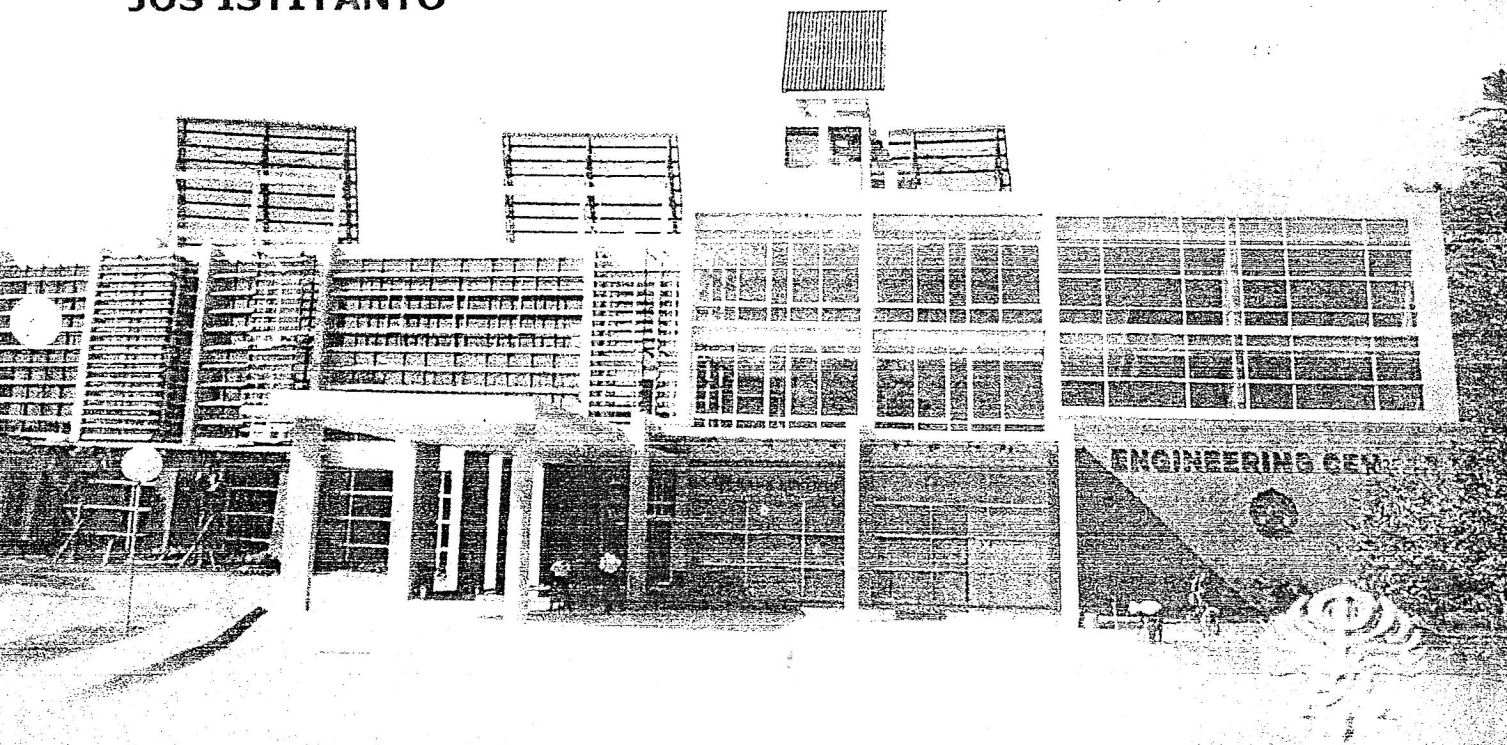


# PROSIDING

**Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) V**

**Universitas Indonesia, 21-23 Nopember 2006**

**EDITOR:  
HARINALDI  
YULIANTO S. NUGROHO  
GANDJAR KISWANTO  
JOS ISTIYANTO**



## Analisa Pertumbuhan Retak Pada Al 7075-T6 Dengan Menggunakan Mesin Uji Lentur 3 Titik

Hendri Chandra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih km 32 Kec. Indaralaya 30662-OI  
E-mail : hendri\_cyber1@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini membahas tentang pertumbuhan retak pada daerah dua dari skematik perilaku pertumbuhan retak lelah dengan perbandingan tegangan  $R = 0$ . Bahan uji yang digunakan adalah Paduan Aluminium jenis 7075-T6.

Mesin Uji Pembebanan Tiga Titik (*three Point Bending Machine*) digunakan untuk memperoleh nilai panjang retak pada setiap siklus ( $a_i, n_i$ ). Mikroskop elektron (SEM) digunakan untuk menganalisa bentuk permukaan patahan. Metoda *incremental polynomial* digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan retak ( $da/dN$ ) dikorelasikan dengan faktor intensitas tegangan modulus pertama ( $K_I$ ).

Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah ketangguhan bahan (*fracture toughness value*), kurva antara pertumbuhan retak ( $da/dN$ ) dengan faktor intensitas tegangan ( $K_I$ ) menunjukkan hubungan yang linier dan adanya daerah yang terlihat pada permukaan patahan yaitu daerah takik, daerah lelah, dan daerah patah static.

Kata kunci : Al 7075-T6, Perambatan retak, siklus, factor intensitas tegangan, permukaan patah

## I. PENDAHULUAN

Mekanika padatan (Solid Mechanics) dibagi atas dua cabang ilmu, yaitu :

1. Mekanika kekuatan bahan, diasumsikan bahwa bahan tanpa cacat, homogen, dan isotropy
2. Mekanika retakan, digunakan apabila bahan tersebut mempunyai cacat (discontinue), heterogen, unisotropy.

Sedangkan cacat bahan dikelompokkan menjadi dua yaitu :

1. Cacat makro, adalah cacat yang diakibatkan oleh proses permesinan dalam hal ini menyebabkan material mempunyai lubang (hole), takikan (notch), cacat akibat pengelasan (weld defect), goresan.
2. Cacat mikro, merupakan cacat bawaan seperti adanya pengotor (impurity), kekosongan atom (vacancy), cacat garis (dislocation), cacat batas butir (grain boundary), pengelompokan (segregation)

Semua cacat tersebut dapat merupakan pusat konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan retakan. Dari 242 analisa kegagalan bahan telah diamati oleh Nishida [1], bahwa 77 % kegagalan diakibatkan oleh lelah (fatigue), diantaranya 58 % diakibatkan oleh lelah sederhana (simple fatigue); 8 % akibat pengaruh suhu (thermal fatigue), 11 % akibat korosi (corrosion fatigue), dan lelah akibat kontak putaran (rolling contact fatigue). Sehingga dapat disimpulkan bahwa 90 % dari kegagalan tersebut diakibatkan oleh tegangan terpusat.

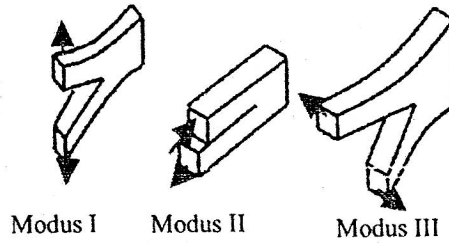
## II. TEORI

Beberapa modus deformasi retak yaitu:

1. Modus I, yaitu : modus tarikan, retak terjadi karena tegangan tarik yang tegak lurus dengan permukaan retakan. Hal ini lazim dijumpai pada pengujian ketangguhan patahan dan nilai intensitas tegangan kritis ( $K_{Ic}$ ).
2. Modus II, yaitu : modus tegangan geser. Tegangan geser yang terjadi sejajar dengan permukaan retak.

3. Modus III, yaitu : modus sobekan, tegangan yang bekerja sejajar tepi retak.

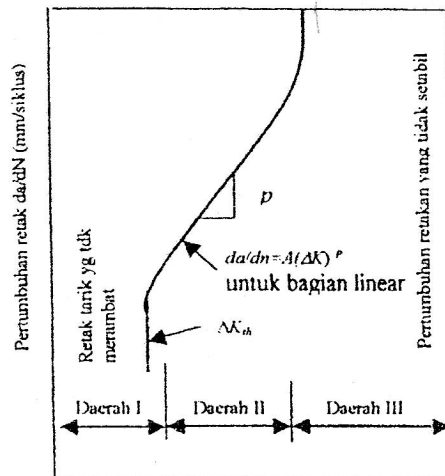
Ketiga modus tersebut ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Modus deformasi retak

Awal retakan biasanya terjadi diawali dari cacat pada material seperti cacat mikro dan cacat makro. Pada saat material diberi beban maka cacat pada material, tersebut menjadi sasaran utama pembebanan yang akan menyebabkan terjadinya tegangan terpusat (*stress concentration*).

Hubungan antara pertumbuhan retak lelah (*fatigue*) dan  $\Delta K$  diperlihatkan pada Gambar 2.2. Kurva ini berbentuk sigmoidal yang dapat dibagi dalam tiga daerah.



Daerah selang faktor intensitas tegangan  $\Delta K$  (skala log)

Gambar 2.2 Kurva pertumbuhan retak

Daerah I dibatasi oleh harga batas  $\Delta K_{kh}$ . Di bawah harga ini pertumbuhan retak lelah (*fatigue*) tidak berarti. Pada tegangan di bawah  $\Delta K_{kh}$  merupakan retak yang tidak merambat.  $\Delta K_{kh}$  terjadi pada laju perambatan retak sekitar  $2,5 \times 10^{-10}$  m/siklus ( $10^{-8}$  in/siklus) atau kurang dari itu.

Daerah II adalah daerah dengan hubungan linear  $\log da/dN$  dan  $\log \Delta K$  seperti terlihat pada persamaan **Hukum Paris** berikut:

$$\frac{da}{dn} = A (\Delta K)^p \dots\dots\dots(1)$$

$p$  adalah kemiringan kurva dan nilai  $A$  dapat diperoleh dengan menarik garis lurus ke  $\Delta K = 1 \text{ MPa}\sqrt{m}$  ( $\text{ksi}\sqrt{\text{in}}$ ) untuk baja  $p \sim 3$  dan antara 3 dan 4 untuk paduan aluminium.

Daerah III adalah daerah dengan pertumbuhan retak yang dipercepat. Disini  $K_{maks}$  mendekati  $K_c$  yaitu ketangguhan patah dalam bahan. Meningkatkan tegangan rata-rata dalam siklus lelah (*fatigue*) ( $R = \sigma_{min} = K_{min} / K_{maks}$ ) cenderung meningkatkan laju pertumbuhan retak pada semua bagian di kurva sigmoidal. Umumnya efek peningkatan R kurang berarti di daerah II dibandingkan dengan daerah I atau daerah III. Pengaruh R terhadap hubungan **Hukum Paris** adalah:

$$\frac{da}{dN} = \frac{A(\Delta K)^p}{(1-R)K_c - \Delta K} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$K_c$  = ketangguhan patah untuk bahan dan ketebalan tertentu

$$R = \sigma_{min} / \sigma_{maks} = K_{min} / K_{maks}$$

Pengujian (*fatigue*) biasanya dilakukan pada kondisi perbandingan tegangan ( $R=-1$ ) bolak-balik sempurna. Akan tetapi, data pertumbuhan retak biasanya ditentukan untuk kondisi perbandingan tegangan ( $R=0$ ). Siklus pembebanan kompresi tidak dilakukan karena pada pembebanan kompresi tidak dilakukan karena pada beban kompresi biasanya dianggap sedikit sekali pengaruhnya terhadap perambatan retakan, di bawah beban tekanan dengan amplitude yang variable siklus tekanannya mungkin berpengaruh juga.

Persamaan 1 merupakan hubungan yang penting antara mekanika perpatahan dan lelah (*fatigue*). Faktor intensitas tegangan elastis dapat diterapkan terhadap perambatan retak lelah (*fatigue*), juga untuk logam yang sangat ulet dan berkekuatan rendah karena nilai K yang diperlukan untuk pertumbuhan retak lelah sangat rendah dan besar daerah plastic di ujung retak cukup kecil untuk melakukan pendekatan *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM). Bila komponen diketahui K di bawah kondisi pembebanan yang sesuai, umur perambatan retak lelah (*fatigue*) dari komponen tersebut dapat dihitung dari integrasi persamaan 1 dengan batas-batas ukuran retak awal dan retak akhir.

$$\Delta K = \alpha \Delta \sigma \sqrt{\pi a} = \alpha \sigma_r \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{da}{dn} = A(\Delta K)^p = A(\alpha \sigma_r \sqrt{\pi a})^p$$

$$= A(\alpha)^p (\sigma_r)^p (\pi a)^{p/2}$$

$$a_e = \frac{1}{\pi} \left( \frac{K_c}{\sigma_{maks} \alpha} \right)^2$$

$$n_f = \int_0^{n_f} dn = \int \frac{da}{A(\alpha)^p (\sigma_r)^p (\pi a)^{p/2}}$$

$$= \frac{1}{A \alpha^p (\sigma_r)^p \pi^{p/2}} \int_{a_i}^{a_e} \frac{da}{a^{p/2}}$$

Jika  $p \neq 2$

$$\int_{a_i}^{a_e} \frac{da}{a^{p/2}} = \frac{a^{-(p/2)+1}}{-(p/2)+1} \Big|_{a_i}^{a_e}$$

$$= \frac{a_f^{-(p/2)+1} - a_i^{-(p/2)+1}}{-(p/2)+1}$$

dimana:

$\Delta K$  = Faktor intensitas tegangan

$p$  = Kemiringan Kurva

- $\frac{da}{dn}$  = Pertumbuhan Retak  
 $\sigma_r$  =  $\sigma_{maks} - \sigma_{min}$   
 $a_i$  = retak awal  
 $A$  = Konstanta  
 $a_f$  = retak akhir  
 $n_f$  = jumlah siklus  
 $a$  =  $f(a)$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan uji yang digunakan untuk pengujian ini adalah paduan aluminium yaitu: Al7075-T6. bahan tersebut dibuat dengan panjang 180mm, lebar 20mm dan tebal 10mm. Pada bagian tengah material uji dibuat takik sepanjang 10mm, bahan uji yang sudah selesai dibuat akan diuji dengan menggunakan mesin pembebanan pada tiga titik. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh nilai panjang retak (a) dan jumlah putaran (n). Dari data (a<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>) diolah dengan menggunakan metoda *Incremental Polynomial* untuk mendapatkan laju pertumbuhan retak (da/dN) yang selanjutnya dikorelasikan dengan faktor intensitas tegangan.

Pengamatan terhadap bentuk permukaan patahan dilakukan dengan dua cara yaitu secara visual dan mikroskop elektron. Metoda yang digunakan untuk menguraikan data (a<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>) adalah metode *Incremental Polynomial*. Polinomial orde dua dengan kuadrat terkecil untuk memperoleh *least polynomial*. Polinomial orde dua dengan kuadrat terkecil untuk memperoleh *least square fit* dari sekumpulan data (a<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>).

$$a_i = a_0 + a_1 \left( n_i - \frac{c_1}{c_2} \right) + \left( n_i - \frac{c_1}{c_2} \right)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

$$c_1 = ((n_i + k) + (n_i - k)) / 2$$

$$c_2 = ((n_i + k) - (n_i - k)) / 2$$

c<sub>1</sub> = konstanta pusat

c<sub>2</sub> = konstanta pembanding

k = 2

Laju pertumbuhan retak pada a<sub>i</sub> dan n<sub>i</sub> diberikan dengan turunan berikut ini,

$$\frac{da}{dN_1} = \frac{a_1}{c_2} + 2a_2 \frac{(n_i - c_1)}{c_2^2} \dots\dots\dots(5)$$

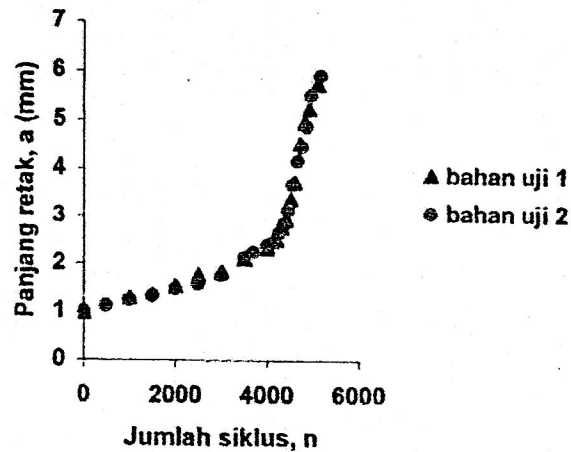
### 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian dengan menggunakan mesin *three point bending* diperoleh data panjang retak dan jumlah siklus seperti terlihat pada Grafik 4.1.

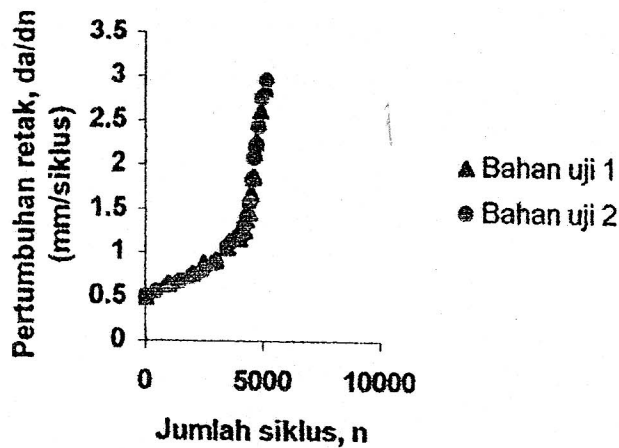
Dari data (a<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>) ini diolah dengan menggunakan persamaan (5) untuk mendapatkan laju pertumbuhan retak (da/dN). Grafik hubungan pertumbuhan retak dengan jumlah siklus dapat dilihat pada Gambar 4.2

Untuk mencari nilai faktor intensitas tegangan (*stress intensity factor*) modulus pertama digunakan rumus (6) sebagai berikut.

$$K_1 = \frac{3SP}{2tW^2} \sqrt{\pi \alpha F_1(\alpha)} \dots\dots\dots(6)$$



Gambar 4.1. Grafik antara Panjang Retak VS Jumlah Siklus



Gambar 4.2. Pertumbuhan retak VS Jumlah siklus dengan menggunakan persamaan 5

Dimana:

$P$  = gaya bolak-balik yang membebani bahan uji = 1308,64 N

$S$  = jarak titik tumpu =  $170 \cdot 10^{-3}$  m

$t$  = tebal bahan uji =  $10 \cdot 10^{-3}$  m

$W$  = lebar bahan uji =  $20 \cdot 10^{-3}$  m

=  $(10 \cdot 10^{-3} \text{ m} + b)$

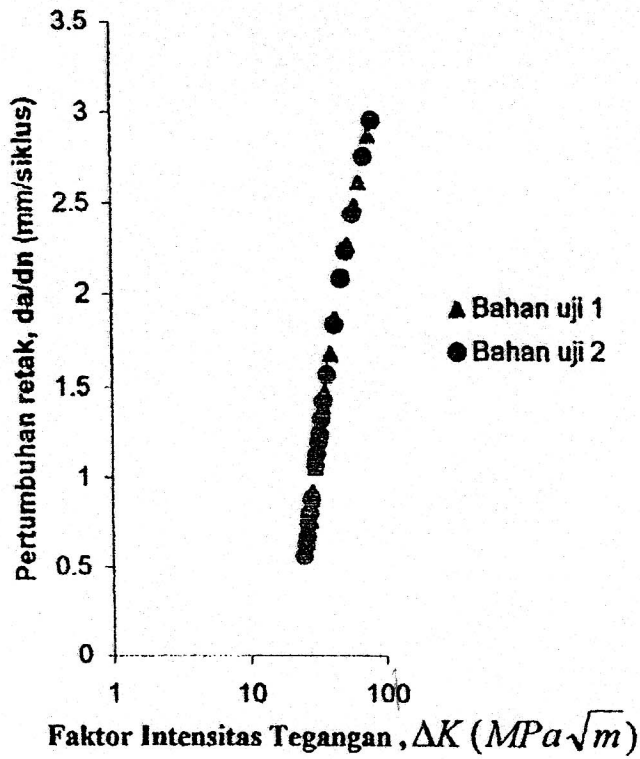
$F_1(\alpha)$  = merupakan fungsi

$\alpha$  =  $a / W$

Berikut grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan pertumbuhan retak  $da/dN$  dengan faktor intensitas tegangan ( $K_I$ )

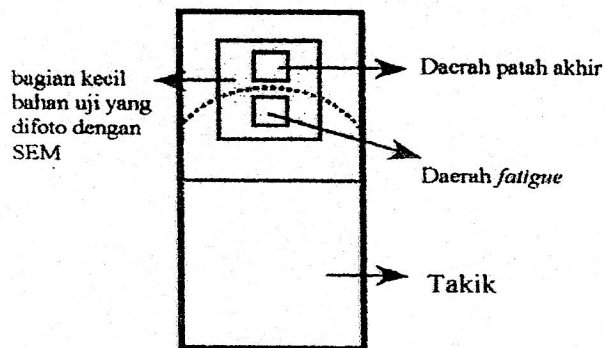
Pembahasan dari grafik pada Gambar 4.3 ini adalah bahwa hubungan pertumbuhan retak dengan dengan faktor intensitas tegangan membentuk garis yang linear.

Untuk melihat permukaan patahan dilakukan dengan dua cara yaitu secara visual dan foto *scanning microscope* (SEM). Seperti terlihat pada Gambar 4.4

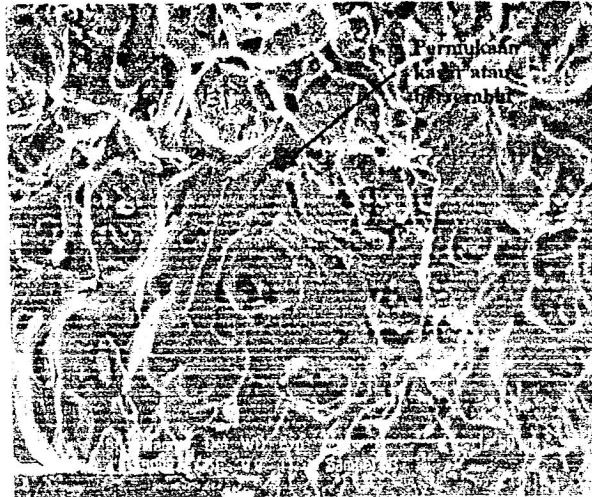


Gambar 4.3. Grafik pertumbuhan retak VS Faktor intensitas tegangan

Pengamatan secara visual pada permukaan patahan dapat terlihat ada tiga daerah yaitu daerah takik, daerah perambatan retak atau daerah *fatigue* dan daerah patah akhir yang disebut dengan statis.



Gambar 4.4 Posisi pengamatan dengan SEM



Gambar 4.5. Daerah patah statis (50.000x)

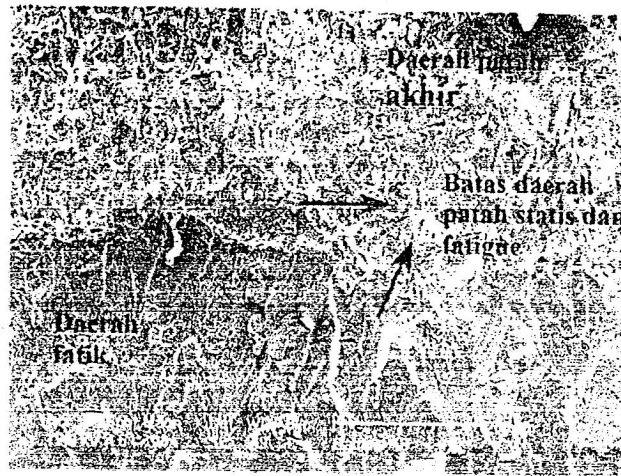


Gambar 4.6. Daerah *fatigue* (50.000x)

Daerah patah statis terlihat permukaan lebih kasar atau berserabut dibandingkan dengan perambatan retak.

Pada Gambar 3.1 dijelaskan bagian-bagian material uji yang difoto dengan mikroskop elektron antara lain: daerah patah akhir, daerah *fatigue* atau daerah perambatan retak dan daerah batas patah akhir dengan daerah *fatigue*. Dari gambar 3.1b dapat dilihat garis-garis permukaan yang berbentuk elips yang disebut dengan striasi (*striation*). Dari bentuk striasi ini dapat disimpulkan bahwa retakan berawal lebih dari satu titik yang menyebar pada daerah takik. Pada 3.1a daerah patah akhir terlihat permukaannya lebih kasar. Patah akhir terjadi apabila nilai *stress intensity factor* ( $K_I$ ) mendekati *fracture toughness value* ( $K_{IC}$ ) atau  $K_{IC}$ . Artinya pertumbuhan retak pada daerah ini tidak dapat di control lagi.





Gambar 4.7. Daerah batas antara daerah patah statis dan daerah fatigue (50.000x)

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada daerah II dari pertumbuhan retak, kurva hubungan antara  $da/dN$  dengan  $\Delta K$  menunjukkan hubungan yang linear
2. Permukaan retak menunjukkan bentuk elips selama pertumbuhan retak
3. Nilai panjang retak kritis :
  - Specimen 1,  $a_c = 2,9385$  mm dan *fracture toughness value*,  $K_{Ic} = 3,918 \text{MPa} \sqrt{m}$
  - Specimen 2  $a_c = 3,1323$  mm.  
 $K_{Ic} = 37,524 \text{MPa} \sqrt{m}$
4. Hasil foto SEM terlihat adanya striasi pada daerah *fatigue* dan pada daerah patah akhir adanya deformasi yang besar.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. David roek, 1982 "*Elementary Engineering Fracture Mechanics*" Martinus Nijhooff Publishers, London
2. George Dieter, Srian Djaprie, Jakarta, 1992 "*Metalurgi Mekanik*", Erlangga, Edisi ketiga . Jilid kedua .
3. Hand Book, 1987 "*Stress ntensity Factors*" Volume 1, Committee On Fracture Mechanics The Society of Material, Science
4. Julie A. Bannantine, Ph.D, Jess J. Corner , Ph.D, James L. Handrock, Ph.D, 1990
5. "*Fundamental of Metal Fatigue Analysis*". University of Illinois, Prentice Hall