

Faktor Intensitas Tegangan Pada Part Through Crack Untuk Kasus Surface Crack Dengan Metode Elemen Hingga

Wajan Berata

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin - ITS

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi faktor intensitas tegangan pada kasus part through crack untuk konfigurasi retak permukaan (*semi elliptic surface crack*) dengan menggunakan software ANSYS. Pemodelan spesimen dilakukan dengan menggunakan elemen isoparametrik 8 node tiga dimensi. Untuk memodelkan ujung retak dipilih elemen quarter point isoparametrik 20 node tiga dimensi. Dari analisa dengan menggunakan software ANSYS, ternyata untuk kasus retak permukaan didapatkan hasil yang cukup dekat dengan hasil dari eksperimen yang dilakukan oleh Siyi Chen dan Zhenyuan Cui, dengan penyimpangan terbesar sebesar 11.68 % untuk arah retak a (*sudut 90°*) pada saat $a = 16.7$ mm. dan $c = 20.4$ mm. Sehingga penggunaan metode elemen hingga dengan software ANSYS release 5.4 cukup valid dalam mensimulasikan hasil dari pengujian retak permukaan.

Kata kunci: Part through crack, Semi-elliptic surface crack, Faktor Intensitas Tegangan, Metode Elemen Hingga.

Abstract

This research is done to evaluate the stress intensity factor in the case of semi elliptic surface part through crack on simulation by ANSYS software. Part through crack modelling use isoparametric element 8 node in three dimensions. Mode of crack tip element is chosen a quarter point isoparametric 20 node three dimensions. The ANSYS analysis gives the result of the stress intensity factor close enough with the experimental result which be done by Ziyi Chen and Zheyuan Chui, with largest error of 11.68% for the crack direction a (angle of 90°) when the configuration of crack tip is $a=16.7$ mm and $c=20.4$ mm. The finite element method using ANSYS software is quite valid in simulating the semi elliptic part trough crack.

Keywords: Part through crack, semi elliptic surface crack, Stress Intensity Factor, Finite Element Method.

1. Latar Belakang

Kegagalan suatu komponen struktur sering dimulai dari pertumbuhan retak pada saat kondisi *part through crack* (retak sebelum tembus kearah ketebalan). Sebagian besar persentase umur kelelahan lebih banyak berada pada *part through crack*. Terutama pada komponen yang tipis, misalnya pada struktur pesawat terbang. Dalam kasus *part through crack*, faktor intensitas tegangan sepanjang ujung retak (*crack front*) selalu berubah. Hal ini disebabkan bentuk kurva dari *part through crack*, sehingga dibutuhkan analisa tegangan tiga dimensi untuk mendapatkan faktor intensitas tegangan K .

Putra, I.S. dan Purbolaksono, J dan Pramono, A (1998)^[7], menggunakan software BEASY yang berbasis metode elemen batas (*Boundary element method*), untuk menghitung faktor intensitas tegangan pada kasus *part through crack*. Hasil yang didapat memberikan harga faktor intensitas tegangan dengan perbedaan kurang dari 10% bila dibandingkan dengan hasil dari Newman-Raju Solution.

Dari latar belakang tersebut penulis mencoba menggunakan software ANSYS release 5.4 yang berbasis pada metode elemen hingga, untuk mengevaluasi faktor intensitas tegangan pada *part through crack* untuk konfigurasi retak permukaan (*semi elliptic surface crack*). Pemodelan spesimen menggunakan elemen singular pada sekitar ujung retak. Hasil yang didapat akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui (1988)^[8].

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 6 Nomor 1 April 2004.

Dalam pelaksanaan penelitian ini beberapa kondisi batasan telah diambil yaitu:

- Pemodelan spesimen untuk kasus retak permukaan dilakukan dengan model seperempat bagian dikarenakan adanya kesimetrisan model pada dua arah sumbu simetri.
- Jenis elemen yang digunakan adalah elemen isoparametrik 8 node tiga dimensi (isoparametrik 8 node solid) untuk memodelkan elemen bukan diujung retak, sedangkan untuk elemen di ujung retak dipilih elemen isoparametrik quarter-point 20 node tiga dimensi (20 node solid).
- Material diasumsikan homogen, isotropik dan kontinyu.
- Tidak memperhitungkan adanya pengaruh lingkungan
- Perhitungan faktor intensitas tegangan, dalam kondisi linear elastic fracture mechanic (LEFM).

2. Tinjauan Teori

Evaluasi Faktor Intensitas Tegangan

Untuk mengevaluasi faktor intensitas tegangan dapat dilakukan pendekatan dengan menghubungkan solusi analitik tegangan dan perpindahan pada ujung retak. Hal ini memerlukan prosedur ekstrapolasi untuk mendapatkan faktor intensitas tegangan pada ujung retak.

Variasi perpindahan secara analitis sekitar ujung retak adalah:

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{K_I}{4m} \sqrt{\frac{r}{2p}} \left[(2K-1) \cos \frac{q}{2} - \cos \frac{3q}{2} \right] \\
 &\quad - \frac{K_{II}}{4m} \sqrt{\frac{r}{2p}} \left[(2K+3) \sin \frac{q}{2} + \sin \frac{3q}{2} \right] \\
 v &= \frac{K_I}{4m} \sqrt{\frac{r}{2p}} \left[(2K+1) \sin \frac{q}{2} - \sin \frac{3q}{2} \right] \\
 &\quad - \frac{K_{II}}{4m} \sqrt{\frac{r}{2p}} \left[(2K-3) \cos \frac{q}{2} + \cos \frac{3q}{2} \right] \\
 w &= \frac{K_{III}}{4\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\theta}{2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

dimana

- K_I = faktor intensitas tegangan mode I
- K_{II} = faktor intensitas tegangan mode II
- K_{III} = faktor intensitas tegangan mode III
- μ = modulus geser

$$\begin{aligned}
 K &= (3 - \nu) / (1 + \nu) \text{ untuk kondisi plane stress} \\
 &= (3 - 4\nu) \text{ untuk kondisi plane strain}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan 1 terlihat bahwa faktor intensitas tegangan dapat dihitung dari salah satu dari komponen perpindahan arah u maupun v. untuk harga $\theta = 0^\circ$ atau $\theta = 180^\circ$, maka salah satu denominator pada persamaan 1 diatas akan berharga nol sehingga K dievaluasi dengan komponen perpindahan yang tidak menghasilkan harga nol.

Prosedur ekstrapolasi perpindahan dilakukan dengan melihat hubungan dari persamaan (1) sehingga dapat diperoleh:

$$\begin{aligned}
 K_I \begin{Bmatrix} (2K-1) \cos \frac{q}{2} - \cos \frac{3q}{2} \\ (2K+1) \sin \frac{q}{2} - \sin \frac{3q}{2} \end{Bmatrix} &= 4m \sqrt{\frac{2p}{r}} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \\
 K_{II} \begin{Bmatrix} -(2K+3) \sin \frac{q}{2} - \sin \frac{3q}{2} \\ (2K-3) \cos \frac{q}{2} + \cos \frac{3q}{2} \end{Bmatrix} &= 4m \sqrt{\frac{2p}{r}} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2}$$

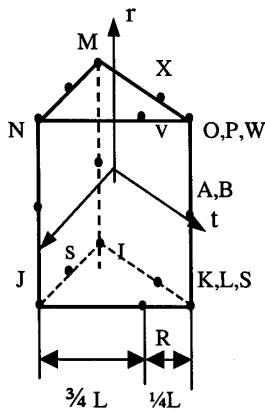
Dengan substitusi harga u, v, dan r, pada titik node sepanjang garis radial pada sekitar ujung retak, dapat diperoleh hubungan antara K dengan jarak radial r. kemudian dengan menghilangkan hasil yaitu titik dimana harga K-nya sudah tidak dalam garis linier (pada titik yang sangat dekat dengan ujung retak) sehingga solusi dapat diekstrapolasi pada $r = 0$ dengan memakai regresi linear. Teknik ini dapat dipakai bila digunakan elemen konvensional maupun elemen singular.

Pemodelan Singularitas Ujung Retak

Beberapa penelitian dengan menggunakan metode elemen hingga dengan memakai elemen konvensional, menunjukkan bahwa diperlukan pembagian meshing yang sangat halus pada sekitar ujung retak (Chan, 1970)^[3] agar secara akurat dapat merepresentasikan singularitas ujung retak. Pengembangan elemen orde tinggi, seperti keluarga isoparametrik ternyata memberikan kesamaan akurasi yang dapat diterima pada pembagian meshing yang agak kasar. Bagaimanapun juga efektifitas solusi numerik pada kasus retak lebih menguntungkan dengan mengembangkan elemen khusus *crack tip* (ujung retak) yang dapat secara langsung memodelkan singularitas medan regangan elastis $1/\sqrt{r}$ sekitar ujung retak. Banyak versi telah dikembangkan, tetapi pada pembahasan penelitian ini dibatasi perhatiannya pada

elemen ujung retak yang berbasis elemen isoparametrik.

Singularitas ujung retak dapat dimodelkan dengan elemen isoparametrik 20 node tiga dimensi, dengan cara memanipulasi node posisi tengah pada elemen crack front yang disebut sebagai elemen quarter-point (Carpinteri, A. 1992)^[4]. Dengan memindahkan node r serta v dan x ke posisi seperempat seperti pada gambar 1 maka singularitas regangan dapat ditampilkan pada garis KLPO.



Gambar 1. Elemen singular 20 node tiga dimensi quarter-point.

Shape function pada node K, R dan J untuk elemen isoparametrik 20 node tiga dimensi adalah sebagai berikut:

$$N_k = \frac{1}{8}(1+s)(1+t)(1-r)(s+t-r-2)$$

$$N_r = \frac{1}{4}(1+s)(1-t^2)(1-r)$$

$$N_j = \frac{1}{8}(1+s)(1-t)(1-r)(s-t-r-2)$$

sepanjang sisi krj memiliki $r = -1$ dan $s = 1$, sehingga :

$$N_k = \frac{1}{2}(t+t^2)$$

$$N_r = (1-t^2)$$

$$N_k = \frac{1}{2}(t-t^2)$$

dari representasi y koordinat pada elemen yaitu:

$$y = \sum_i N_i y_i$$

$$y = \frac{1}{2}(t)(1+t)y_k + (1-t^2)y_r + \frac{1}{2}(-t)(1-t)y_j \quad (3)$$

dengan menempatkan koordinat pada node k dan memberikan panjang sisi krj sebesar L , maka $y_k = 0$, $y_r = L/4$ dan $y_j = L$ maka:

$$y = (1-t^2)\frac{L}{4} + \frac{1}{2}(-t)(1-t)L \quad (4)$$

atau ditampilkan dalam t yaitu:

$$t = 1 + 2\sqrt{\frac{y}{L}} \quad (5)$$

dari salah satu komponen Jacobian yaitu $\partial y/\partial t$ pada persamaan (3) dan memasukkan harga t pada persamaan (5) akan diperoleh :

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{L}{2}(t-1) = \sqrt{Ly} \quad (6)$$

sehingga matrik Jacobian akan singular pada node k dimana $y = 0$.

Perpindahan v pada sisi krj yaitu:

$$v = \sum_i N_i v_i = \frac{1}{2}(t)(1+t)v_k + (1-t^2)v_r + \frac{1}{2}(-t)(1-t)v_j \quad (7)$$

substitusi t pada persamaan (7) didapatkan:

$$v = \sum_i N_i v_i = \frac{1}{2} \left(1 + 2\sqrt{\frac{y}{L}} \right) \left(2 + 2\sqrt{\frac{y}{L}} \right) v_k + \left(\frac{y}{L} + 2\sqrt{\frac{y}{L}} + 2 \right) v_r + \frac{1}{2} \left(-1 - 2\sqrt{\frac{y}{L}} \right) \left(2\sqrt{\frac{y}{L}} \right) v_j \quad (8)$$

Regangan pada arah y adalah:

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial s}$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{3}{\sqrt{yL}} + \frac{4}{L} \right) v_k + \left(-\frac{2}{\sqrt{yL}} - \frac{4}{L} \right) v_r + \left(\frac{1}{\sqrt{yL}} + \frac{4}{L} \right) v_j \quad (9)$$

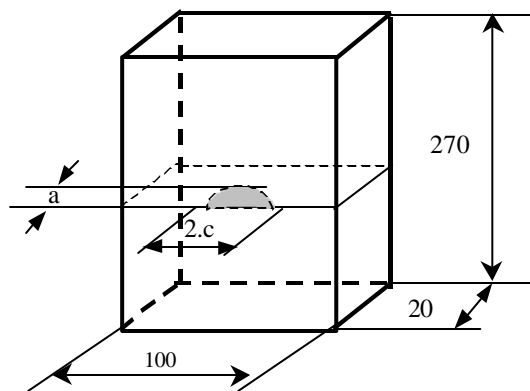
Tampak bahwa komponen ϵ_y menunjukkan singularitas $1/\sqrt{r}$ Dengan mengganti y dengan jarak radial dari ujung retak r maka perpindahan arah v sepanjang sisi krj akan menjadi:

$$v = v_k + 2v_r + (3v_k + 2v_r - v_j)\sqrt{\frac{r}{L}} + (2v_k - 2v_j)\frac{r}{L} \quad (10)$$

Hal yang sama juga dapat dilakukan pada sisi-sisi yang mempunyai singularitas.

Geometri dimensi spesimen

Dalam penelitian ini diteliti kasus part through crack yaitu retak permukaan Gambar spesimen retak permukaan dapat dilihat pada gambar 2 berikut:

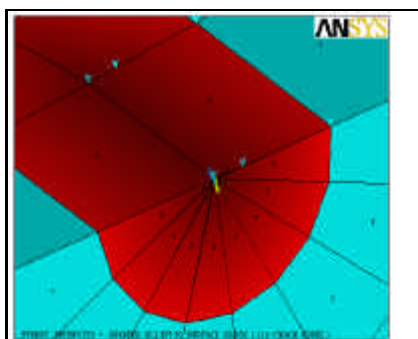


Gambar 2. Spesimen retak permukaan (*semielliptic surface crack*)(dimensi dalam mm.)

Pemodelan

Untuk memodelkan elemen ujung retak dipakai elemen quarter point isoparametrik 20 node tiga dimensi. Pilihan ini didasarkan pada kemampuan elemen quarter point isoparametrik 20 node tiga dimensi untuk memodelkan singularitas pada ujung retak.

Pemodelan untuk spesimen retak permukaan dilakukan dengan model seperempat bagian struktur dikarenakan adanya kesimetrisan model, baik geometri maupun pembebanan. Model dibuat dengan cara membuat node-node pada setiap elemen pada struktur spesimen tersebut. Kemudian berdasarkan node-node yang dibuat dilakukan pembuatan elemen (*meshing*) sehingga setelah semua elemen dibuat akan didapat suatu struktur spesimen retak permukaan (*semi elliptic surface crack*). Untuk *meshing* elemen disekitar ujung retak (*crack vicinity*) terdiri dari 10 ring elemen terfokus dan setiap ring terdiri dari 100 elemen, 10 sepanjang crack front dan 10 sepanjang *circumference* dari ring. Untuk membuat elemen singular pada sisi elemen ujung ring pertama dilipat dan dilakukan perubahan jenis elemen dengan cara merubah kedudukan *midside node* menjadi $\frac{1}{4}$ bagian dari ujung retak. Model elemen singular ditampilkan dalam gambar 3 sebagai berikut:

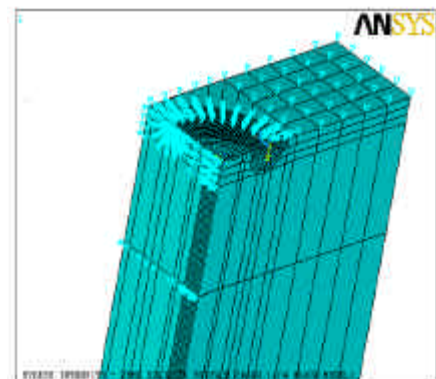


Gambar 3. Model ANSYS dari elemen singular

Retak dimodelkan dengan cara tidak memberikan kondisi batas pada node yang berada pada ujung retak, sedangkan node yang terletak pada luasan yang tidak terjadi keretakan dikekang arah v. Pemodelan selanjutnya dilakukan setelah retak merambat dan dilakukan *meshing* yang baru dengan cara sebagai berikut:

1. Menghapuskan elemen singular di sekitar ujung retak
2. Memindahkan ujung retak sesuai dengan posisi ujung retak baru.
3. Memasukkan elemen singular yang menampilkan ujung retak yang baru.

Model ANSYS untuk retak permukaan *semielliptic surface crack* seperti gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Model ANSYS dari retak permukaan (*semi elliptic surface crack*) 1/4 crack model

Untuk langkah selanjutnya geometri spesimen dibuat dengan memakai informasi deformasi yang terjadi. Data geometri spesimen yang baru diperoleh dengan cara menambahkan deformasi yang terjadi dengan data geometri sebelumnya dan dibuat pola *meshing* selanjutnya dengan menyertakan panjang retak baru. Panjang retak yang dipakai sebagai acuan dalam analisis yaitu diambil dari data eksperimen.

Input Data.

Masukan data yang dibutuhkan adalah :

1. Material propertis dari spesimen plat aluminium paduan LY12R, dengan:
 - Modulus elastisitas (E) = 70.000 MPa
 - Tegangan Yield (σ_y) = 170 MPa
 - Tegangan Ultimat (σ_u) = 282 MPa
2. Pembebanan

Pembebanan yang dipakai adalah beban tarik (*Mode I*) dengan nilai beban yang berbeda-beda untuk tiap panjang retak tertentu disesuaikan dengan eksperimen.

3. Kondisi batas.

Karena pemodelan spesimen untuk surface crack menggunakan $\frac{1}{4}$ bagian spesimen maka kondisi batas yang diperlukan adalah:

- pada bidang simetri sumbu x diberikan konstrain displacement $x = 0$
- pada bidang simetri sumbu y diberikan *constrain displacement* $y = 0$, kecuali dari ujung retak dan retak yang telah terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.

4. Data retak

Data retak yang digunakan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui (1988)^[8].

Evaluasi Faktor Intensitas Tegangan

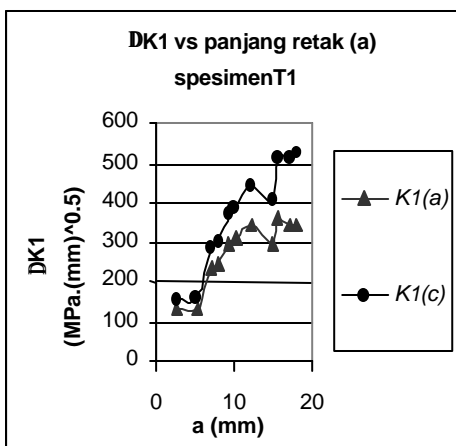
Evaluasi faktor intensitas tegangan yang dilakukan dengan menggunakan software ANSYS Release 5.4 dengan metode ekstrapolasi perpindahan.

Komparasi hasil analisa dengan eksperimen yang telah ada

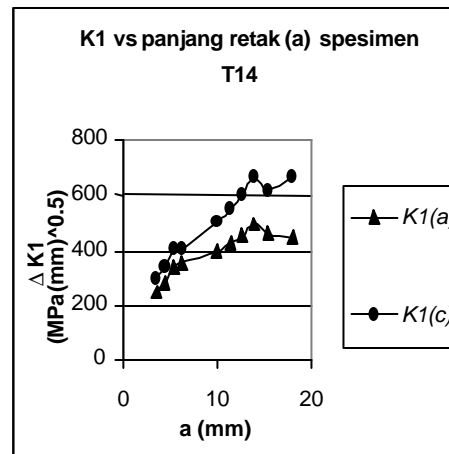
Komparasi hasil antara hasil evaluasi faktor intensitas tegangan dengan ANSYS dan eksperimen dilakukan dengan menampilkan grafik (ΔK_I) dan panjang retak (a). Data-data eksperimen diambil dari artikel yang ditulis oleh Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui (1988)^[8].

3. Hasil Dan Analisa

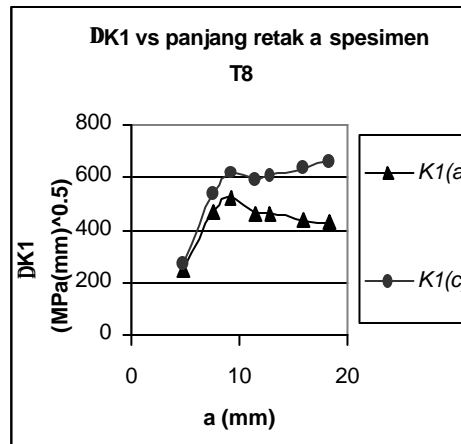
Hasil simulasi dari program ANSYS ini ditampilkan dalam bentuk grafik $\Delta K(a)$, $\Delta K(c)$ terhadap panjang retak arah (a) seperti ditampilkan dalam gambar 5 sampai 8 berikut.



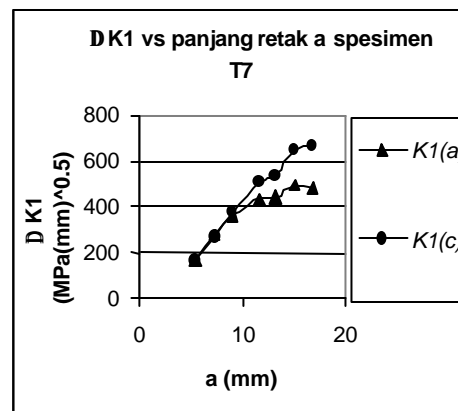
Gambar 5. Grafik K1(a), dan K1(c) fungsi panjang retak arah (a) hasil simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T1



Gambar 6. Grafik K1(a), dan K1(c) fungsi panjang retak arah (a) hasil simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T14



Gambar 7. Grafik K1(a), dan K1(c) fungsi panjang retak arah (a) hasil simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T8

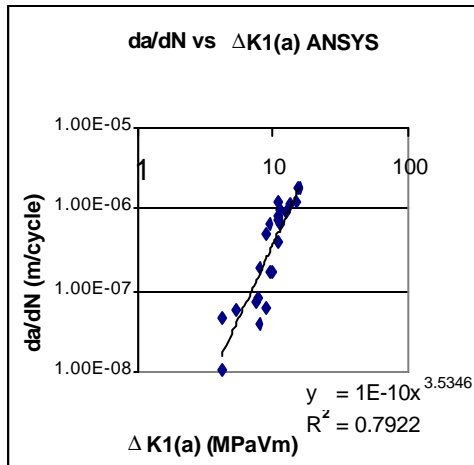


Gambar 8. Grafik K1(a), dan K1(c) fungsi panjang retak arah (a) hasil simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T7

Laju Perambatan Retak

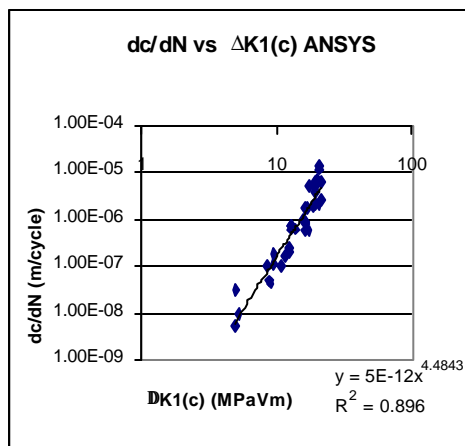
Untuk laju perambatan retak (da/dN Vs ΔK) berdasarkan ΔK hasil dari ANSYS, hasil yang didapat sebagai berikut.

Untuk arah a (sudut 90°).



Gambar 9. da/dN Vs $\Delta K(a)$ hasil simulasi ANSYS

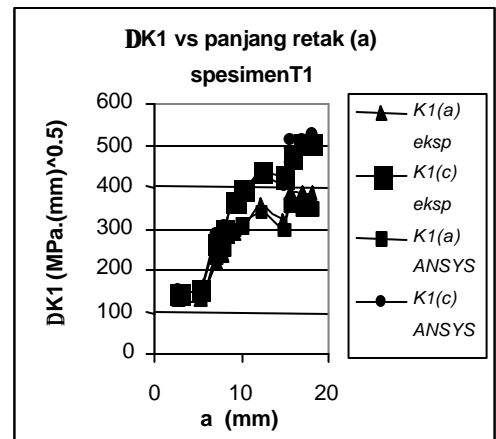
Untuk arah c (sudut 0°)



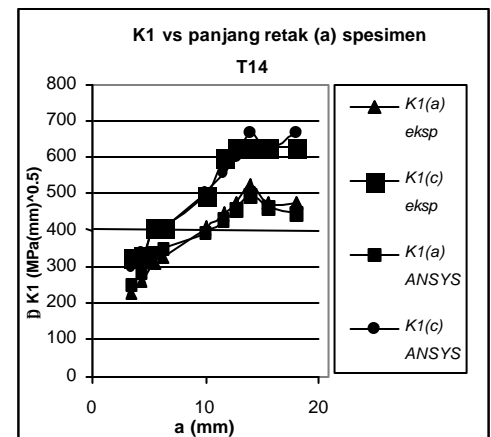
Gambar 10. Grafik dc/dN Vs $\Delta K(c)$ hasil simulasi ANSYS

Perbandingan Hasil Simulasi ANSYS Dengan Eksperimen Faktor Intensitas Tegangan

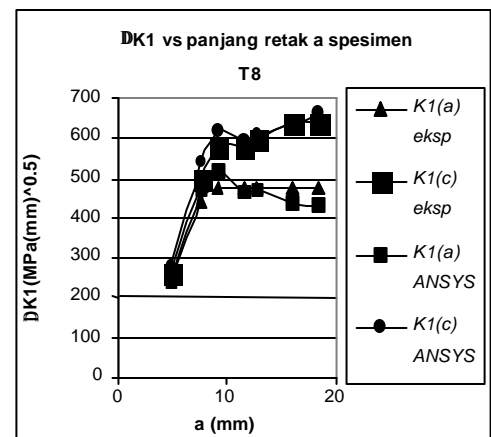
Untuk melihat validitas dari hasil simulasi ANSYS, perlu dilakukan perbandingan dengan eksperimen yang ada. Sebagai perbandingan diambil hasil eksperimen dari hasil penelitian dari Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui (1988)^[8]. Perbandingan hasil dari program ANSYS dan hasil eksperimen ini, ditampilkan dalam bentuk grafik $\Delta K(a)$, $\Delta K(c)$ terhadap panjang retak arah (a) seperti ditampilkan dalam gambar 11 sampai dengan 14 berikut ini.



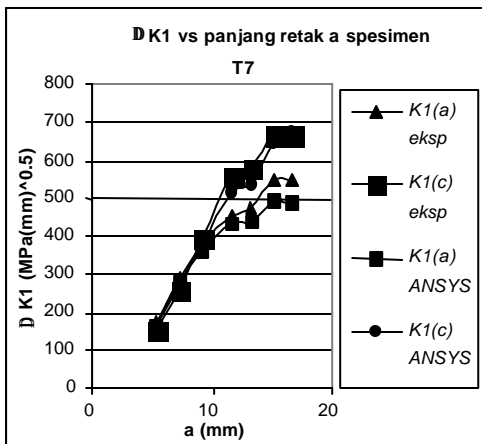
Gambar 11. Perbandingan Grafik $K1(a)$, $K1(c)$ Vs panjang retak arah (a) Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T1



Gambar 12. Perbandingan Grafik $K1(a)$, $K1(c)$ Vs panjang retak arah (a) Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T14



Gambar 13. Perbandingan Grafik $K1(a)$, $K1(c)$ Vs panjang retak arah (a) Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T8



Gambar 14. Perbandingan Grafik K1(a), K1(c) Vs panjang retak arah (a) Hasil Eksperimen dan Hasil Simulasi ANSYS, berdasarkan referensi [8] spesimen T7

Hasil yang didapat dengan program ANSYS secara umum mendekati hasil eksperimen yang dilakukan oleh Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui^[8], dengan penyimpangan terbesar sebesar 11.68 % berada pada spesimen T7 untuk arah retak a (sudut 90°) pada saat $a = 16.7$ mm dan $c = 20.4$ mm. Hal ini disebabkan karena pengaruh asumsi model dalam kondisi LEFM, jadi mengabaikan plastisitas disekitar ujung retak. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Choiron, M.A dan Berata, Wajan dan Pramono, A.S. (2001)^[5] yang meneliti faktor intensitas tegangan pada spesimen CT pada kondisi LEFM mendapatkan error terbesar sebesar 10.78%, sedangkan P Hidayat, Irfan dan Berata, Wajan (2001)^[6] yang meneliti faktor intensitas tegangan pada spesimen CT pada kondisi elastis plastis, mendapatkan error terbesar sebesar 8.23%. Ada kecenderungan bahwa semakin mendekati retak tembus (through crack), maka penyimpangan yang terjadi juga semakin besar (untuk retak arah a). Hasil ini sesuai dengan penelitian dari Choiron, M.A dan Berata, Wajan dan Pramono, A.S. (2001)^[5] yang memperlihatkan adanya kecenderungan penyimpangan yang semakin besar ketika retak sudah mendekati patah final.

Hal ini mungkin terjadi karena:

1. Dalam pemodelan ANSYS diasumsikan beban yang diberikan adalah dalam bentuk tegangan tarik, sedangkan dalam eksperimen tidak disebutkan secara jelas pemberian bebannya.
2. Asumsi yang dipakai dalam pemodelan yaitu material homogen, isotropic dan kontinue, sedangkan pada kenyataannya material spesimen yang dipakai tidak mungkin mempunyai sifat ideal.

3. Asumsi yang dipakai dalam pemodelan ini masih dalam kondisi LEFM sehingga kemunculan daerah plastis diabaikan. Jadi faktor-faktor yang mempengaruhi percepatan dan perlambatan retak terabaikan juga.
4. Terjadinya kesalahan dalam membaca grafik a vs N, c vs N maupun pengeplotan da/dN kedalam grafik $da/dN \Delta K(a)$, $dc/dN \Delta K(c)$. Hal ini tak dapat dihindari karena penulis mendapatkan data dalam bentuk grafik.

Evaluasi Konstante Paris

Hasil dari grafik laju perambatan retak da/dN vs $\Delta K(a)$ eksperimen mendapatkan harga m (slope dari kurva da/dN fungsi ΔK yang disebut konstante Paris) sebesar 3.4076, dapat dilihat pada gambar 9, sedangkan hasil simulasi ANSYS mendapatkan harga m sebesar 3.5346. Untuk grafik laju perambatan retak dc/dN vs $\Delta K(c)$ eksperimen mendapatkan harga m sebesar 4.3668 (gambar 10), sedangkan hasil simulasi ANSYS mendapatkan hasil 4.4843. Terdapat penyimpangan antara hasil eksperimen dan hasil ANSYS baik untuk $da/dN-\Delta K(a)$ maupun $dc/dN-\Delta K(c)$ dimana hasil simulasi ANSYS lebih besar dari hasil eksperimen. Artinya bahwa laju perambatan retak dengan memakai faktor intensitas tegangan dari ANSYS lebih besar dibanding dengan memakai faktor intensitas tegangan dari eksperimen. Hal ini terjadi karena dalam asumsi pemodelan masih memakai LEFM (linear elastic fracture mechanic) yang mengabaikan munculnya daerah plastis disekitar ujung retak, sedangkan kemunculan daerah plastis ini akan menyebabkan adanya perlambatan perambatan retak. Disamping itu dalam pemodelan ANSYS tidak menyertakan pengaruh lingkungan, padahal lingkungan berpengaruh terhadap laju perambatan retak seperti hasil dari penelitian Berata, W (1998)^[2], yang mendapatkan hasil bahwa harga m dari konstanta paris pada kondisi hampa udara lebih besar dibanding dengan kondisi udara laboratorium.

4. Kesimpulan

Perbandingan hasil analisa metode elemen higgs dengan software ANSYS rel. 5.4 pada kasus retak permukaan (*semi elliptic surface crack*) hasilnya cukup dekat dengan hasil dari eksperimen yang dilakukan oleh Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui, dengan penyimpangan terbesar sebesar 11.68 % berada pada spesimen T7 untuk arah retak (a) pada saat $a = 16.7$ dan $c =$

20.4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa prosedur yang dipakai dalam analisa dengan ANSYS rel. 5.4 cukup valid untuk dipakai sebagai suatu metode mengevaluasi faktor intensitas tegangan.

5. Penghargaan

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan pada Nurul Muhayat yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. ANSYS Structural Analysis Guide, 001087, 4th edition, SAS IP.
2. Berata, Wajan, Pengaruh Struktur Mikro dan Lingkungan Pada Karakteristik Rambat Retak Ti-6Al-4V oleh Pembebanan Dinamis, *Majalah Iptek*, 1998, Vol 9, No.3, pp 163-175.
3. Chan, S.K., Tuba, I.S. and Wilson, W.K., On Finite Element Method In Linear Elastic Fracture Mechanics, *Engineering Fracture Mechanics*, 1970, vol.3, pp 1-17.
4. Carpinteri A., *Shape Change of Surface Crack in Round Bars Under Cyclic Axial Loading*, *Int. J Fatigue* 15, 1993, no 1 pp 21-26.
5. Choiron, M.A. dan Berata, Wajan, *Evaluasi Intensitas Tegangan pada Spesimen Compact Tension dengan Metode Elemen Hingga*, Laporan Penelitian, Jurusan teknik Mesin ITS, Surabaya. (.2001).
6. P Hidayat, M Irfan. dan Berata, Wajan, *Analisa J Integral Pada Spesimen Compact Tension Ti-6Al-4V*, Laporan Penelitian, Jurusan teknik Mesin ITS, Surabaya. 2001.
7. Putra, I.S dan Purbolakson, J dan Pramono, A., *Stress Intensity Faktor of Part-Through Crack Using Beasy*, *Prosiding Seminar Fatigue & Fracture Mechanics*, 1998, pp 1-8
8. Ziyi Chen dan Zhenyuan Cui, *Surface Crack Growth Behaviour Under Tensile Cyclic Loading*, *Int. J Fatigue* 10, 1988, no 1 pp 43-47