

PERILAKU RAMBAT RETAK PADA POROS PEJAL SETELAH *BENDING OVERLOADS*

Anindito Purnowidodo

E-mail: anindito01@yahoo.com

Teknik Mesin Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145

ABSTRAK

Penelitian rambat retak pada poros pejal berbentuk silindris dilakukan dengan cara eksperimen, pengamatan kecepatan dan perilaku rambat retak setelah siklus beban berulang *bending overload* dilakukan dengan mengamati retak yang merambat pada permukaan specimen yang berbentuk poros pejal.

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa terdapat perbedaan perilaku rambat retak antara specimen tanpa *overload* dan dengan *overload*. Pada specimen dengan diameter 8 mm, setelah *overload* umur retak bertambah pendek dan kecepatan retak meningkat. Pada specimen dengan diameter 9 mm, setelah *overload* umur retak akan bertambah panjang dan kecepatan retak akan menurun. Perilaku rambat retak setelah *overload* pada poros pejal tergantung dari ukuran diameter. Kemungkinan penyebabnya adalah berhubungan dengan arah rambat retak dibawah permukaan specimen.

Kata kunci : Rambat Retak, Poros Pejal, *Overload*

ABSTRACT

In the present study, the crack propagation behaviors following overload were observed on the solid shaft by loading the shaft in cyclic load in rotary bending machine test.

It can be known from the study result that the crack propagation behavior on the specimen with and without overload is not the same. In the case of specimen with diameter 8 mm, after following the overload the fatigue life is shorter than that without overload and the crack propagation is accelerated by the overload. However, on the specimen with diameter 9 mm, the fatigue life become longer than that without overload and after being overloaded the crack propagation rate decreases and it is lower than that without overload. The different of those phenomenons is believed have an association with the crack propagation on the subsurface of the specimen.

Keywords : Crack propagation, Solid shaft, *overload*.

PENDAHULUAN

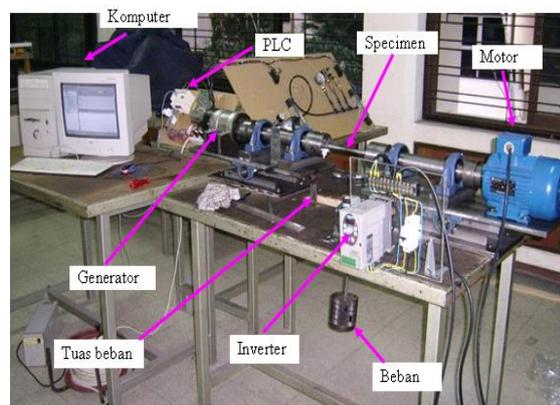
Failure (kegagalan) pada komponen pesawat dapat disebabkan oleh beberapa hal, misalnya *metal fatigue* (kelelahan logam), penggunaan meterial baru, kombinasi tegangan dan korosi (*stress corrosion*), keausan (*wear*), oksidasi pada tempertaure tinggi (Carter, 2005). Akan tetapi 60 % dari kegagalan tersebut disebabkan oleh *metal fatigue* (Brooks & Choudhury, 2002: 5). Dari studi kasus yang dilakukan oleh Mc.Evily (2004, A) pada beberapa tipe struktur pesawat yang jatuh, yaitu F-111A (1969), Boeing 707-321C (1977), Boeing 737-300 (1988), DC-10-10 (1989), MD-88 (1996) dan DC-9-32 (1995) menunjukkan bahwa kegagalan mendeteksi dan mengestimasi umur retak yang disebabkan oleh beban *fatigue* pada tahap perawatan menyebabkan jatuhnya pesawat tersebut. Perambatan retak pada komponen pesawat tersebut dapat terjadi pada berbagai bentuk geometri dan dimensi. Di samping itu kecepatan rambat retaknya sangat bervariasi tergantung dari level pembebanan dan pola siklus beban berulang (Mc.Evily 2004, A). Mengestimasi umur komponen suatu pesawat dapat dilakukan dengan memprediksi laju rambat retak yang akan terjadi pada suatu komponen. Oleh karena itu memahami perilaku rambat retak pada berbagai bentuk geometri komponen, system pembebanan dan siklus beban berulang yang tidak konstan adalah sangat penting agar supaya dapat mengestimasi umur *fatigue* suatu komponen dengan lebih akurat.

Umumnya perilaku rambat retak karena *fatigue* (retak *fatigue*) dengan siklus *overload* diteliti pada benda uji yang mempunyai bagian datar (*plain*), hal ini dimaksudkan agar kontrol terhadap kondisi pembebanan, yaitu tegangan bidang (*plain stress*) atau regangan bidang (*plain strain*) lebih mudah. Disamping itu pengamatan terhadap perilaku perambatan retak relatif lebih mudah (Mc.Evily *et al.*, 1990, 2004; Bao *et al.*, 1995; Makabe *et al.*, 2003, 2005; Purnowidodo *et al.*, 2004). Perilaku rambat retak *fatigue* pada benda uji yang berbentuk silindris, misalkan poros pejal, belum banyak dikaji sehingga hal ini penting untuk diteliti karena komponen berbentuk silindris, misalnya poros (*shaft*) banyak digunakan, misalnya poros roda pada kendaraan bermotor, rotor turbin pesawat dan pada industri gula,

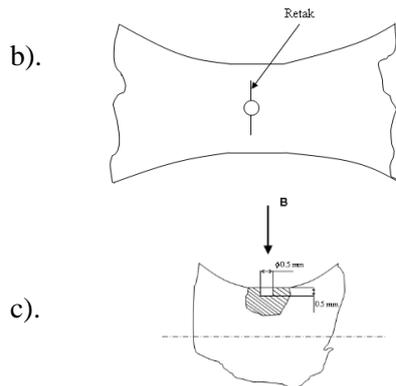
misalnya poros *mollen roll* untuk penggilingan gula. Di samping itu hampir semua poros berbentuk silindris pejal. Oleh karena itu dalam studi ini, penelitian rambat retak pada poros pejal berbentuk silindris akan dilakukan dengan cara eksperimen, pengamatan kecepatan dan perilaku rambat retak setelah siklus beban berulang *bending overload* dilakukan dengan mengamati retak yang merambat pada permukaan specimen yang berbentuk poros pejal.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen, dan mesin uji *fatigue* jenis rotasi *bending* yang dikombinasikan dengan beban *torsion* digunakan untuk mengetahui pengaruh *overload* terhadap perilaku rambat retak pada benda uji dengan ukuran diameter yang berbeda. Gambar 1 menunjukkan mesin uji *fatigue* untuk siklus beban berulang *bending*. Untuk memberikan beban *bending* yang berulang ulang pada sisi specimen maka digunakan beban yang dikombinasi sedemikian rupa dengan motor. Untuk menghitung jumlah siklus beban proximity yang dikombinasi dengan PLC digunakan, dan hasil perhitungan jumlah siklus beban dapat dilihat dilayar komputer. Inverter dapat dikombinasikan untuk mengatur putaran (frekwensi beban).



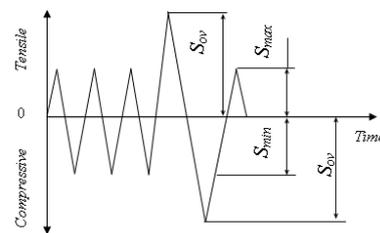
Ditail A



Detail A dari arah pandang B

Gambar 2. a).specimen, b). detail A dan c). perambatan retak

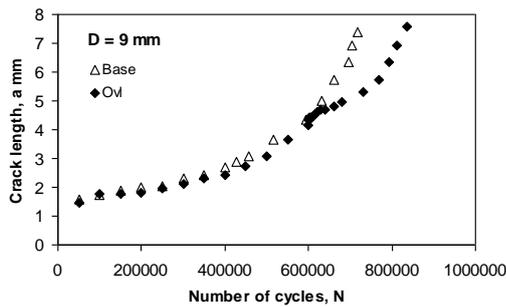
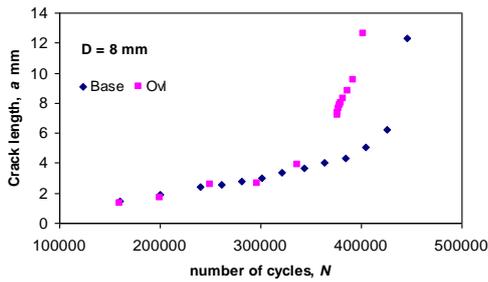
Gambar 2.a menunjukkan geometri dan dimensi specimen. Untuk memicu perkembangan retak, maka *notch* berbentuk lingkaran dibuat dengan proses *drilling* dan ukuran dari lubang tersebut adalah berdiameter 0.5 mm dengan kedalaman 0.5 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.b. Akibat pembebanan oleh siklus beban berulang maka retak akan muncul dan merambat dari *notch* dengan arah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.c. Setelah panjang total retak mencapai 4 mm, selanjutnya specimen dibebani siklus *overload* dengan jumlah 100 siklus dan kemudian siklus beban berulang dikembalikan seperti sebelum siklus *overload*. Pola pembebanan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 yang mana S_{max} , S_{min} dan S_{ov} , masing-masing adalah tegangan siklus maksimum, minimum dan *overload*. Perambatan retak diamati dengan cara membuat replika permukaan specimen yang telah mengalami retak, dan selanjutnya replika retak tersebut diukur dengan menggunakan mikroskop yang dikombinasikan dengan mikrometer yang mempunyai ketelitian 0.01 mm. Pengambilan replika retak dilakukan dengan cara menghentikan siklus beban berulang dan tanpa pembebanan atau *zero load*.

Gambar 3. Siklus beban berulang (Makabe *et al.*, 2004)

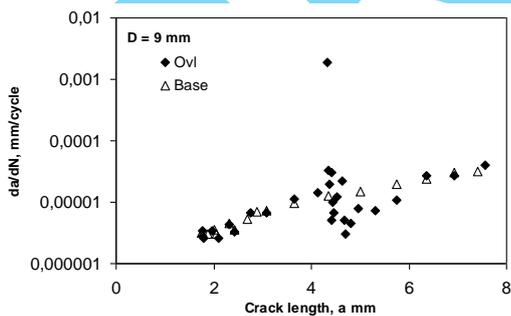
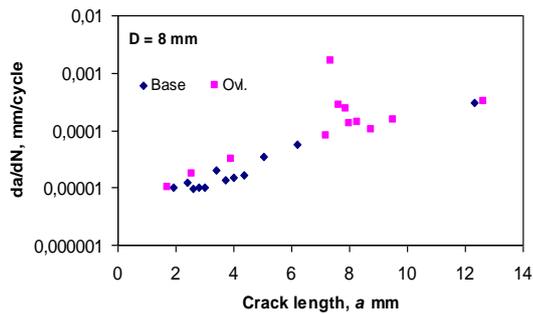
Dalam studi ini perilaku perambatan retak setelah *bending overload* diamati pada poros pejal dengan diameter $d = 8$ mm dan 9 mm. Beban siklus konstan yang dibebankan pada specimen adalah sebesar 200 MPa. dan beban untuk siklus *overload* adalah sebesar 400 MPa. Material yang digunakan adalah baja ST 70 dengan kekuatan luluh 625 MPa., kekuatan maksimum 700 MPa., kekuatan patah 550 MPa. dan regangan patah adalah sebesar 25 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan perilaku rambat retak untuk specimen dengan diameter 8 dan 9 mm. Gambar 4a menunjukkan hubungan antara jumlah siklus beban dan panjang retak untuk specimen dengan *overload* dan tanpa *overload*. Dari gambar tersebut untuk poros dengan diameter 8 mm menunjukkan bahwa umur dari specimen dengan *overload* lebih pendek daripada yang tanpa *overload*. Hal tersebut terjadi karena setelah *overload* cepat rambat retak akan meningkat dengan drastis sebelum kembali ke kecepatan seperti pada specimen tanpa *overload* (*Base*) seperti ditunjukkan pada Gambar 4b. Sebaliknya hal ini tidak terjadi pada specimen dengan diameter 9 mm yang mana umur poros setelah diberi *overload* lebih panjang daripada yang tanpa *overload* (*Base*). Pada Gambar 4b menunjukkan bahwa pada poros dengan diameter 9 mm, sesaat setelah *overload* kecepatannya akan meningkat drastis dan lebih tinggi daripada specimen yang tanpa *overload*, akan tetapi kemudian kecepatannya menurun bahkan lebih rendah daripada kecepatan specimen tanpa *overload* dan kemudian secara gradual kecepatannya kembali ke kecepatan *base*.



a). a Vs N

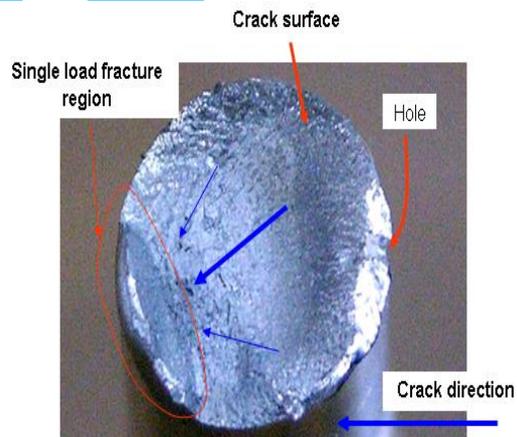


b). a Vs. da/dN

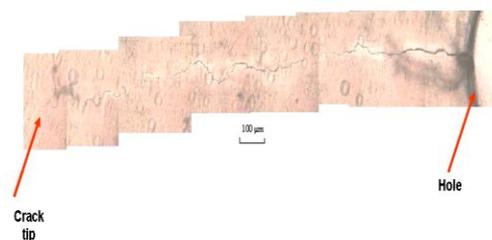
Gambar 4. Perilaku rambat retak. Diameter poros 8 dan 9 mm

Perilaku rambat retak pada poros dengan diameter $D = 8$ mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4 tersebut, berbeda dengan perilaku rambat retak pada *specimen* datar (*flat*) seperti yang dilaporkan oleh Makabe *et.al*, dan

McEvily *et.al*. meskipun kondisi beban siklus konstan, yaitu dengan *stress ratio* $R = -1.0$. Pada *specimen* datar, setelah *overload* cepat rambat retak akan menurun dan umur *fatigue* bertambah panjang. Sampai saat ini perbedaan perilaku tersebut belum bisa diketahui penyebabnya secara pasti. Meskipun demikian, ada indikasi bahwa penyebab perbedaan tersebut disebabkan perbedaan arah perambatan retak antara *specimen* datar dan silindris. Gambar 5 menunjukkan permukaan patahan akibat retak atau disebut juga permukaan retak (*surface crack*) dan Gambar 6 menunjukkan contoh retak yang merambat pada permukaan *specimen*. Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa arah perambatan retak berubah arah, seperti ditunjukkan dengan anak panah. Sedangkan untuk perilaku rambat retak pada poros dengan diameter $D = 9$ mm, mempunyai fenomena yang sama dengan *specimen* datar. Kami menyakini bahwa perilaku perambatan retak yang kami dapatkan dari eksperimen ini mempunyai hubungan dengan perambatan retak dibawah permukaan material.



Gambar 5. Arah perambatan retak pada permukaan patahan



Gambar 6. Contoh perambatan retak pada permukaan *specimen*

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa ;

1. Terdapat perbedaan perilaku rambat retak antara *specimen* tanpa *overload* dan dengan *overload*.
2. Pada *specimen* dengan diameter 8 mm, setelah *overload* umur retak bertambah pendek dan kecepatan retak meningkat.
3. Pada *specimen* dengan diameter 9 mm, setelah *overload* umur retak akan bertambah panjang dan kecepatan retak akan menurun.
4. Perilaku rambat retak setelah *overload* pada poros pejal tergantung dari ukuran diameter.
5. Disamping itu, fenomena perilaku rambat retak yang ditemukan di penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu. Kemungkinan penyebabnya adalah berhubungan dengan arah rambat retak dibawah permukaan *specimen*.

Hasil dari penelitian ini masih terlalu awal untuk dievaluasi, sehingga perlu segera dilanjutkan dengan harapan dapat menemukan fenomena baru dan penyebabnya.

UCAPAN TERIMAH KASIH

Terimah kasih kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan kepercayaannya sehingga penelitian ini dapat dilakukan. Terimah kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Brawijaya yang banyak membantu dalam proses pengajuan dana dan laporan pertanggungjawaban.

DAFTAR PUSTAKA

Bao, H. and McEvily, A. J. "The Effect of Overload on the Rate of Crack Propagation under Plane Stress Conditions." *Metallurgical and Materials*, Vol. 26A, 1995, pp.1725-1733.

- Barsom, J.M., Rolfe, S.T., "Fracture and Fatigue Control in Structure." *Appliation of Fracture Mechanics, ASTM,MNL41*, 1999.
- Brooks, C.R., Choudhury A, "Failure Analysis of Engineering Materilas", *Professional Engineering*, 2002.
- Carter, Tim J., "Common Failures in Gas Turbine Blades", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 12, 2005, pp. 237–247.
- Elber, W. "The Significance of Fatigue Crack Closure." *ASTM STP 486. American Society for Testing and Materials, Philadelphia*; 1971, pp. 230-242.
- Makabe, C., McEvily, A. J., Purnowidodo, A. and Yamauchi, "A. Effects of Negative Stress Ratios on Crack Propagation Behavior after an Overload." *Int. J. Modern Physics. B*, Vol.17, 2003, PP.1580-1586.
- Makabe, C., Purnowidodo, A. and McEvily, A. J. Effects of Surface Deformation and Crack Closure on Fatigue Crack Propagation after Overloading and Underloading, " *Int. J. Fatigue*, Vol.26, 2004, pp.1341-1348
- Makabe C., Purnowidodo, A., Miyazaki, T., and McEvily, Arthur J. "Deceleration and Acceleration of Crack Propagation after an Overloading under Negative Baseline Stress Ratio", *Journal of Testing and Evaluation*, American Society Testing Material, Vol. 33, 181-187, 2005.
- McEvily, A. J. and Yang, Z. "The Nature of the Two Opening Levels Following an Overload in Fatigue Crack Growth." *Metallurgical Transactions*, Vol.21A, 1990, pp.2717-2727.
- McEvily, A. J., Ishihara, S., Mutoh, Y., "On the Number of Overload-Induced Delay Cycles as Function of Thickness " *Int. J. Fatigue*, Vol.26, 2004, pp.1311-1319, (A).
- McEvily, A.J., "Failures in Inspection Procedures: Case Studies", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 11, 2004, pp. 167–176, (B).
- Purnowidodo, A., Choiron, M. A., " Effect of Static Overload on Fatigue Crack Propagation and Fatigue Life on Engineering Materials", *Proceeding, Callobaration Workshop on Energy*,

Environment and New Trend in Mechanical Engineering, Brawijaya University and Keio University, 2003, pp. 243-253.

Purnowidodo, A., Makabe, C., Miyazaki, T. , and McEvily, A. J., ” Transition Behavior of Residual Fatigue Life after Applying Overload during Fatigue Crack Growth with Constant Stress Amplitude, ” *Pressure Vessel and Piping Codes and Standards, ASME/JSME-PVP*, Vol. 480, San Diego, California USA, pp. 39-44 (2004).

Stephens, R.I., Fatemi, A., Stephens, R.R., Fuchs, H.O., “Metal Fatigue in Engineering”,2001.

Topper, T. H. and Lam, T. S., “Derivation of Crack Closure and Effective Fatigue Crack Growth Data from Smooth Specimen Fatigue Test,” *Report of Fatigue Branch of the Society of Materials Science, Japan*, Vol. 266, 2003, pp. 1-12.

Ward-Close, M., Blom, A. F. and Ritchie, R. O. “Mechanisms Associated with Transient Fatigue Crack Growth under Variable-Amplitude Loading: An Experimental and Numerical Study.” *Engineering Fracture Mechanics* , Vol. 32, 1989, pp.613-638.

PROOF