

**PENGARUH PEREGANGAN TERHADAP
PENURUNAN LAJU PERAMBATAN RETAK MATERIAL AL- 2024 T3
Susilo Adi Widyanto**

Abstract

Stretching process of sheet materials is one of any process to increasing of material strength. But the effect of this process on crack growth must investigate, the first for sheet materials are used as a plane structure.

The test results show that the stretching process of AL 2024 T3 materials of 3 % would produce of decreasing crack growth rate, and 5 % of stretching process would produce of increasing crack growth rate of materials.

PENDAHULUAN

Penggunaan material pelat semakin meluas terutama bagi industri-industri manufaktur, sehingga peningkatan segi kualitas maupun pengamatan sifatnya harus semakin di tingkatkan. Pada industri pesawat terbang, industri otomotif maupun industri peralatan transportasi lainnya, material pelat mempunyai peranan yang sangat penting dalam penentuan performansi bagi produk-produknya. Faktor kompleksitas desain yang sudah sedemikian tinggi, mengarahkan material pelat bukan hanya digunakan sebagai *cover* suatu produk (dari segi estetika produk) namun pelat juga digunakan sebagai struktur utama (*main frame*).

Dalam bidang teknik produksi, proses-proses manufaktur otomatis telah banyak dikembangkan. Aspek kompleksitas produk bukan lagi menjadi kendala utama dalam prosesnya. Namun ternyata dengan penerapan teknologi tersebut muncul beberapa aspek lain yang sifatnya merugikan sehingga harus lebih banyak diteliti. Hal tersebut antara lain berupa kemungkinan terjadinya perubahan sifat material karena proses manufaktur yang dilakukan.

Salah satu proses manufaktur yang umum dilakukan adalah proses pembentukan. Ciri utama dari proses pembentukan ini adalah bekerja pada daerah pembebanan plastis dari material yang diproses. Sehingga proses pembentukan ini akan menyebabkan tereduksinya dimensi material yang akan meningkatkan kekuatan dan menurunkan tingkat keuletannya. Peningkatan kekuatan akibat proses pembentukan ini biasa disebut dengan proses penguatan regangan (*strain hardening*). Fenomena *strain hardening* dapat dijelaskan dengan menggunakan teori dislokasi. Pada proses pembentukan, dislokasi akan bergerak dan berinteraksi dengan dislokasi lainnya. Interaksi antar dislokasi ini akan meningkatkan kerapatannya, sehingga gerakan dislokasi akan semakin sulit. Sulitnya gerak dislokasi adalah indentik dengan kuatnya material (Pengundjungen Taringan dan Muh. Lufti-IPTN).

Fenomena lain yang terjadi sebagai dampak dari proses pembentukan adalah munculnya tegangan sisa dalam material yang diproses dan berubahnya bentuk butir. Perubahan-perubahan tersebut yang akan menyebabkan terjadinya perubahan perilaku

material yang bersangkutan terhadap jenis beban yang dialami.

Pada sebagian komponen struktur pesawat terbang misalnya, proses produksinya dikerjakan dengan proses pembentukan, terutama berupa proses peregangan (*stretching process*), sedangkan pada kondisi operasinya selain menerima beban statis juga menerima beban fatik. Oleh karena itu, kajian mengenai pengaruh proses pembentukan terhadap kekuatan fatik pada material khususnya pada material pesawat, perlu dilakukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Proses pembentukan pelat logam secara umum merupakan pembebanan kombinasi dari beban bending, beban drawing dan beban regang. Pada tiap-tiap jenis beban tersebut bila dilihat lebih dalam akan mempunyai berbagai persoalan spesifik yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan materialnya (A.A.EL-Domiaty, M.A.N. Shabara).

Pada proses peregangan murni khusus yang dihadapi adalah sama dengan khusus pengujian tarik pada pelat. Fenomena dasar yang terjadi pada proses ini adalah tereduksinya ketebalan pelat, dan dikatakan masih dalam toleransi normal bila reduksi tebal tersebut sifatnya masih seragam. Batas peregangan didefinisikan ketika reduksi ketebalan sifatnya tidak merata lagi (bersifat lokal). Fenomena ini sama dengan terjadinya proses *necking* pada spesimen uji tarik (Mardjono Siswosuwarno – Harsono Wiryosumarto).

Deformasi lokal pada pengujian tarik dapat diamati setelah pembebanan mencapai harga maksimum. Karena hal tersebut, maka batas peregangan dapat diambil ketika regangan yang terjadi pada beban maksimum pada pengujian tarik. Tegangan alir material ditentukan dengan persamaan :

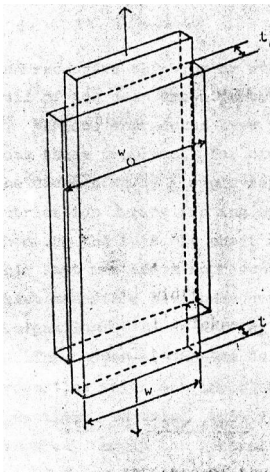
$$\sigma = K\varepsilon^n$$

Sedangkan pada saat *necking* terjadi yaitu dalam kondisi ketidakseimbangan plastis, harga tegangan regangan yang terjadi sebesar $\varepsilon_u = m$. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa dalam proses pembentukan terjadi proses peregangan yang dominan pada pelat logam dengan koefisien *hardening*).

Proses peregangannya lokal dari suatu material dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut. Akibat beban tarik, material akan mengalami reduksi lebar dan ketebalannya. Perubahan lebar dan ketebalan dapat dinyatakan dengan faktor R yang biasa disebut dengan perbandingan regangan plastis (*plastic strain ratio*), yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$R = \epsilon_w / \epsilon_t$$

Pada material isotropik, faktor R besarnya sama dengan 1 yang berarti regangan arah lebar besarnya sama dengan regangan pada arah ketebalan.



Gambar-1 : Deformasi pada proses peregangannya

Penghambat reduksi ketebalan dapat dikembangkan dengan mengkondisikan dimana harga R dibuat lebih besar dari harga normalnya. Perbesaran harga R ini dapat dilakukan dengan pengontrolan tekstur kristalografi sehingga terjadi proses penguatan plat pada arah tertentu.

Tegangan Sisa

Tegangan sisa pada proses peregangannya ditimbulkan oleh distribusi regangan plastis yang tidak linier pada penampang melintang material. Besar dan arah tegangan sisa dipengaruhi oleh sifat material dan parameter pembebanannya. Jika beban regangan yang diberikan lebih kecil dari regangan luluhnya, deformasi yang terjadi hanya berupa deformasi elastis sehingga tegangan sisa tidak akan terjadi.

Dari berbagai pengujian yang telah dilakukan, membuktikan bahwa tegangan sisa tekan di permukaan material akan memberikan aspek penguatan yang lebih baik. Contoh proses pemberian tegangan sisa dipermukaan antara lain dilakukan dengan proses *shoot peening* yang diaplikasikan pada proses penguatan material pesawat.

Retak Fatik

Pembebanan dinamik yang dikenakan pada suatu material sekalipun intensitasnya lebih rendah dibandingkan tegangan luluhnya, ternyata dapat menyebabkan terjadinya kegagalan, yang disebut dengan kegagalan akibat fatik (lelah). Kegagalan tersebut diawali dengan terbentuknya retak pada permukaan ataupun didalam struktur material. Sedangkan lokasi retak dapat terjadi pada daerah cacat ataupun pada takikan yang sengaja dibuat karena tuntutan dari segi desain. Retak yang terjadi menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada ujung-ujungnya. Bila konsentrasi tegangan yang terjadi besarnya melebihi tegangan luluh material, akan mengakibatkan terjadinya plastisitas sehingga retak akan merambat. Perambatan retak merupakan faktor utama terjadinya kegagalan karena fatik. Patah akibat fatik pada akhirnya terjadi karena pembebanan statis, setelah luasan efektif material tidak mampu lagi menahan beban yang terjadi.

Perambatan Retak Fatik

Dalam aplikasi desain fatik (*fail-safe design*) konsep perambatan retak merupakan suatu hal yang perlu untuk diperhitungkan. Dengan diketahuinya laju perambatan retak yang terjadi, suatu hasil desain dapat dinyatakan kondisi batas amannya. Pada sebagian komponen pesawat terbang misalnya, retak diijinkan terjadi dan pada kondisi itu pula umur material masih dapat diprediksi, sehingga aspek keamanannya tetap terpenuhi.

Hubungan antara laju perambatan retak fatik dengan faktor intensitas tegangan telah dirumuskan dalam bentuk kurva yang ditunjukkan pada gambar 2. ΔK dinyatakan sebagai faktor intensitas tegangan, yang dirumuskan sebagai berikut :

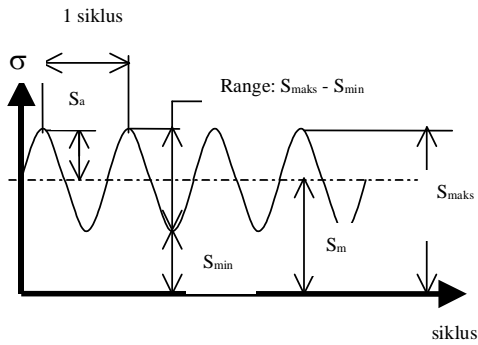
$$\begin{aligned} \Delta K &= K_{maks} - K_{min} \\ &= (S_{maks} - S_{min})\beta\sqrt{\pi.a} \end{aligned}$$

Bila material dibebani tegangan tekan laju perambatan retak sama dengan 0, maka jika S_{min} berupa tegangan tekan, nilai $K_{min} = 0$.

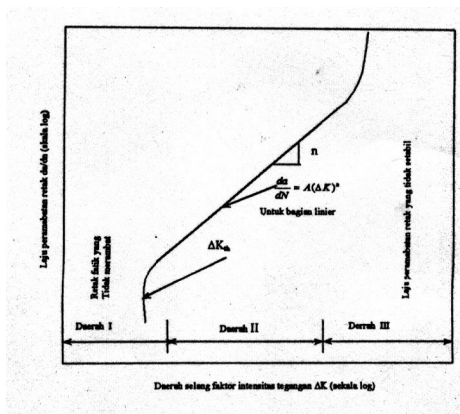
Kurva diatas mempunyai bentuk sigmoidal yang terbagi menjadi 3 daerah :

Daerah I menunjukkan suatu harga ambang ΔK_{th} , dimana dibawah harga ini tidak terjadi perambatan retak. Daerah II, pada daerah ini terlihat suatu hubungan yang linier antara $\log da/dN$ dan $\log \Delta K$, dan oleh Paris dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{Da}{dN} = A(\Delta KI)$$



Gambar- 2 : Skematis pembebanan fatik



Gambar- 3 : Kurva laju perambatan retak fatik

Harga n merupakan slope dari kurva dan A adalah koefisien yang dapat dicari dengan menarik garis lurus sampai harga $\Delta K_I = 1 \text{ Mpa}\sqrt{m}$. Daerah III menunjukkan terjadinya laju perambatan retak yang sangat tinggi sehingga sudah tidak terkontrol lagi.

PEMBAHASAN

Untuk mengetahui berbagai hal yang menyangkut proses peregangan dan pengaruhnya terhadap kekuatan fatik dalam hubungannya dengan laju perambatan retak, maka dilakukan berbagai pengujian. Pengujian-pengujian tersebut antara lain berupa pengujian kekerasan pada berbagai kondisi peregangan, pengujian lelah (fatigue) spesimen pada berbagai kondisi peregangan dan pengamatan panjang retak spesimen dengan beban dinamis pada berbagai kondisi peregangan. Data-data hasil pengujian berikut memperlihatkan hubungan antara parameter tersebut di atas (Pangundjungen Tarigan).

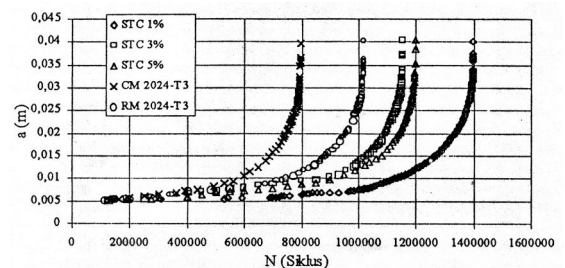
Dari Tabel-1 memperlihatkan kecenderungan meningkatnya kekuatan statik material sesuai dengan kenaikan deformasi plastis yang dibebankan. Fenomena ini terjadi akibat meningkatnya kerapatan dislokasi sehingga sebagai penghambat gerakan dislokasi berikutnya, yang berarti pula kekuatan material akan meningkat.

Tabel-1 :
Data hasil pengujian tarik dan pengujian kekerasan material AL-2024 T3 pada berbagai kondisi deformasi plastis

Deformasi Plastis	σ_y (kg/mm ²)	σ_{maks} (kg/mm ²)	Perpanjangan	HV
0 % rata-rata	33.658	46.197	14.372	157
	26.701	45.698	14.402	148
	34.603	46.312	12.317	149
	31.654	46.069	13.697	151.33
1 % rata-rata	39.185	46.841	10.609	164
	39.132	46.203	11.635	168
	39.397	47.266	16.047	164
	39.238	46.770	12.764	165.33
3 % rata-rata	40.956	47.719	10.885	188
	38.718	46.526	10.752	193
	36.526	46.043	14.271	188
	38.733	46.763	11.969	189.67
5 % rata-rata	45.230	47.256	10.731	203
	45.140	47.745	8.7881	196
	45.262	45.541	9.8167	190
	45.211	47.514	9.7786	196.33

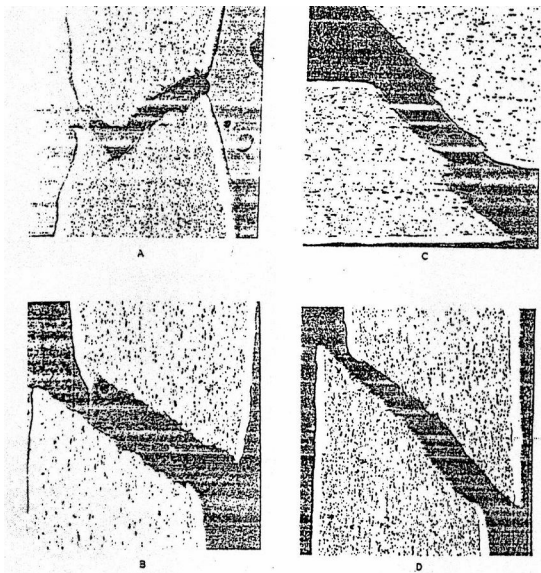
Tabel -2 :
Data hasil pengujian fatik untuk material AL-2024 T3 pada berbagai kondisi deformasi plastis

Deformasi plastis	N (siklus)	N (siklus) rata-rata
0%	171800	153380
	142500	
	180300	
	129400	
	142900	
1%	229500	216720
	200200	
	212500	
	248200	
	193200	
3%	222100	249140
	302100	
	267600	
	195400	
	258500	
5%	248900	241075
	320000	
	189200	
	206200	



Gambar-4 : Hubungan antara panjang retak material AL-2024 T3 dengan siklus (N)

Disamping terjadi peningkatan kekuatan material, proses peregangannya mengakibatkan terjadinya penurunan keuletan tarik material. Dari tabel 1 terlihat, harga e (elongation) yang semakin menurun seiring dengan pertambahan peregangannya. Pengetasan yang terjadi dapat dilihat dari bentuk patahan hasil pengujian tarik. Deformasi plastis hampir tidak terlihat ketika peregangannya yang diberikan mencapai 5%. Penjelasan proses pengetasan ini dapat dilihat pada gambar 5 berikut:

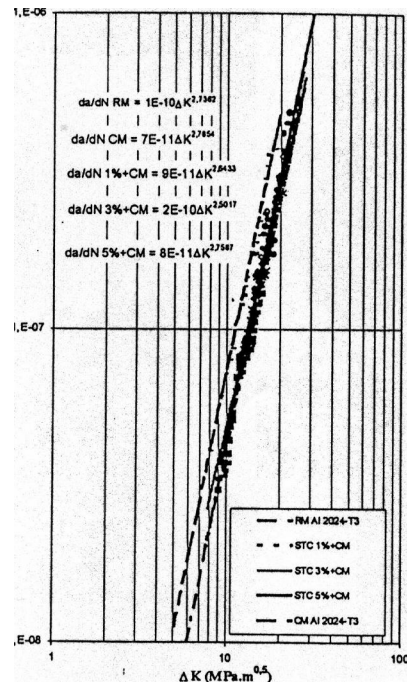


Gambar-5: Bentuk patahan hasil pengujian tarik yang menyatakan terjadinya fenomena pengetasan karena peregangannya. a). material awal b) deformasi plastis 1% c) deformasi plastis 3%, d) deformasi plastis 5%

Pada tabel 2 terlihat bahwa terjadinya peningkatan umur fatik dengan proses peregangannya sampai batas 3%. Sedangkan setelah peregangannya mencapai 5%, umur fatik cenderung menurun, namun tetap lebih tinggi dibandingkan material awalnya. Peningkatan umur fatik sampai peregangannya 3% ini kemungkinan disebabkan karena deformasi plastis yang telah dialaminya, sehingga umur retak awal (crack initiation life) akan lebih tinggi yang berarti pula akan meningkatkan umur fatik. Hubungan ini diperoleh bahwa umur fatik merupakan umur retak awal ditambah dengan umur perambatan retak. Namun pada pertambahan peregangannya berikutnya (setelah 5%), justru umur perambatan retak akan memendek, hal ini dimungkinkan karena terjadi efek pengetasan, dan semakin mengecilnya daerah plastis pada ujung retak yang digunakan sebagai penghambat laju perambatan retak.

Dari gambar 6 terlihat, sampai batas 3% peregangannya akan memperlambat perambatan, sedangkan peregangannya di atas 3% kembali akan mempercepat perambatan retak material AL 2024-T3.

Fenomena ini dapat dijelaskan seperti pada uraian sebelumnya.



Gambar-6: Hubungan antara faktor intensitas tegangan (ΔK) dengan laju perambatan retak untuk material Al 2024-T3 pada berbagai kondisi peregangannya

Dari grafik tersebut terlihat bahwa dengan peningkatan kondisi peregangannya dalam batas tertentu dapat menurunkan laju perambatan retak. Untuk paduan Al 2024-T3, kondisi peregangannya 3% ternyata mampu menurunkan laju retak optimal. Dengan penambahan kondisi peregangannya berikutnya (5%) memperlihatkan laju perambatan retak meningkat. Kondisi ini terjadi sebagai akibat pada proses peningkatan kondisi peregangannya di atas 5% menyebabkan terjadinya aspek pengetasan (terlihat pada tabel pengujian tarik) dan semakin kecilnya daerah plastis yang berfungsi sebagai penghambat perambatan retak.

KESIMPULAN

Dari data dan pembahasan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Pemberian deformasi plastis (proses peregangannya) pada material AL 2024-T3 dapat digunakan untuk meningkatkan umur fatik yang berarti pula dengan proses peregangannya dapat menurunkan laju perambatan retak.
2. Harga optimum pemberian deformasi plastis untuk tujuan penghambat laju retak adalah sekitar 3% peregangannya. Peregangannya yang mencapai 5% memperlihatkan kecenderungan terjadinya percepatan laju retak kembali.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.A. EL-Domiaty, M.A.N. Shabara, Jurnal, *Determination of Stretch-Bendability of Sheet-Metals*.
2. Ariyano, Tesis, *Pengaruh Perentangan dan Chemical Milling Terhadap Sifat Mekanik dan Laju Perambatan Retak Paduan Aluminium*.
3. A. Turnbull, Jurnal, *The Effect of Grain Size on Fatigue Crack Growth in An Aluminium Magnesium Alloy*.
4. Mardjono Siswosuwarno dan Harsono Wiryosumarto, Paper, *Strain Ratio and Strain Hardenig Coefisient of Various Steel Sheet*.
5. Pangundjungen Tarigan, Paper, *Pengaruh Proses Peregangan Terhadap Sifat Mekanik, Statik dan Fatik Material AL 2024-T3*.
6. W. Hesse, Jurnal, *The Strain Hardening of Structural Steels with Different Yield Strengths and Its Influence on The Materials Properties During Plastic Deformation*.