Digital Image Correlation (DIC)

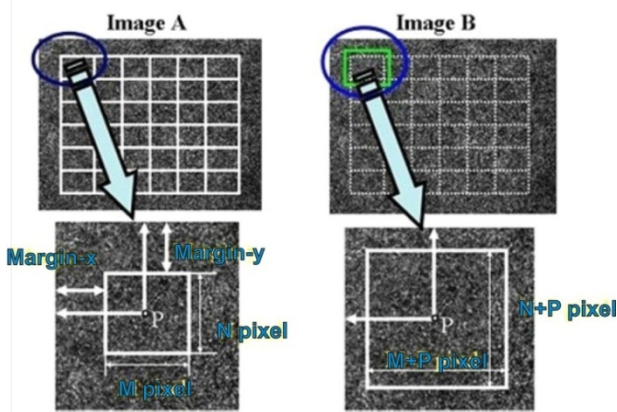
Pada digital image correlation (DIC), yang menjadi objek pengolahan adalah sebuah citra dari spesimen berupa gambar digital dua dimensi yang kontinu yang kemudian diubah menjadi gambar diskrit seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. gambar kontinu yang diubah menjadi gambar digital

Pada teknik DIC ini diperlukan dua citra untuk melakukan proses korelasi, yaitu citra spesimen sebelum diberi beban dan citra spesimen setelah diberi beban. Citra sebelum pembebanan disebut gambar referensi dan citra setelah pembebanan disebut gambar translasi. Kedua citra tersebut harus memiliki jumlah pixel yang sama. Keduanya dibagi kedalam kotak-kotak dengan ukuran tertentu yang juga memuat pixel dengan jumlah tertentu. Kotak-kotak pada gambar referensi disebut subset dan kotak-kotak pada gambar translasi disebut tempelate. Ukuran subset lebih kecil daripada ukuran tempelate.

Subset pada gambar referensi diberikan margin atau batas jarak dari subset ke sisi terluar gambar referensi seperti diperlihatkan pada gambar 3. Fungsi margin adalah untuk menjaga area dari tempelate berada dalam area gambar translasi karena tempelate ukurannya lebih besar dari subset serta titik pusat dari subset dan tempelate terletak pada lokasi yang sama. Alasan titik pusat subset dan tempelate terletak pada lokasi yang sama adalah untuk memudahkan proses korelasi karena subset akan di geser sepanjang arah x dan y pada tempelate dengan besar pergeseran sejumlah pixel tertentu.

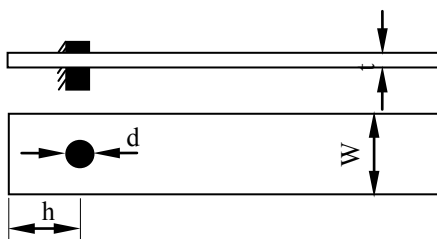


Gambar 3. Image A (Gambar referensi dan subset)-Image B (Gambar translasi dan template)

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Studi yang dilakukan adalah pengamatan pada spesimen komposit yang dibuat dari 10 lembar serat unidirectional gelas-epoxy dilubangi dengan lubang berdiameter 6 mm dan dipasangkan pin baja dengan suaian sesak. Ukuran spesimen komposit sesuai dengan ASTM 5961 (lebar W dan tebal t) ditunjukkan pada Gambar 4. Jarak lubang dari ujung spesimen adalah 18 mm ($h/d = 6$).

Load yang diterapkan berada dalam satu garis dengan sumbu spesimen untuk menjamin tidak terjadinya bending momen.



Gambar. 4 Geometri spesimen

Dimana :

- W = 36 mm
- t = 3 mm
- d = 6 mm
- h = 18 mm

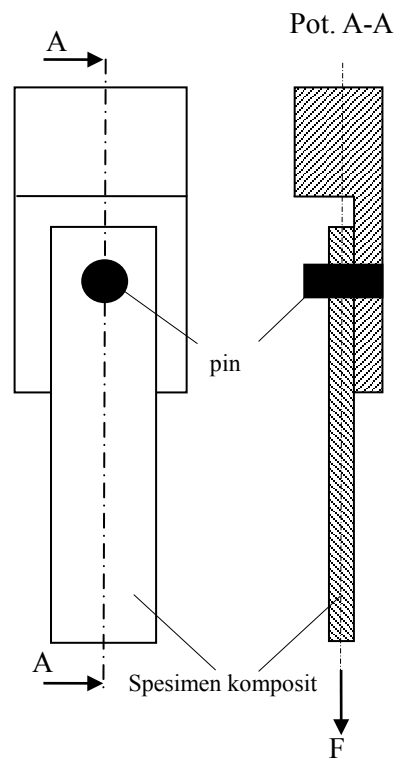
Uji Experimental DIC

Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik kapasitas 5 kN Nexygen LRX di Laboratorium Struktur Ringan ITB. Mesin uji tarik ini dihubungkan dengan perangkat komputer guna mendapatkan data berupa grafik

load-displacement dari spesimen yang sedang diuji. Ujung spesimen dijepit mesin pencekam sedangkan ujung spesimen satu lagi ditempatkan pada alat bantu melalui pin seperti terlihat pada Gambar 5. Pengambil foto (citra) dengan menggunakan kamera Canon EOS 30D Digital pada spesimen di daerah lubang/pin dilakukan sebelum dibebani. Dan pengambilan foto setelah pembebanan 500 N. Pengujian dilakukan tidak sampai terjadi *failure* pada spesimen, karena pengambilan citra yang dilakukan hanya untuk mengamati deformasi yang terjadi di sekitar lubang/pin saja.

Selanjutnya proses pengolahan gambar (*image processing*), menggunakan program Matlab, dengan mengkorelasikan gambar spesimen sebelum dibebani dan setelah dibebani 500 N.

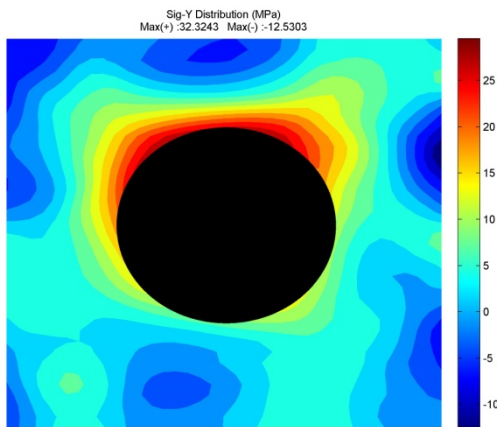
Yang menjadi perhatian pada pengujian ini adalah dapat mengetahui pola kontur tegangan di sekitar lubang pada pembebanan 500 N, dengan pengolahan gambar pada spacing 10 dan 15.



Gambar. 5. Set-up spesimen untuk pengujian

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran DIC pada daerah sekitar lubang akibat pembebanan pin loaded sebesar 500N ditunjukkan oleh gambar 6 berikut. Nilai tegangan didapat dari hasil konversi displacement titik-titik (*spekle*) random sekitar lubang saat sebelum dibebani dan sesudah dibebani.



Gambar 6. Stress distribution - y

Terlihat bahwa terjadi konsentrasi tegangan pada permukaan atas lubang seperti yang ditunjukkan oleh literatur [4].

Hasil uji tarik yang dilakukan Lasut[5] untuk specimen dengan konfigurasi dan material yang sama, menunjukkan kerusakan bearing akibat konsentrasi tegangan tersebut.

Menggunakan persamaan (1), tegangan nominal yang terjadi pada spesimen akibat beban pada pin sebesar 500 N, adalah $\sigma = 500/(36 \times 3) = 4.6$ Mpa. Hasil pengukuran distribusi tegangan dengan menggunakan metoda DIC (gambar 6) menunjukkan tegangan terbesar terjadi pada permukaan atas lubang sebesar 32.46MPa. Sehingga dari persamaan 2. harga konsentrasi tegangan $K_t = \sigma_{\text{Max}} / \sigma_{\text{nom}} = 32.46/4.6 = 7.05$ Sedangkan nilai konsentrasi tegangan berdasarkan Referensi[4] halaman 76 untuk kasus pin-loaded dengan nilai $d/w=6/36=0.17$ dan $h/w=18/36=0.5$ adalah $K_t=6.4$.

Perbedaan antara distribusi tegangan yang diperoleh dari pengukuran DIC dengan kondisi ideal, adalah sebesar 9.31%, disebabkan oleh beberapa permasalahan dalam alignment specimen untuk kasus pin-loaded dan penentuan kondisi cahaya dan pixel yang ideal pada specimen uji. Perbaikan akurasi pengukuran, akibat penentuan kondisi cahaya dan pixel, merupakan salah satu kajian yang terus dilakukan oleh Kelompok Keahlian Struktur Ringan FTMD, ITB.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- Metoda DIC dapat digunakan untuk memprediksi distribusi tegangan sekitar lubang yang mengalami pembebanan pin loaded.
- Konsentrasi tegangan yang terjadi di sekitar

lubang untuk kasus yang ditinjau sebesar 7.04.

- Letak konsentrasi tegangan yang diperoleh oleh pengukuran DIC menunjukkan lokasi kegagalan bearing sesuai dengan yang diperoleh dari hasil uji tarik pin loaded.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan DIKTI melalui dana penelitian Riset Desentralisasi DIKTI 2012

Daftar Pustaka

1. Sen F and Sayman O. *The influences of geometrical parameters on the failure response of two serial pinned/bolted composite joints*. Proc.Imech E Vol.223 Part L : J. Materails:Design and applications.
2. Ciplak Emre and Sayman Onur. *Failure Load of Mechanically Fastened Immersed Composite Laminate Plates under a Preloaded Moment*. Polymers & Polymer Composites, Vol.19, No.1, 2011.
3. Chang Fu-Kuo and Scott Richard A. *Failure of Composite Laminates Containing Pin Loaded Holes – Methode of solution*. Journal of Composite Materials, Vol.18, May 1984
4. Schijve Jaap. *Fatigue of Structures and Materials*. Second edition. Springer, 2008.
5. Lasut Antonius, Laporan Tugas Akhir Sarjana, Institut Teknologi Bandung, 2012.
6. Sevkat Ercan, Brahim Malek and Berri Sidi. *The Bearing strength of Pin Loaded woven Composites Manufactured by Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding and Hand Lay-up Techniques*. Polymers & Polymer Composites, Vol.20, No.3, 2012.
7. Shih Jim-Shown. *Experimental-numerical analysis of bolted joints in finite composites with and without inserts*. ProQuest Dissertations and Theses, 1992.
8. Jantra Yopie. *Aplikasi Digital Image Correlation Untuk Menentukan Harga Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Pelat Berlubang*. Tugas akhir Sarjana, ITB, 2009.