

Perilaku Rambat Retak di Daerah Lubang yang Terekspansi pada Aluminium Alloy

Syahrizal, Anindito Purnowidodo, Rudy Soenoko
Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145 Indonesia
E-mail: djalls_rgt@yahoo.com

Abstract

Mechanism of crack propagation is done by loading the cycle against the perforated metal material will be difficult to avoid, to fatigue crack growth rate can be a way to expand its peg with the hole that normally uses metal balls as an alternative. By using a materials testing machine type cantilever bending eccentric crank, life time of the materials are determined. Research using the method of cold expansion hole in the aluminum alloy metal material to a hole with a diameter of 5 mm in expansion using pin with variation of ϕ 5,1 mm, ϕ 5,15 mm and ϕ 5,2 mm made that crack found on the side of the hole would be difficult to propagate due to residual stress comparison. The result shows that there are residual stresses around the hole which varies depending on the diameter of the pin. In addition, there is growing tensile residual stress within a certain distance of the specimen being tested resulted in a faster growth rate, this causes the material usage time will be shorter.

Keywords: *cold expansion hole, materials testing machine, aluminum alloy, comparison residual stress, life time.*

PENDAHULUAN

Jenis sambungan dengan menggunakan paku keling dan kombinasi baut-mur sering digunakan, dengan keuntungan mudah untuk dibongkar dan di pasang kembali, namun potensi permasalahan baru bisa muncul yaitu pada daerah disekitar lubang akan terjadi konsentrasi tegangan [1].

Salah satu cara untuk mencegah inisiasi retak dan merambatnya retak dari lubang mur-baut atau keling adalah dengan cara yang dikenal dengan *cold expansion hole technique* [2]. Teknik ini dilakukan dengan menekankan bola logam pada permukaan lubang, dan penekanan dilakukan sampai terjadi deformasi plastis, sehingga menyebabkan terjadinya tegangan sisa tekan disekitar permukaan lubang. Telah dibuktikan bahwa kondisi tegangan sisa di depan ujung retak pada daerah di bawah permukaannya juga mempengaruhi perambatan retak [3-4]. Dari hasil simulasi numeric dalam menerapkan

teknik *cold expansion hole*, tegangan sisa tekan terjadi disekeliling lubang pada daerah dari sisi lubang dan daerah tersebut juga mengalami deformasi plastis serta ketebalan dan diameter pasak sangat berpengaruh dalam mengekspansi lubang. Dalam simulasi tersebut digunakan pasak (*pin*) sebagai pengganti bola logam [5]. Penelitian yang akan dilakukan adalah mengkonfirmasi hasil simulasi numeric dengan pengujian material sesungguhnya yaitu bagaimana hubungan antara diameter pasak dan diameter lubang pada material pengujian terhadap distribusi tegangan sisa tekan.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan adalah dengan metode "*cold expansion hole*" terhadap satu lubang pada material uji menggunakan pasak (*pin*) dengan tujuan agar dapat melakukan ekspansi pada daerah sekeliling lubang sehingga tegangan sisa tekan yang

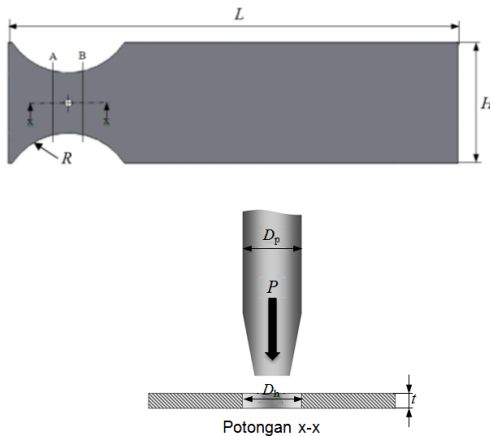
terbentuk tidak terjadi pada daerah permukaan saja.

Penelitian ini dilakukan pada plat logam aluminium paduan yang banyak terdapat di pasaran dan telah dilakukan pengujian dengan sifat-sifat mekanik yang didapat sebagai berikut:

- Modulus Elastisitas (E) = 70000 Mpa
- Tegangan Ultimate = 145 MPa

Selanjutnya spesimen diberikan kecepatan putar pada *materials testing machine type bending cantilever eccentric crank*.

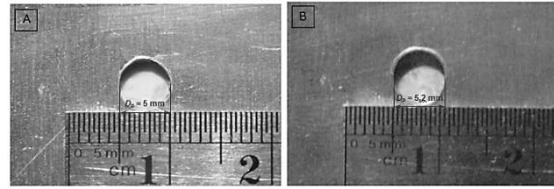
Berikut ini adalah gambaran proses dari *cold expansion hole*, dimana lubang dengan diameter D_h dan pasak dengan diameter D_p . Dari proses ini, $D_p > D_h$ akibatnya pada keliling lubang akan terdeformasi sehingga $D_p = D_h$, dari teori ini maka diharapkan akan terbentuk tegangan sisa disekitar lubang [5].



Gambar 1. Proses *cold expansion hold*

Dengan bentuk spesimen yang terlihat pada gambar 1, maka sangat memungkinkan terjadinya tegangan sisa disekitar lubang.

Gambar 2 menunjukkan salah satu spesimen yang di *expansion* menggunakan pasak.



Gambar 2. Bentuk dari spesimen (A) sebelum dan (B) sesudah dilakukan *expansion*

Terlihat perubahan diameter terhadap lubang setelah dilakukan ekspansi yang diharapkan akan menghasilkan tegangan sisa pada sisi lubang agar dapat menghambat laju rambat retaknya.

Untuk contoh spesimen lainnya yang di *expansion* juga dilakukan, seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Spesimen dengan satu lubang yang di *expansion* menggunakan pasak.

No.	Diameter Satu Lubang (mm)	Diameter Pasak (mm)
1.	5	5,1
2.	5	5,15
3.	5	5,2

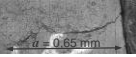
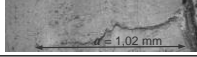


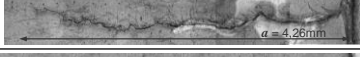
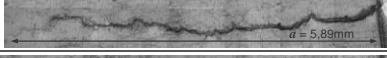


Penelitian yang dilakukan pada masing-masing spesimen uji guna melihat rambatan retak yang terjadi menggunakan *material testing machine type bending cantilever eccentric crank*. Pada motor penggerak kecepatannya diatur dengan frekuensi 50 Hz yang dalam hal ini amplitudo dari penelitian didapatkan 120 putaran/menit.

Pada putaran 20000 *cycle* awal dilakukan penghentian terhadap alat uji yang kemudian diambil *sample* menggunakan *reflica voil* tepat pada lubang spesimen uji tersebut, selanjutnya untuk putaran berikutnya dilakukan dengan cara melakukan putaran kembali dari kelipatan sebelumnya dan ini dilakukan secara *continue* hingga retak awal terlihat. Dari penelitian yang dilakukan, hampir semua dari spesimen awal retak terjadi setelah putaran mencapai 200000

cycle, ini dibuktikan setelah menggunakan mikroskop yang terdapat pada *photo digital microhardness tester*.

HASIL PENELITIAN

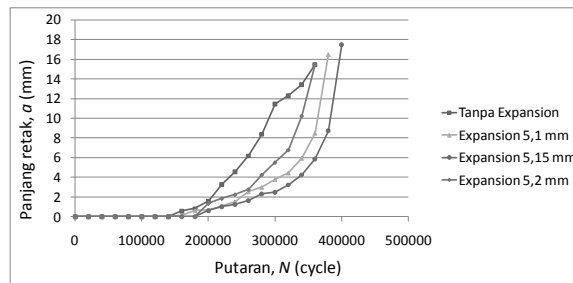
Berikut adalah gambaran retak pada salah satu spesimen yang terjadi setelah dilakukan pengujian, dalam hal ini pada gambar 3 contoh spesimen yang di *expansion* menggunakan pasak ϕ 5,15 mm.

A		N 200000 cycle
B		N 220000 cycle
C		N 260000 cycle
D		N 300000 cycle
E		N 340000 cycle
F		N 360000 cycle
G		N 380000 cycle
H		N 400000 cycle

Gambar 3. Contoh gambaran retak yang terjadi pada saat pengujian

Retak yang terjadi pada spesimen uji untuk satu lubang yang di *expansion* mulai dari inisiasi awal retak hingga rambat retak mendekati putus diuraikan pada gambar 3. Contoh ini diambil karena memenuhi kriteria sebuah kasus lubang yang di *expansion* menggunakan pasak. Untuk A, retak yang terjadi pada putaran telah mendekati 200000 cycle dan ini merupakan awal retak dari spesimen yang diujikan dan panjang retak didapatkan 0,65 mm, pada B merupakan lanjutan putaran yaitu 220000 cycle dan panjang retak didapatkan 1,03 mm, pada C putaran mencapai 260000 cycle dengan panjang retak 1,65 mm, pada D putaran

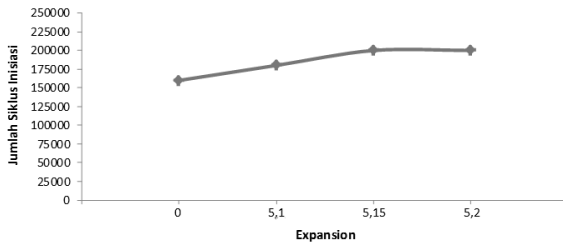
mencapai 300000 cycle dengan panjang retak 2,75 mm, pada E putaran mencapai 340000 cycle dengan panjang retak 4,51 mm, berikutnya untuk F pada putaran 360000 cycle dengan panjang retak 6,03 mm dan G pada putaran 380000 cycle dengan panjang retak 10,25 mm serta pada H putaran hampir mencapai 400000 cycle dengan panjang retak 17,5 mm spesimen uji putus dari sisi sebelah kiri dalam melakukan pengujian.



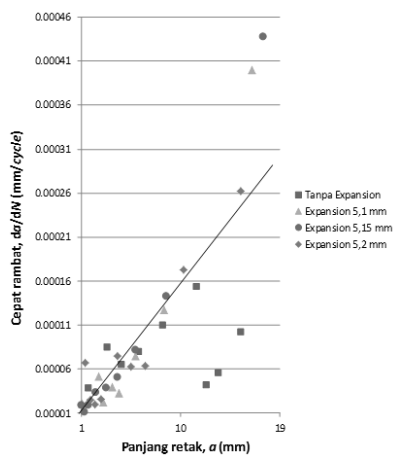
Gambar 4. Hubungan antara jumlah siklus putaran dan panjang retak

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa untuk spesimen satu lubang hampir semua ada pengaruhnya setelah dilakukan *expansion* terhadap spesimen uji, namun pada spesimen yang menggunakan pasak berdiameter 5,2 mm inisiasi awal retaknya lama namun putus lebih cepat dibanding dengan yang lainnya. Dari kasus ini dapat di analisa bahwa terdapatnya tegangan sisa tarik yang besar pada sisi lubang dan setelah terinisiasi maka tegangan sisa tariknya semakin membesar mengakibatkan laju perambatan retaknya semakin cepat dan membuat spesimen cepat putus.

Pada gambar 5 menunjukkan hubungan antara jumlah siklus inisiasi dengan spesimen yang di *expansion*, terlihat garis kontinyu yang didapatkan yaitu menggambarkan bahwa belum begitu signifikan pengaruh *expansion* yang dilakukan terhadap spesimen satu lubang dengan menggunakan pasak dibandingkan dengan spesimen tanpa ekspansi.



Gambar 5. Hubungan jumlah siklus inisiasi dengan *expansion* spesimen satu lubang

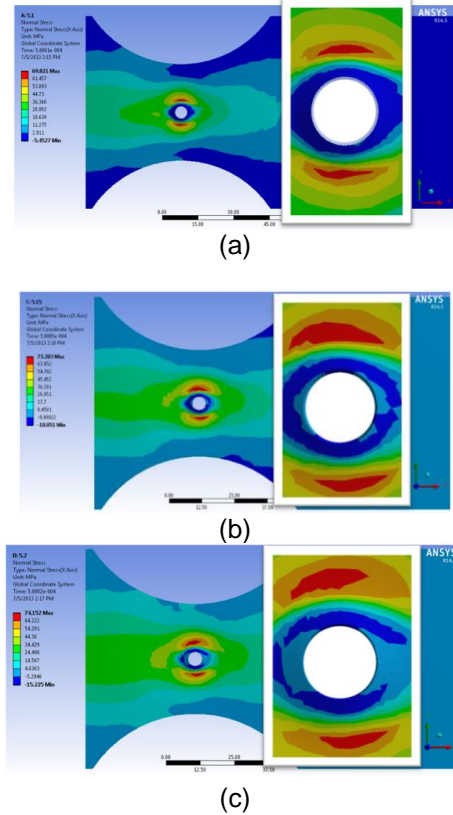


Gambar 6. Cepat rambat retak spesimen satu lubang

Pada grafik $da/dN - a$, dapat diketahui cepat rambat retak dari masing-masing spesimen yang diujikan dimana pada gambar 6 dapat diketahui bahwa cepat rambat untuk spesimen yang telah di *expansion* dibanding dengan spesimen tanpa *expansion* mempunyai kecenderungan sama, ini diketahui dari hasil penelitian yang dilakukan serta melihat dari *trend* pada *expectation line* yaitu titik-titik rambat retaknya terlihat sama antara satu titik ke titik yang lainnya untuk spesimen tanpa *expansion* dan spesimen yang di *expansion*. Kejadian ini dapat diprediksi bahwa kecil kemungkinan adanya pengaruh *expansion* terhadap lubang yang ditandai pada laju pertumbuhan retak dari semua spesimen baik yang di lakukan *expansion* maupun tanpa *expansion* terlihat sama.

PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian diketahui bahwa variasi pasak dengan diameter 5,15 mm tegangan sisa tekan tidak signifikan didapatkan pada sisi lubang namun dalam jarak tertentu dari lubang terdapat tegangan sisa tarik yang mempengaruhi lamanya inisiasi awal retak pada lubang. Adanya tegangan sisa tarik yang lebih besar maka pada saat terinisiasi laju perambatan retaknya akan semakin cepat, hal ini akan membahayakan material logam karena akan mempercepat waktu pemakaian.



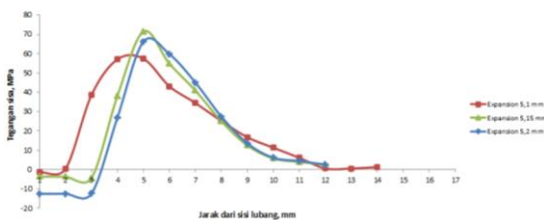
Gambar 7. *Contour* distribusi tegangan searah sumbu x untuk spesimen satu lubang yang di *expansion* dengan ϕ pasak (a) 5,1 mm dan (b) 5,15 mm dan (c) 5,2 mm

Distribusi tegangan sisa disekitar lubang yang telah di *expansion* akan terlihat pada

gambar 7 berikut ini yang disesuaikan dengan lubang dan variasi pasak dalam melakukan penelitian sesungguhnya, yaitu pada daerah disekitar lubang setelah diekspansi masih didominasi *contour* dengan warna biru yang mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut masih mengalami tegangan sisa tekan meskipun tidak terdapat tekanan dari pasak, oleh karna itu dapat dikatakan bahwa pada daerah tersebut baru didapatkan hanya tegangan sisa tekan.

Namun secara berangsur-angsur warna biru tersebut akan berubah menjadi warna merah jika jaraknya semakin jauh dari sisi lubang yang artinya mengindikasikan tegangan dalam kondisi tarik. Pada gambar yang di ekspansi menggunakan pasak ϕ 5,15 mm *contour* dengan warna merah yang lebih dominan dibanding dengan pasak lainnya, dan inisiasi awal retak terjadi lebih lama disbanding dengan yang lainnya namun waktu pemakaian terjadi lebih cepat. Berikut dapat dilihat pada gambar 7 yaitu *contour* distribusi tegangan searah sumbu x berdasarkan diameter masing-masing pasak yang digunakan.

Maka berikut ini dapat diamati hubungan jarak dari lubang dan besar tegangan sisa dari spesimen satu lubang yang di *expansion*.



Gambar 8. Hubungan jarak dari sisi lubang dan besar tegangan sisa untuk spesimen satu lubang yang di *expansion*

Tegangan sisa tekan ditandai dengan nilai negative dan nilai positif menyatakan adanya tegangan sisa tarik. Jika dihubungkan dengan hasil penelitian maka spesimen yang di *expansion* menggunakan pasak berdiameter 5,15 mm inisiasi awal retaknya lebih lama di

banding dengan lainnya dalam jumlah siklus hingga spesimen putus, artinya dapat dipastikan bahwa diindikasikan terdapatnya tegangan sisa tekan pada spesimen uji tersebut.

KESIMPULAN

1. Tegangan sisa tekan terbesar dalam penelitian ini terjadi pada spesimen yang di *expansion* dengan pasak ϕ 5,15 mm disekitar sisi lubang.
2. Dari hasil simulasi terdapat tegangan sisa tekan pada sisi lubang untuk semua spesimen yang di *expansion* yang ditandai dengan warna biru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mott, R. L., 2004, *Machine elements in mechanical design*, Prentice Hall.
- [2] Ghfiri, A. R., Amrouche, A., Imad, A. & Mesmacque, G., 2000, "Fatigue life estimation after crack repair in 6005 A-T6 aluminum alloy using the cold expansion hole technique", *Fatigue fractioning mater structure.*, Vol. 23, 911-916.
- [3] Purnowidodo, A. & Prawara, B., 2011, "The relation of crack length and overload to crack growth on solid round bar", *International Journal of Materials Engineering and Technology.*, Vol. 5, No.1, 29-40.
- [4] Purnowidodo, A. & Macabe C., 2009, "The crack growth behavior after overload on rotating bending fatigue, Engineering Failure Analysis, *European Structural Integrity Society.*, Vol. 16, issue 17, 2245-2254.
- [5] Wahyudi, A., Purnowidodo, A. & Pambudi W., 2011, "Hubungan diameter pasak, lubang sambungan dan ketebalan plat terhadap distribusi tegangan sisa", *Jurnal Rekayasa Mesin.*, Vol. 2, No. 3, 218-226.