

ANALISA FAKTOR INTENSITAS TEGANGAN  
AKIBAT PENGARUH VARIASI RASIO KEDALAMAN *CHAMFERING* PADA  
*COUNTERSUNK RIVET HOLE* DENGAN SIMULASI KOMPUTER

**SKRIPSI**  
**Konsentrasi Teknik Konstruksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**GUGUH PRIHANDOKO**

**NIM. 0110620063-62**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN MESIN  
MALANG  
2006

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisa Faktor Intensitas Tegangan Akibat Pengaruh Variasi Rasio Kedalaman Chamfering pada Countersunk Rivet Hole dengan Simulasi Komputer”** untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

- Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Achmad As'ad Sonief, MT, selaku Ketua Kelompok Teknik Konstruksi.
- Bapak Ir. Bardji Hadi Pranoto, selaku Dosen Pembimbing I.
- Bapak Moch. Agus Choiron, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
- Semua Dosen Penguji Skripsi yang telah bersedia meluangkan waktu dan memberikan masukan ilmu kepada penulis.
- Semua pihak yang telah memberikan semangat dan dorongan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun bagi kesempurnaannya.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua. Amin.

Malang, 22 juni 2006

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Fatigue</i> ( Kelelahan )	4
2.2 <i>Linear Elastic Fracture Mechanic</i> ( LEFM )	4
2.3 Mode Pembukaan Retak	6
2.4 Pendekatan Faktor Intensitas Tegangan	6
2.5 Sambungan Keling	8
2.6 Gaya Pengencangan Paku Keling	8
2.7 Distribusi Tegangan Pada Dinding Silinder Tipis	9
2.8 Elemen <i>Quadratic Hexahedral Isoparametrik</i>	9
2.9 Teknik Metode Elemen Hingga Untuk <i>Fracture Mechanic</i>	10
2.10 <i>Elliptical Corner Crack</i> pada <i>Straight Shank Hole</i>	10
2.10.1 <i>Two Symetric Corner Crack</i>	10
2.11 Hipotesa	12



III.	METODE PENELITIAN	13
3.1	Diagram Alir Penelitian	13
3.2	Variabel Penelitian	15
3.3	Permodelan	18
3.3.1	Permodelan Verifikasi	18
3.3.2	Permodelan <i>Countersunk Rivet Hole</i>	20
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Hasil Perhitungan dan Pembahasan	23
4.1.1	Tinjauan Verifikasi	23
4.1.2	Tinjauan <i>Countersunk Rivet Hole</i>	26
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran	42
	DAFTAR PUSTAKA	43
	LAMPIRAN	44

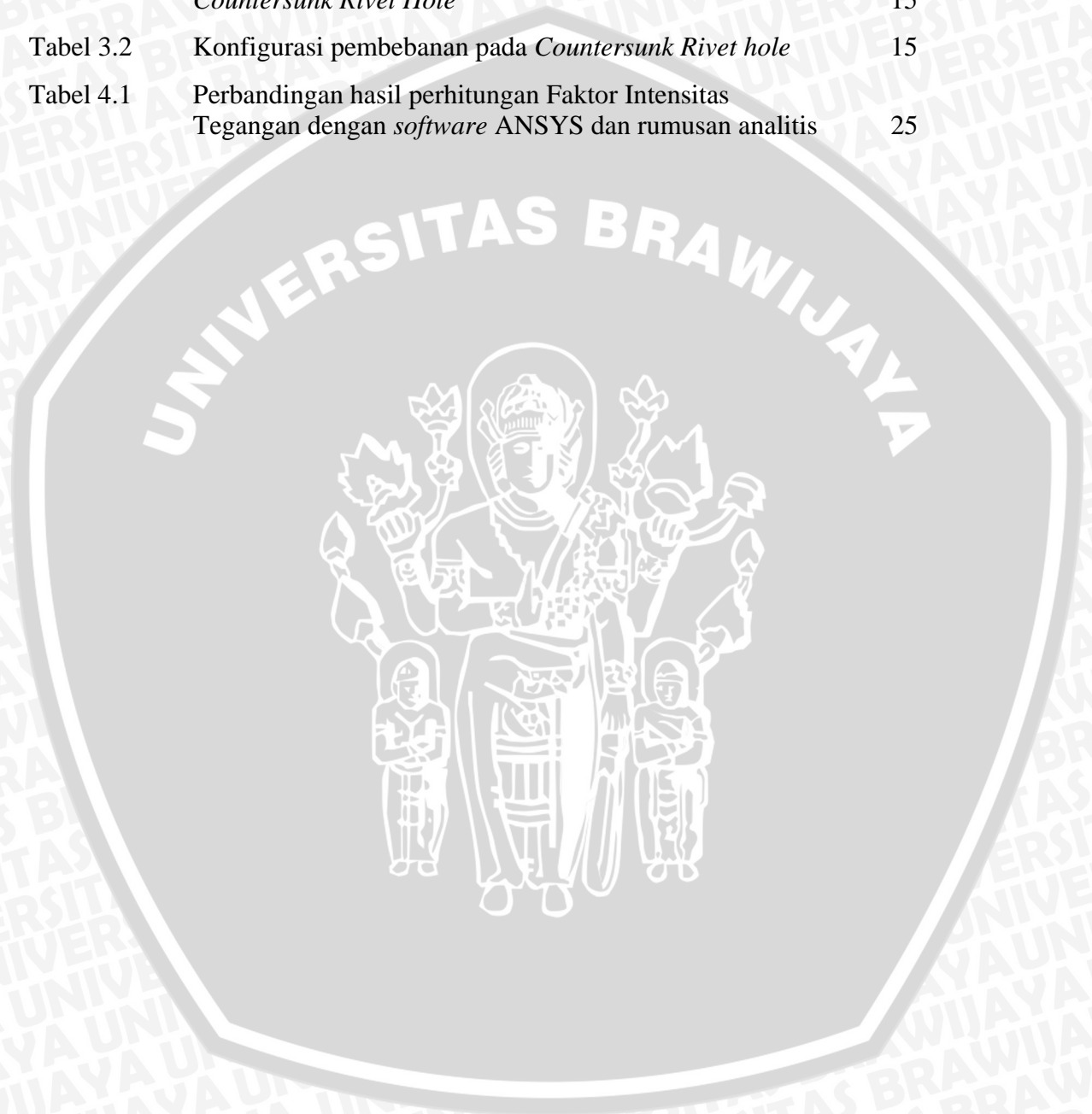


## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Daerah plastis diujung retak	5
Gambar 2.2	Tiga mode pembebanan retak	6
Gambar 2.3	Distribusi tegangan di sekitar ujung retak	7
Gambar 2.4	Pemasangan <i>Countersunk Rivet</i>	8
Gambar 2.5	Gaya tangensial pada dinding silinder tipis	9
Gambar 2.6	Elemen <i>quadratic hexahedral isoparametric</i>	10
Gambar 3.1	Langkah-langkah evaluasi <i>Stress Intensity Factor</i>	14
Gambar 3.2	Pembebanan pada <i>sheet</i> sambungan keling dan asumsi permukaan retak yang terjadi.	17
Gambar 3.3	Pembagian region <i>crack</i> yang terjadi	18
Gambar 3.4	Permodelan <i>Sheet</i> dengan lubang lurus.	18
Gambar 3.5	Pembagian volume dengan perintah VPTN	19
Gambar 3.6	Permodelan elemen singular pada ujung retak dengan VSWEEP	19
Gambar 3.7	Hasil <i>meshing</i> secara keseluruhan	20
Gambar 3.8	Permodelan <i>Countersunk Rivet Hole</i>	21
Gambar 3.9	Pembagian volume dengan perintah VPTN	21
Gambar 3.10	Permodelan elemen singular pada ujung retak dengan VSWEEP	22
Gambar 3.11	Hasil <i>meshing</i> secara keseluruhan	22

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Variasi rasio kedalaman <i>chamfering</i> dan tebal <i>sheet</i> pada <i>Countersunk Rivet Hole</i>	15
Tabel 3.2	Konfigurasi pembebanan pada <i>Countersunk Rivet hole</i>	15
Tabel 4.1	Perbandingan hasil perhitungan Faktor Intensitas Tegangan dengan <i>software</i> ANSYS dan rumusan analitis	25



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran A	<i>Material Properties</i> Aluminium Clad 2024-T3.	44
Lampiran B	Plot hasil distribusi tegangan di sekitar ujung retak dengan ANSYS 9.0.	45
Lampiran C	Data hasil perhitungan faktor intensitas tegangan ( K ).	54
Lampiran D	Listing Program ANSYS 9.0	67

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## RINGKASAN

GUGUH PRIHANDOKO, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2006, *Analisa Faktor Intensitas Tegangan akibat pengaruh variasi rasio kedalaman chamfering pada Countersunk Rivet Hole dengan simulasi komputer*, Dosen Pembimbing : Ir. Bardji Hadi Pranoto dan Moch. Agus Choiron, ST, MT.

Besarnya kecenderungan suatu material untuk mengalami retak ditunjukkan oleh besarnya Faktor Intensitas Tegangan (  $K$  ). Pada proses pemasangan paku keling, gaya pengencangan diberikan untuk menjaga agar tidak terjadi *sliding* antar *sheet* yang akan disambung. Gaya pengencangan pada paku keling jenis *Countersunk* akan mengakibatkan tekanan pada *chamfering area* yang besarnya tergantung dari kedalaman *chamfering* dari *Countersunk Rivet Hole* yang digunakan. Perlu adanya penelitian terhadap Faktor Intensitas Tegangan (  $K$  ) pada *Countersunk Rivet Hole* akibat tekanan pada *chamfering area* yang dalam hal ini besarnya dipengaruhi oleh faktor kedalaman *chamfering* (  $h/t$  ).

Tujuan dilakukan perhitungan harga  $K$  adalah untuk mengetahui bagaimana besar harga  $K$  dan hubungannya dengan variasi kedalaman *chamfering* dari *Countersunk Rivet Hole*.

Perhitungan dilakukan dengan metode simulasi yang memanfaatkan *software* ANSYS Rel. 9.0. Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan perhitungan  $K$  pada *elliptical crack* untuk kasus lubang lurus dengan ANSYS dan rumusan analitis. Kemudian dengan prosedur yang sama, dilakukan perhitungan  $K$  pada *elliptical crack* untuk kasus *Countersunk Rivet Hole*.

Setelah dilakukan perhitungan  $K$  didapatkan kecenderungan bahwa harga  $K$  paling besar terjadi pada posisi *crack* paling jauh yaitu posisi 6, dan semakin berkurang seiring berkurangnya panjang retak. Hal ini berlaku untuk semua variasi tebal *sheet* dan rasio kedalaman *chamfering*. Sedangkan untuk hubungan antara rasio kedalaman *chamfering* dan  $K$  untuk semua variasi tebal *sheet* yaitu : pada posisi *crack* 1, 2, dan 3 harga  $K$  cenderung bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman *chamfering*, sedangkan pada posisi *crack* 4, 5, dan 6 harga  $K$  memiliki kecenderungan yang sama dengan posisi 1, 2, dan 3 hanya pada sudut  $\theta = \theta_{maks}$ , dan harga  $K$  berkurang seiring dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering* pada sudut  $\theta < \theta_{maks}$ . Dan dari keseluruhan hubungan rasio kedalaman *chamfering* dan faktor intensitas tegangan didapatkan bahwa dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*, maka harga  $K$  akan semakin berkurang.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam industri penerbangan, sambungan keling pada bodi pesawat sering digunakan karena sambungan keling biayanya relatif murah ( [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Rivets.html](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Rivets.html) ). Jenis sambungan keling yang digunakan pada bagian luar bodi pesawat adalah jenis *countersunk rivet* untuk menghasilkan permukaan yang halus sehingga tidak mengganggu aliran fluida yang melewati bodi pesawat ( Christy, 1984 ).

Penggunaan sambungan keling akan mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan yang besar pada lubang keling yang bisa menimbulkan munculnya *crack* pada daerah tersebut. Besarnya kecenderungan suatu material untuk mengalami *crack*, ditunjukkan oleh besarnya faktor intensitas tegangan. Penelitian tentang faktor intensitas tegangan pada sambungan keling sudah banyak dilakukan baik dengan metode eksperimen, simulasi maupun perhitungan analitis. Salah satu penelitian tentang faktor intensitas tegangan pada *countersunk rivet hole* adalah penelitian yang dilakukan oleh de Rijck dan Fawaz ( 2003 ). Dalam penelitian tersebut, mereka menulis tentang perhitungan faktor intensitas tegangan pada *countersunk rivet hole* dengan pembebanan yang dilakukan berupa beban tarik, dan bending.

Pada proses pemasangan paku keling, gaya pengencangan diberikan untuk menjaga agar tidak terjadi *sliding* antar *sheet* yang akan disambung. *Sliding* antar *sheet* pada daerah kontak akan menimbulkan adanya *fretting damage*. *Fretting damage* adalah kerusakan pada permukaan *sheet* yang mengalami kontak akibat adanya *sliding* antar *sheet* dan merupakan salah satu faktor yang dominan dalam perambatan retak. ( [www.library.unsw.edu.au/~thesis/adt-ADFA/uploads/approved/adt-ADFA20050819.111957/public/03chapter2.pdf](http://www.library.unsw.edu.au/~thesis/adt-ADFA/uploads/approved/adt-ADFA20050819.111957/public/03chapter2.pdf) ).

Penggunaan *countersunk rivet hole* pada sambungan keling bervariasi terutama untuk masalah kedalaman *chamfering* (  $h/t$  ). Akibat adanya *chamfering area* dari *countersunk rivet hole*, pada proses pemasangan paku keling dimana diberikan gaya pengencangan, akan timbul gaya tekan pada *chamfering area* tersebut. Dengan kedalaman *chamfering* yang berbeda, maka luas *chamfering area* juga berbeda.

Sehingga dengan gaya pengencangan yang sama, besarnya tekanan pada *chamfering area* akan berbeda-beda sesuai dengan kedalaman *chamfering* yang digunakan.

Dengan latar belakang tersebut, perlu adanya penelitian terhadap Faktor intensitas tegangan pada *countersunk rivet hole* akibat tekanan pada *chamfering area* yang dalam hal ini besarnya dipengaruhi oleh faktor kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) disamping pengaruh dari beban tarik dan beban bending.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu :

1. Bagaimana besar faktor intensitas tegangan dari variasi rasio kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) sepanjang *crack front* pada *countersunk rivet hole* ?
2. Bagaimana hubungan antara variasi rasio kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) dan faktor intensitas tegangan pada *countersunk rivet hole*?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan masalah, maka dalam penelitian ini digunakan beberapa batasan antara lain :

1. Material *sheet* yang digunakan adalah Alumunium Clad 2024-T3
2. Permodelan untuk *chamfering rivet hole* dilakukan dengan  $\frac{1}{4}$  bagian karena kesimetrian model.
3. Jenis elemen yang digunakan adalah elemen isoparametrik 20 node tiga dimensi.
4. Material bersifat homogen dan isotropik.
5. Perhitungan faktor intensitas tegangan dalam masalah *Linear Elastic Fracture Mechanics*.
6. *Crack* yang terjadi diasumsikan berupa *elliptical corner crack* dan berupa *long crack*.
7. Tidak membahas pengaruh dari luar, seperti : korosi dan temperatur.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah antara lain :

1. Untuk mengetahui bagaimana besar faktor intensitas tegangan dari variasi kedalaman *chamfering* (  $h/t$  ) pada *countersunk rivet hole*.
2. Untuk mengetahui hubungan antara variasi kedalaman *chamfering* (  $h/t$  ) dan faktor intensitas tegangan pada *countersunk rivet hole*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dengan mengetahui besarnya faktor intensitas tegangan pada material, maka prediksi kelelahan pada material tersebut dapat dilakukan.
2. Sebagai pertimbangan dalam perencanaan konstruksi sambungan keling, terutama pada bodi pesawat.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Fatigue* ( kelelahan )

Kelelahan pada logam dapat diartikan sebagai patahnya logam akibat pembebanan berulang dalam sejumlah siklus. Proses terjadinya kelelahan melalui tiga kejadian, yaitu :

1. Naiknya tegangan pada daerah retak yang dapat menimbulkan adanya konsentrasi tegangan yang kemudian akan terjadi bentuk plastis. Kemudian akan terjadi retak mikro pada daerah tersebut.
2. Retak mikro berkembang dan jika pembebanan berulang diteruskan, retak akan merambat.
3. Setelah retak merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang sisa yang belum retak dan akhirnya terjadi *final fracture*.

Pada dasarnya retak dibagi menjadi 3 tipe, yaitu

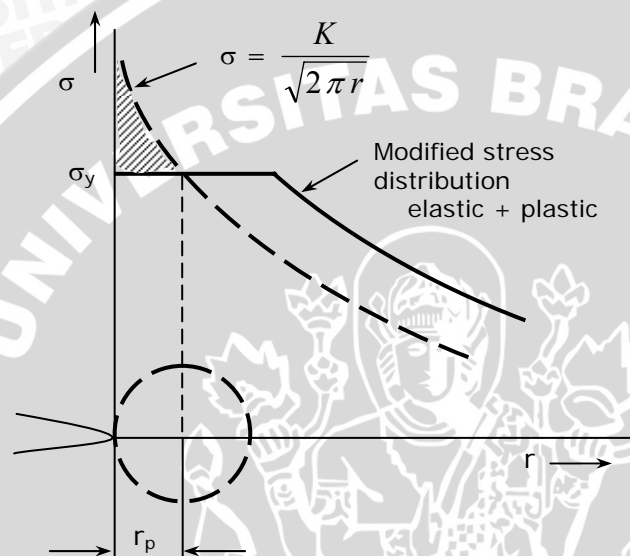
1. *Physically Short Crack*, pada tipe ini ukuran retakan lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran butiran
2. *Mechanically Short Crack*, retak yang merambat pada daerah plastis. Pada tipe ini, radius plastis lebih besar daripada panjang retak.
3. *Long Crack*, pada tipe ini panjang retak yang terjadi mempunyai ukuran jauh lebih panjang daripada radius plastis yang terbentuk pada ujung retak.

### 2.2. *Linear Elastic Fracture Mechanic* ( LEFM )

*Linear Elastic Fracture Mechanic* ( LEFM ) telah digunakan secara luas sebagai alat analisis untuk memprediksi patah pada struktur. Diawali dengan penelitian Griffith ( 1920 ) tentang retak yang menyatakan retak akan merambat bila perambatannya menyebabkan berkurangnya jumlah energi dalam sistim. Pendekatan ini juga dikenal sebagai pendekatan keseimbangan energi pada retak. Perkembangan selanjutnya adanya medan tegangan singular untuk panjang retak yang mendekati nol (  $r = 0$  ), mengembangkan pendekatan faktor intensitas tegangan ( Irwin, 1948 ). Pendekatan ini

dapat menghitung faktor intensitas tegangan yang terjadi pada pada ujung retak. Dengan mengetahui faktor intensitas tegangan maka dapat diketahui terjadinya perambatan retak jika intensitas tegangan yang bekerja telah mencapai suatu harga intensitas tegangan kritis.

Penggunaan konsep LEFM dibatasi untuk kondisi tertentu yaitu digunakan untuk material yang isotropik dan linear elastis. Validitas penggunaan konsep ini di batasi dengan *small- scale yeilding* yaitu besarnya radius plastis yang terjadi jauh lebih kecil dibanding dengan panjang retak ( gambar 2.1 ). Dapat di rumuskan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Daerah plastis di ujung retak  
Sumber : Broek, 1989 : 7

$$\frac{a}{15} > r_p$$

$$r_p = \left[ \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{K}{\sigma_y} \right]^2 \right] \quad \text{plane stress}$$

$$r_p = \left[ \frac{1}{6\pi} \left[ \frac{K}{\sigma_y} \right]^2 \right] \quad \text{plane strain}$$

( Banantine,1990 ) ( 2 – 1 )

dengan:

$K$  = Faktor intensitas tegangan (  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  )

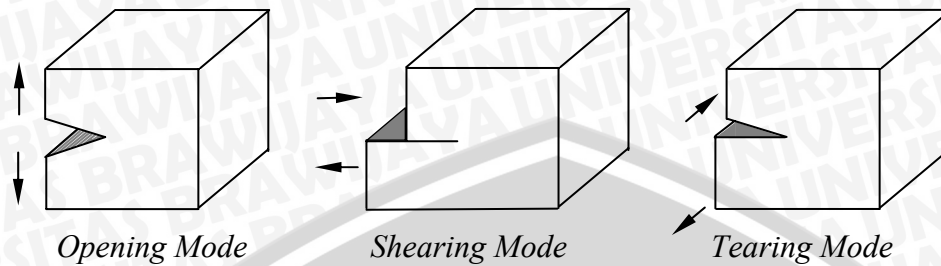
$a$  = panjang retak ( m )

$\sigma_y$  = tegangan luluh ( MPa )

$r_p$  = radius plastis ( m )

### 2.3. Mode Pembukaan Retak

Suatu retak pada padatan dapat dibebani dalam tiga mode berbeda seperti gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.2 Tiga mode pembebanan retak.

Sumber : Broek, 1989 : 8

Pada mode I (*Opening Mode*) beban bekerja tegak lurus pada bidang retak dan cenderung untuk membuka retak. Beban berupa gaya geser dalam bidang akan menyebabkan terjadinya mode II (*Shearing Mode*) dengan perambatan retak yang muncul sejajar dengan gaya-gaya utama penyebab keretakan. Sedangkan mode III (*Tearing Mode*) diakibatkan oleh gaya puntir yang keluar bidang struktur. Bentuk ketiga mode tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1. Suatu benda yang mengandung retak dapat dibebani dengan salah satu mode pembebanan ini atau kombinasi dari mode-mode tersebut. Secara teknis mode I merupakan hal yang paling penting dan banyak terjadi.

### 2.4. Pendekatan Faktor Intensitas Tegangan

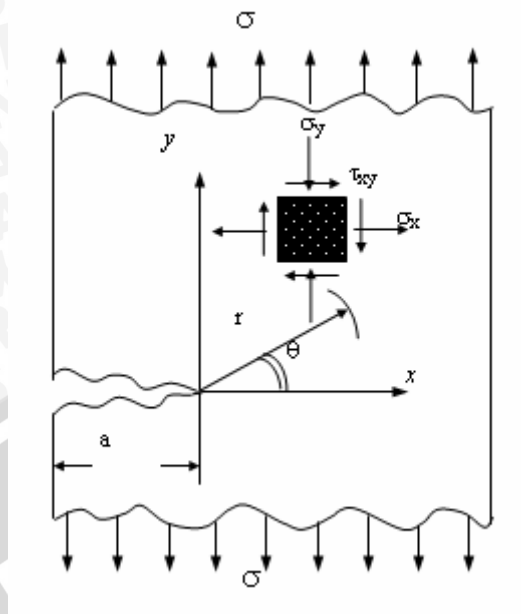
Distribusi tegangan di ujung retak dapat diperoleh dari gambar 2.2 , yaitu :

$$\sigma_x = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\sigma_y = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \left[ \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right]$$

( Broek, 1989 ) ( 2 - 2 )



Gambar 2.3 Distribusi tegangan di sekitar ujung retak  
 Sumber : Broek, 1989: 9

dengan :  $K$  = Faktor intensitas tegangan (  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  )  
 $r$  = Jarak dari ujung retak ( m )

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa distribusi tegangan di sekitar ujung retak sangat ditentukan oleh harga  $K$ , sedangkan suku-suku lainnya hanyalah menunjukkan posisi. Harga  $K$  disebut dengan faktor intensitas tegangan yang merupakan fungsi dari  $(\sigma, a)$ . Medan tegangan di sekitar ujung retak dapat diketahui jika  $K$  diketahui sehingga  $K$  merupakan suatu parameter penting karena menggambarkan tegangan-tegangan di sekitar ujung retak.

Dari persamaan ( 2 – 2 ) Dapat diketahui bahwa faktor ini pada mode I dengan memberikan  $\theta = 0$  adalah :

$$K = \sigma\sqrt{\pi a} \tag{2-3}$$

Besarnya  $K$  untuk bentuk geometri yang berbeda akan diberikan suatu faktor koreksi geometri ( *shape factor* )  $\beta$  :

$$K = \beta\sigma\sqrt{\pi a} \tag{2-4}$$

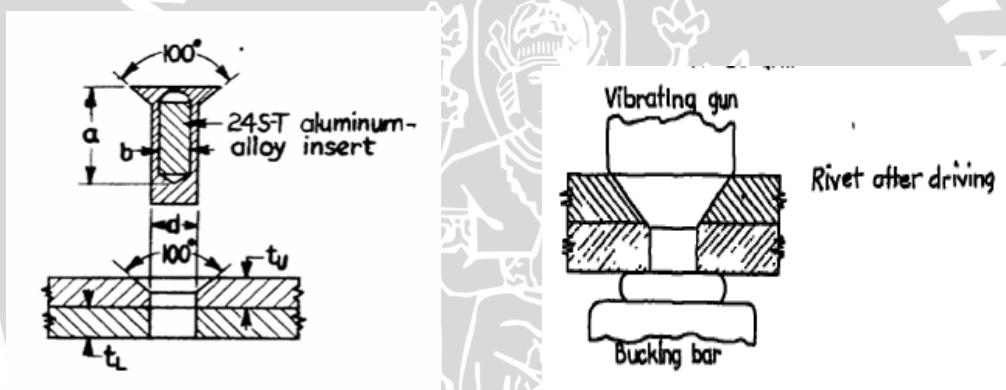
dengan :  $K$  = Faktor intensitas tegangan (  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  )  
 $\sigma$  = *far field stress* ( MPa )  
 $\beta$  = faktor koreksi geometri  
 $a$  = panjang retak ( m )

## 2.5. Sambungan Keling

Sambungan keling merupakan salah satu jenis sambungan permanen. *Rivet* banyak diaplikasikan dalam skala besar antara lain pada bidang perkapalan, penerbangan, *boiler*, *pressure vessel*, jembatan dan lain-lain.

Keling terdiri atas tubuh yang berbentuk silindris yang disebut *shank* dan kepala keling. Seperti pada gambar 2.3, proses pemasangan keling dapat dilakukan dengan cara :

1. Memasukkan keling tersebut pada sebuah lubang yang menembus *sheet* yang akan disambung
2. Bagian pangkal dari *shank* ditahan dengan menggunakan *bucking bar*.
3. Bagian *rivet head* diberikan gaya tekan oleh *Vibrating gun*, sehingga terbentuk kepala baru pada pangkal dari *shank*



Gambar 2.4 Pemasangan *Countersunk Rivet*

Sumber : [www.nasa.gov/search/test\\_of\\_hydraulically\\_expanded\\_rivet.pdf](http://www.nasa.gov/search/test_of_hydraulically_expanded_rivet.pdf)

## 2.6. Gaya Pengencangan Paku Keling

Gaya pengencangan pada paku keling ( $Q$ ) diberikan untuk menjaga agar tidak terjadi *sliding* antar *sheet* yang akan disambung. Besarnya gaya pengencangan paku keling ( $Q$ ), menurut Dobrovolsky (1985) adalah :

$$Q = \frac{F}{\mu} \quad (2-5)$$

dengan :  $F$  = Gaya tarik pada *sheet* (N)

$\mu$  = Koefisien gesek antar *sheet* Aluminium = 1,1 – 1,7  
(Hibbeler, 2001)



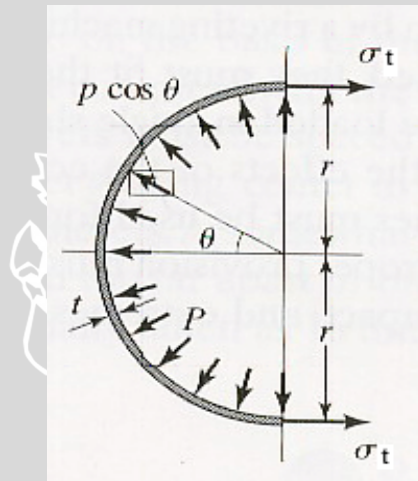
## 2.7 Distribusi Tegangan pada Dinding Silinder Tipis.

Tegangan pada dinding yang tipis biasanya dihitung dengan asumsi bahwa tegangannya merata pada tebal dinding. Seperti pada gambar, silinder dikenai tekanan dari dalam sebesar  $p$ . Jika panjang dari bagian yang tegak lurus gambar adalah  $l$ , dan elemen dari area pada silinder adalah  $rld\theta$ . Komponen gaya horizontal pada elemen tersebut adalah  $prl \cos\theta d\theta$ . Jika gaya tersebut dikenai pada  $\frac{1}{4}$  bagian silinder, maka :

$$F = \int_0^{\pi/2} prl \cos\theta d\theta = prl \sin\theta \Big|_0^{\pi/2} = prl \quad (2-6)$$

Gaya tangensial  $\sigma_t$  didapatkan dengan membagi gaya  $F$  dengan luas permukaan  $tl$ , sehingga :

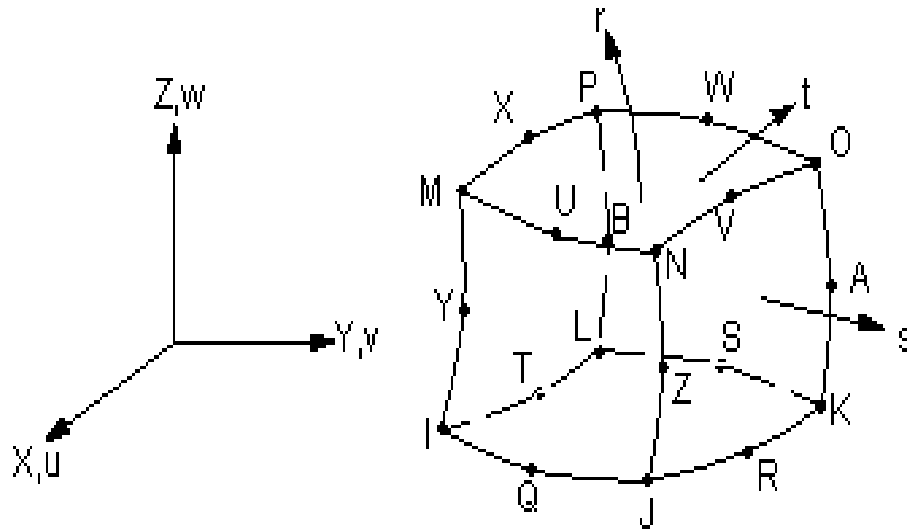
$$\sigma_t = \frac{F}{tl} = \frac{pr}{t} \quad (\text{Spotts, et al, 2004}) \quad (2-7)$$



Gambar 2.5 Gaya tangensial pada dinding silinder tipis  
Sumber : Spotts, et al, 2004: 434

## 2.8. Elemen Quadratic Hexahedral Isoparametric ( Solid 95 20 node )

Elemen *quadratic hexahedral isoparametric* adalah versi yang lebih tinggi untuk pemodelan tiga dimensi dibanding *linear hexahedral isoparametric*. Elemen ini dapat memodelkan bentuk yang tidak biasa tanpa kehilangan banyak keakuratan. *Quadratic hexahedral isoparametric* mempunyai bentuk perpindahan yang cocok dan sangat baik untuk model dengan batas berbentuk kurva. Elemen ini di definisikan oleh 20 buah *node* yang memiliki tiga derajat kebebasan pada setiap *nodenya*, yaitu perpindahan terhadap arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ .



Gambar 2.6. Elemen *quadratic hexahedral isoparametric*  
Sumber : ANSYS Rel. 9.0, 2004

## 2.9. Teknik Metode Elemen Hingga Untuk Kasus *Fracture*

Sejumlah teknik telah diusulkan untuk mengevaluasi faktor intensitas tegangan dari hasil elemen hingga, tapi representasi yang memadai dari singularitas ujung retak (*crack tip singularity*) merupakan masalah rata-rata dari metode ini. Penggunaan metode elemen hingga pada prediksi keretakan memerlukan dua pertimbangan yang jelas, yaitu:

1. Pemodelan *crack tip singularity*.
2. Evaluasi faktor intensitas tegangan.

## 2.10 *Elliptical Corner Crack pada Straight Shank Hole*

### 2.10.1 *Two symmetric corner crack*

Persamaan faktor intensitas tegangan (  $K$  ) untuk *two symmetric corner crack* berdasarkan persamaan Newman dan Raju ( *Stress Intensity Factor Equation for Cracks In Three Dimensional Finite Bodies Subjected to Tensile and Bending Loads* ) pada titik sepanjang *crack* pada *sheet*, adalah:

$$K = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F_{ch} \left( \frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \frac{r}{t}, \frac{r}{b}, \frac{c}{b}, \phi \right) \quad (2-8)$$

Untuk  $0.2 < a/c < 2$  ;  $a/t < 1$  ;  $0.5 < r/t < 2$  ;  $(r+c)/b < 0.5$ , dan  $0 < \phi < \pi/2$ .

Dimana  $\sigma$  adalah *remote stress* yang bekerja pada *sheet*,  $a$  adalah panjang retak,  $c$  adalah kedalaman retak,  $t$  adalah tebal *sheet*,  $b$  adalah lebar *sheet*,  $r$  adalah radius lubang.  $F_{ch}$  atau *boundary correction factor* adalah fungsi dari kedalaman retak,

panjang retak, radius lubang, ketebalan *sheet*, lebar *sheet*, dan sudut parametric dari elips, dan  $Q$  adalah *shape factor* untuk sebuah *elliptical crack*.

dimana :

$$Q = 1 + 1,464 \left( \frac{a}{c} \right)^{1,65} \quad \text{untuk } \frac{a}{c} \leq 1 \quad (2-9)$$

Dan,

$$Q = 1 + 1,464 \left( \frac{c}{a} \right)^{1,65} \quad \text{untuk } \frac{a}{c} > 1 \quad (2-10)$$

Fungsi  $F_{ch}$  diperoleh dari :

$$F_{ch} = \left[ M_1 + M_2 \left( \frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left( \frac{a}{t} \right)^4 \right] g_1 g_2 g_3 g_4 f_\phi f_w \quad (2-11)$$

Dimana :

**Untuk  $a/c \leq 1$ , maka :**

$$M_1 = 1,13 - 0,09 \left( \frac{a}{c} \right) \quad (2-12)$$

$$M_2 = -0,54 + \frac{0,89}{0,2 + \frac{a}{c}} \quad (2-13)$$

$$M_3 = 0,5 - \frac{1}{0,65 + \frac{a}{c}} + 14 \left( 1 - \frac{a}{c} \right)^{24} \quad (2-14)$$

$$g_1 = 1 + \left[ 0,1 + 0,35 \left( \frac{a}{t} \right)^2 \right] (1 - \sin \phi)^2 \quad (2-15)$$

$$g_2 = \frac{1 + 0,358\lambda + 1,425\lambda^2 - 1,578\lambda^3 + 2,156\lambda^4}{1 + 0,13\lambda^2} \quad (2-16)$$

$$g_3 = \left( 1 + 0,04 \left( \frac{a}{c} \right) \right) \left[ 1 + 0,1(1 - \cos \phi)^2 \right] \left[ 0,85 + 0,15 \left( \frac{a}{t} \right)^{1/4} \right] \quad (2-17)$$

dan

$$g_4 = 1 - 0,7 \left( 1 - \frac{a}{t} \right) \left( \frac{a}{c} - 0,2 \right) \left( 1 - \frac{a}{c} \right) \quad (2-18)$$

dimana :

$$\lambda = \frac{1}{1 + \frac{c}{r} \cos(\mu\phi)} \quad (2-19)$$

$\mu = 0.85$  untuk beban tarik.

$$f_\phi = \left[ \left( \frac{a}{c} \right)^{1/2} \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \right]^{1/4} \quad (2-20)$$

$$f_w = \left\{ \sec\left(\frac{\pi r}{2b}\right) \sec\left[\frac{\pi(2r+nc)}{4(b-c)+2nc} \sqrt{\frac{a}{t}}\right] \right\}^{1/2} \quad (2-21)$$

Untuk  $a/c > 1$ ,

$$M_1 = \sqrt{\frac{c}{a}} \left( 1 + 0,04 \frac{c}{a} \right) \quad (2-22)$$

$$M_2 = 0,2 \left( \frac{c}{a} \right)^4 \quad (2-23)$$

$$M_3 = -0,11 \left( \frac{c}{a} \right)^4 \quad (2-24)$$

$$g_1 = 1 + \left[ 0,1 + 0,35 \left( \frac{c}{a} \right) \left( \frac{a}{t} \right)^2 \right] (1 - \sin \phi)^2 \quad (2-25)$$

Fungsi  $g_2$  dan  $\lambda$  diberikan pada persamaan (2-16) dan (2-19). Dan fungsi  $g_3$  diberikan sebagai berikut :

$$g_3 = \left( 1,13 - 0,09 \frac{c}{a} \right) \left[ 1 + 0,1(1 - \cos \phi)^2 \left( 0,85 + 0,15 \left( \frac{a}{t} \right)^{1/4} \right) \right] \quad (2-26)$$

Dan  $g_4 = 1$ . Fungsi  $f_\phi$  dan  $f_w$  diberikan dari persamaan (2-20) dan (2-21).

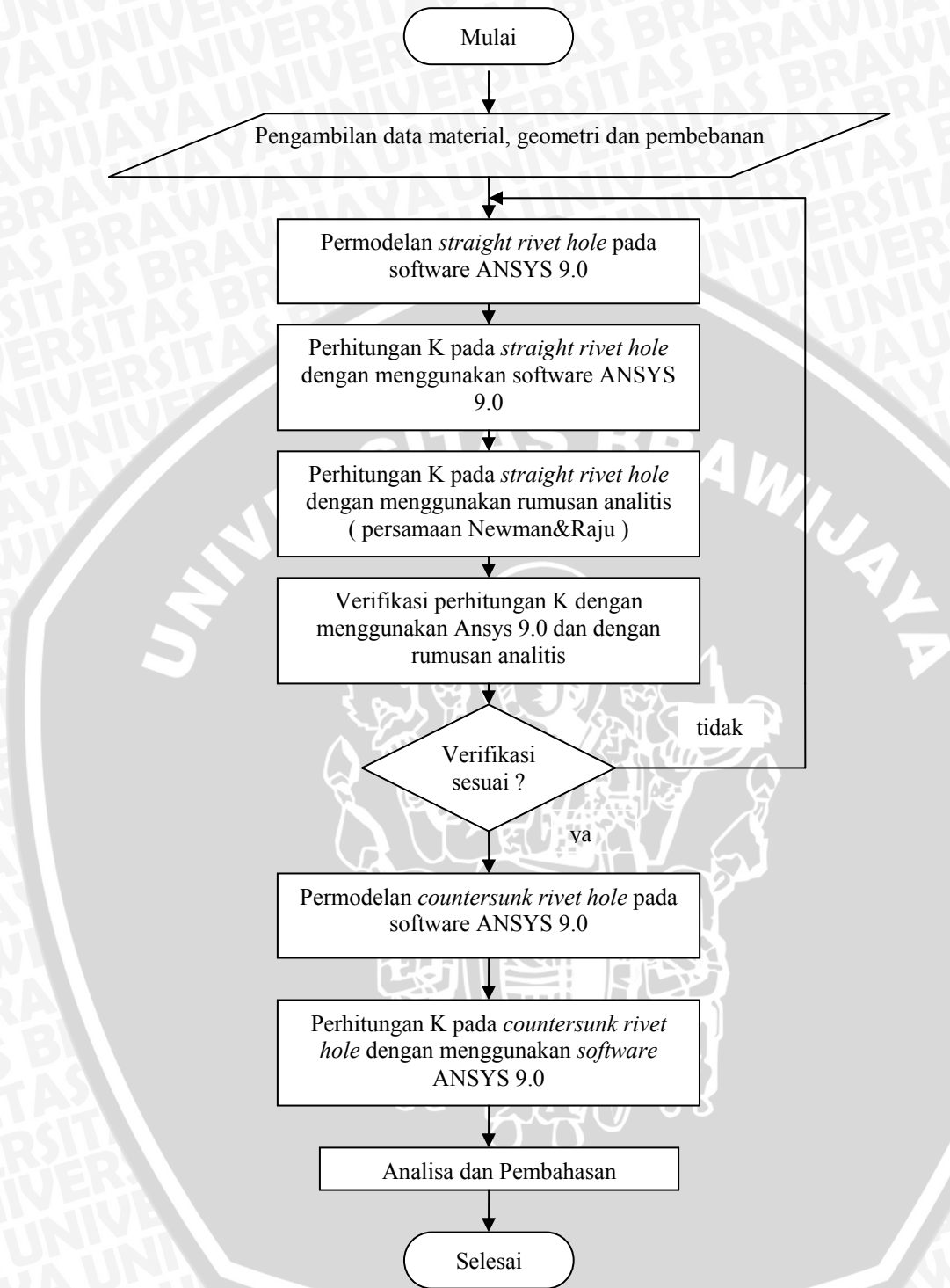
### 2.11 Hipotesa

Dengan bertambahnya kedalaman *chamfering*, maka luas permukaan *chamfering* area akan bertambah. Sehingga besarnya penekanan akibat adanya gaya pengencangan paku keling akan semakin berkurang. Dengan berkurangnya tekanan pada *chamfering* area, maka harga faktor intensitas tegangan juga akan berkurang.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram alir penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode simulasi yaitu dengan menggunakan *software* ANSYS 9.0 untuk menganalisis faktor intensitas tegangan ( $K$ ) dari variasi kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) pada *elliptical corner crack* sambungan keling.. Sebelum dilakukan permodelan dan perhitungan harga  $K$  pada *countersunk rivet hole*, dilakukan verifikasi prosedur penelitian dengan *software* ANSYS. Verifikasi dilakukan dengan menghitung harga  $K$  untuk kasus *elliptical corner crack* pada lubang lurus dan kemudian membandingkan hasil perhitungan harga  $K$  pada *software* ANSYS dengan perhitungan analitis dengan menggunakan persamaan Newman dan Raju untuk kasus *elliptical corner crack* pada lubang lurus. Verifikasi prosedur perhitungan dianggap sesuai bila hasil perhitungan harga  $K$  dengan menggunakan *software* ANSYS dan hasil perhitungan dengan menggunakan rumusan analitis pada kasus lubang lurus, tidak jauh berbeda. Jika verifikasi perhitungan harga  $K$  untuk kasus *elliptical corner crack* pada lubang lurus dengan ANSYS dan rumusan analitis sesuai, berarti prosedur perhitungan harga  $K$  pada kasus *elliptical corner crack* pada lubang lurus bisa diterapkan untuk kasus *elliptical corner crack* pada *countersunk rivet hole*. Kemudian setelah verifikasi sesuai, dilakukan permodelan dan perhitungan harga  $K$  sepanjang *crack front* pada *countersunk rivet hole* dengan prosedur yang sama dengan perhitungan harga  $K$  untuk *elliptical corner crack* pada lubang lurus. Hasil perhitungan harga  $K$  untuk *elliptical corner crack* pada *countersunk rivet hole* dianalisa untuk mengetahui hubungan antara kedalaman *chamfering* pada sambungan keling dan harga  $K$ . Dapat dibuat *flowchart* sebagai dasar program komputer dan perhitungan, dimana garis besar langkah-langkahnya pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Langkah-langkah evaluasi factor intensitas tegangan

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian terdiri atas variabel bebas, variabel terikat, dan variabel konstan

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan nilainya. Variabel bebas yang digunakan terdiri dari :

- a. Rasio kedalaman *chamfering* dan tebal plat yang divariasikan sebesar:

Tabel 3.1 Variasi kedalaman *chamfering* dan tebal *sheet* pada *Countersunk Rivet Hole*

Sheet thickness t ( mm )	1,0			1,60			2,00		
Ratio h/t	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75

- b. Pembebanan yang diberikan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Konfigurasi pembebanan pada *countersunk rivet hole*

Pembebanan	t = 1 mm			t = 1.6 mm			t = 2 mm		
Beban tarik ( MPa )	188			117.5			94		
Tekanan pada <i>chamfering area</i> ( MPa )	h/t= 0,25	h/t= 0,5	h/t= 0,75	h/t= 0,25	h/t= 0,5	h/t= 0,75	h/t= 0,25	h/t= 0,5	h/t= 0,75
	59,53	92	189,5	22,1	34,68	56,09	13,72	21,81	46
Pressure dari dalam kabin ( kPa )	100			100			100		

- c. Pembagian region retak, dapat dilihat pada gambar

*Initial crack* diasumsikan berupa *elliptical corner crack* dengan membagi *sheet* menjadi 6 region ( gambar 3.3 ) dengan masing-masing memiliki  $a/c=1$ . Titik perhitungan dilakukan sepanjang crack front yang dinyatakan dalam sudut  $\theta$ .

Dimana :

- Region 1, *Initial crack* berada pada posisi  $a = h/2$
- Region 2, *Initial crack* berada pada posisi  $a = 3h/4$
- Region 3, *Initial crack* berada pada posisi  $a = h$
- Region 4, *Initial crack* berada pada posisi *crack front* memotong bagian tengah dari *chamfering area*.

- Region 5, *Initial crack* berada pada posisi *crack front* memotong bagian atas dari *chamfering area*.
- Region 6, *Initial crack* berada pada daerah *free surface*.

## 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari nilai variabel bebas. Variabel terikat adalah Faktor Intensitas Tegangan ( K )

## 3. Variabel konstan

Variabel konstan adalah variabel yang nilainya tetap, pada setiap analisa yang dilakukan. Variabel konstan terdiri dari :

a. Dimensi dari countersunk rivet hole, dapat dilihat pada gambar 3.2

$$p = 50,8 \text{ mm}$$

$$l = 35 \text{ mm}$$

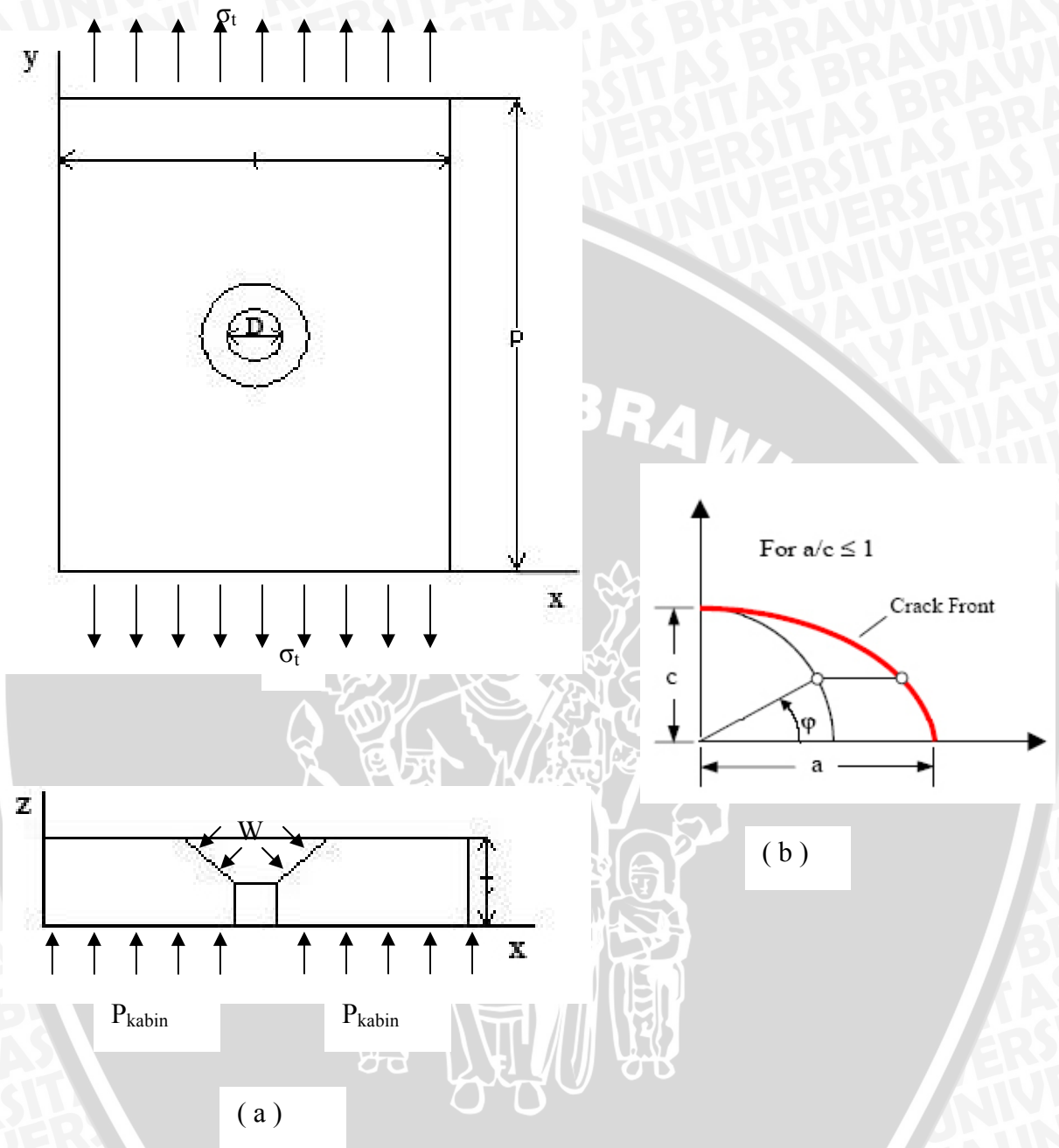
$$D = 4,8 \text{ mm}$$

b. *Material Properties* dari bahan Aluminium Clad 2024-T3 :

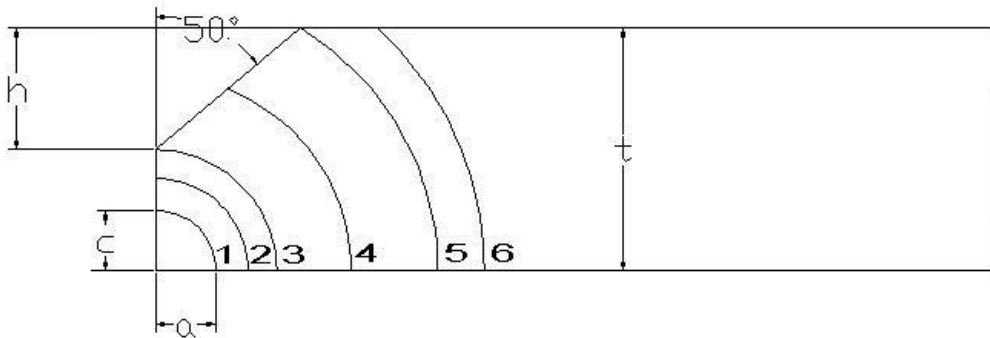
- Modulus Elastisitas bahan ( E ) = 73,1 GPa
- Angka Poisson (  $\nu$  ) = 0,33
- Tegangan Yield (  $\sigma_y$  ) = 310 MPa
- Tegangan Ultimate (  $\sigma_u$  ) = 448 MPa

Sumber: <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?Bassnum=MA2024AT3>





Gambar 3.2 ( a ) Pembebanan pada *sheet* sambungan keling dimana  $\sigma_t$  = beban tarik,  $W$  = tekanan pada *chamfering area*, dan  $P_{kabin}$  = *pressure* dari dalam kabin. ( b ) Asumsi permukaan retak yang terjadi.

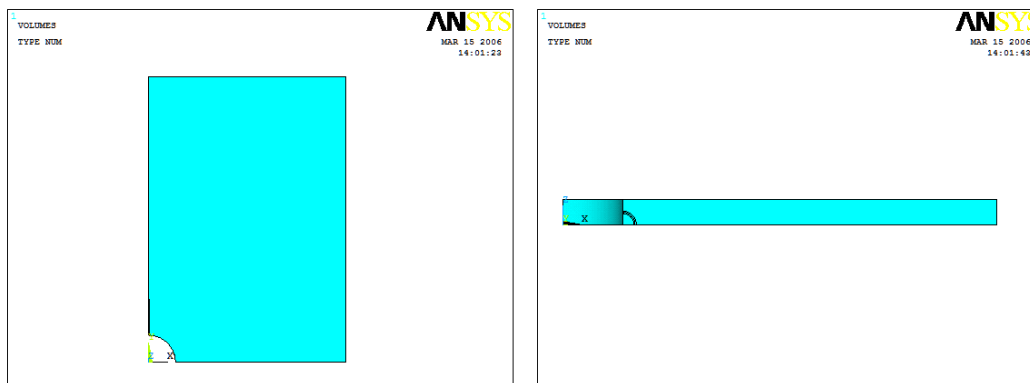


Gambar 3.3 Pembagian region *crack* yang terjadi. (  $a$  = panjang retak,  $c$  = kedalaman retak,  $h$  = kedalaman *chamfering*, dan  $t$  = tebal plat )

### 3.3 Permodelan

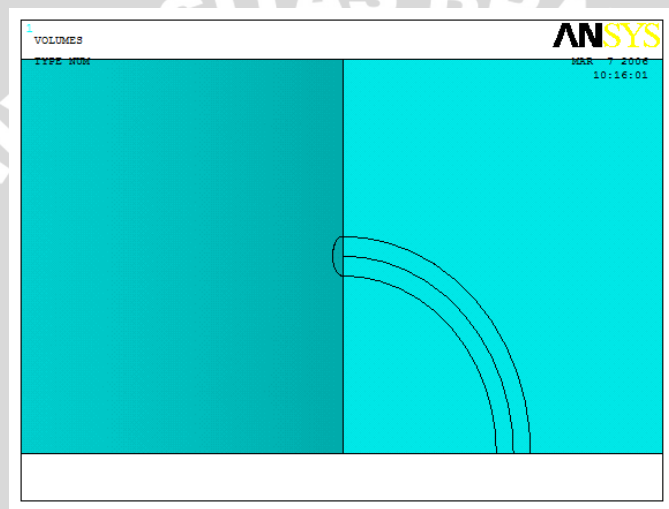
#### 3.3.1 Permodelan Verifikasi

Proses verifikasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan spesimen lubang lurus yang dikenai beban tarik. *Material properties* yang digunakan sama dengan material pada spesimen *countersunk rivet hole* yaitu Aluminium Clad 2024-T3. Permodelan dilakukan dengan memodelkan *sheet* 3 dimensi yang diberi lubang dengan geometri yang sama dengan spesimen *countersunk rivet hole*. Permodelan dilakukan dengan  $\frac{1}{4}$  bagian karena kesimetrian model, baik geometri dan pembebanan. *Initial crack* diberikan pada posisi  $a = t/2$  dan berupa *elliptical crack front*. Bentuk permodelan dapat dilihat pada gambar 3.4.

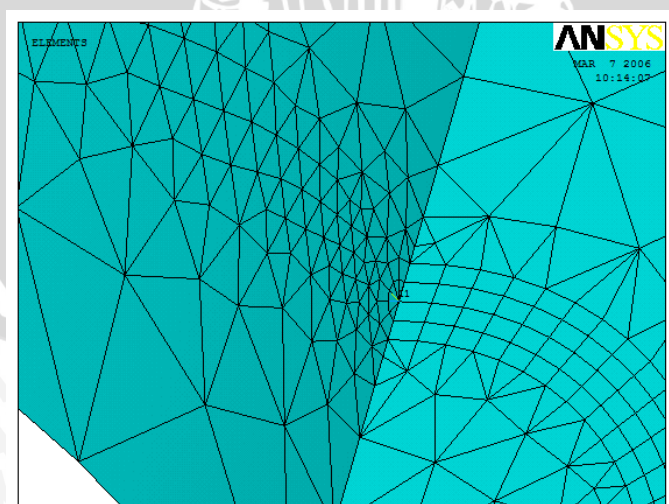


Gambar 3.4 Permodelan *sheet* dengan lubang lurus.

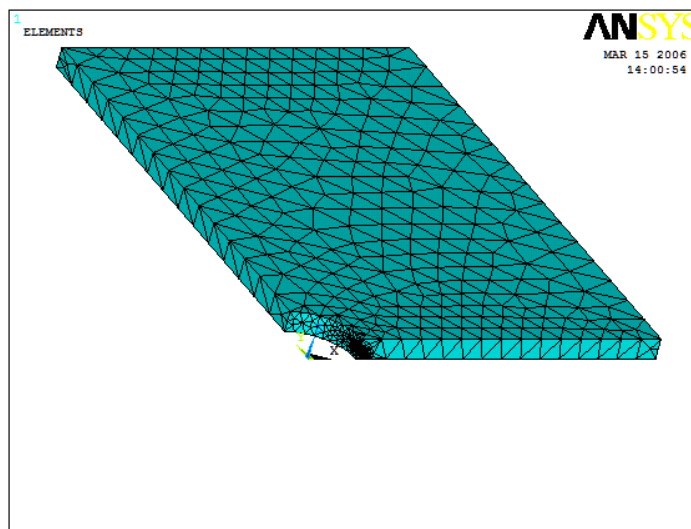
Setelah permodelan selesai, langkah selanjutnya adalah proses pembagian elemen (*meshing*). Proses *meshing* dilakukan dengan metode submodel, dimana model dibagi menjadi 2, yaitu daerah lokal pada ujung retak untuk memodelkan singularitas pada ujung retak dan daerah selain ujung retak. Pembagian model ini dilakukan dengan perintah VPTN dimana volume akan dibagi menjadi dua volume dengan batas area yang sama ( gambar 4.2 ). Kemudian dengan menggunakan perintah VSWEEP, pada daerah ujung retak dilakukan *meshing* untuk menghasilkan elemen singular pada ujung retak. Pada daerah selain ujung retak dilakukan *meshing* secara *free*. Hasil permodelan elemen singular dan hasil *meshing* secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.6 dan gambar 3.7.



Gambar 3.5 Pembagian volume dengan perintah VPTN.



Gambar 3.6 Permodelan elemen singular pada ujung retak dengan VSWEEP.

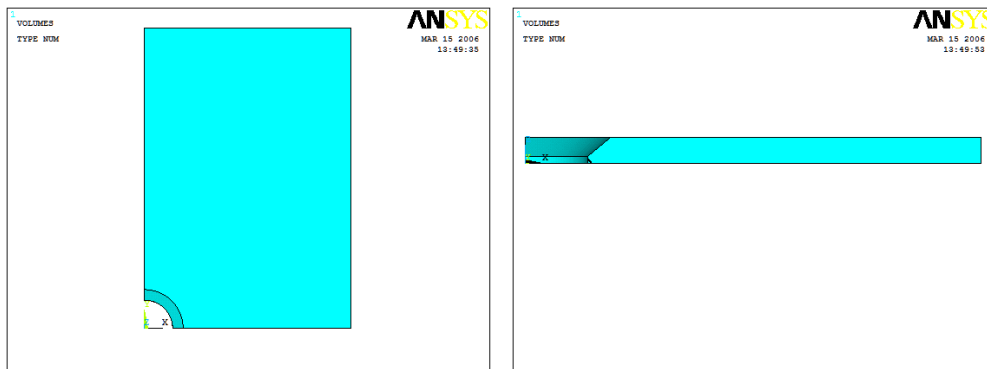


Gambar 3.7 Hasil *meshing* secara keseluruhan.

Setelah proses *meshing* selesai, dilakukan pemberian *constrain* dan pembebanan yang bekerja pada *sheet*. Pembebanan yang diberikan berupa beban tarik sebesar 188 MPa. Kemudian dilakukan proses *solving* dan perhitungan Faktor intensitas tegangan tiap titik sepanjang *crack front* yang ditunjukkan oleh besarnya sudut ( $\theta$ ) yang diukur tiap  $10^0$  dari pusat radius *elliptical crack*. Hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan untuk kasus *elliptical crack* pada lubang lurus dibandingkan dengan perhitungan secara analitis untuk mengetahui apakah prosedur perhitungan Faktor intensitas tegangan pada *software* ANSYS sudah benar dan hasilnya akurat.

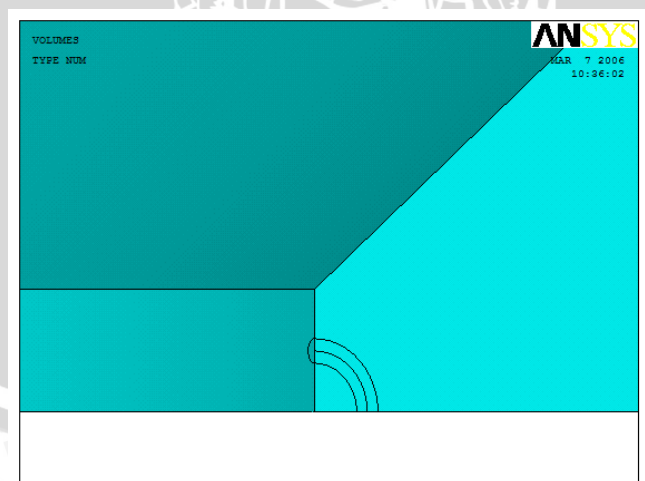
### 3.3.2 Permodelan *Countersunk Rivet Hole*

Permodelan dilakukan dengan memodelkan *countersunk rivet hole* 3 dimensi dan dilakukan dengan  $\frac{1}{4}$  bagian karena adanya kesimetrian model, baik geometri maupun pembebanan. *Material properties* yang dimasukkan adalah *material properties* dari Aluminium Clad 2024-T3. Jumlah permodelan yang dilakukan adalah sebanyak 54 model sesuai dengan masing-masing variasi rasio kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ), tebal *sheet* dan posisi retak yang digunakan. Bentuk permodelan *countersunk rivet hole* dapat dilihat pada gambar 3.8.

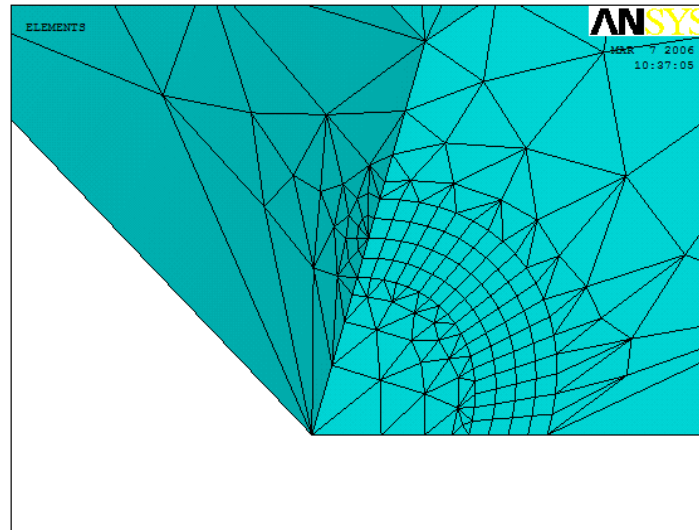


Gambar 3.8 Permodelan *countersunk rivet hole*.

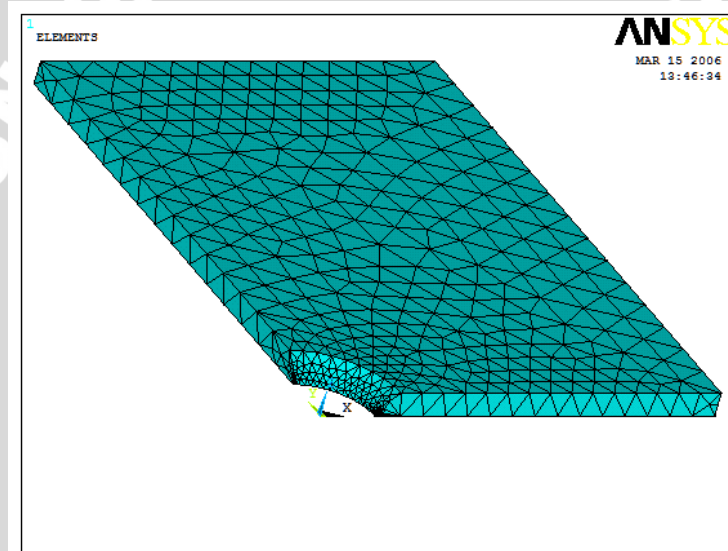
Setelah permodelan selesai, langkah selanjutnya adalah proses pembagian elemen (*meshing*). Proses *meshing* dilakukan dengan metode submodel, dimana model dibagi menjadi 2, yaitu daerah lokal pada ujung retak untuk memodelkan singularitas pada ujung retak dan daerah selain ujung retak. Pembagian model ini dilakukan dengan perintah VPTN dimana volume akan dibagi menjadi dua volume dengan batas area yang sama (gambar 4.6). Kemudian dengan menggunakan perintah VSWEEP, pada daerah ujung retak dilakukan *meshing* untuk menghasilkan elemen singular pada ujung retak. Pada selain ujung retak dilakukan *meshing* secara *free*. Hasil permodelan elemen singular dan hasil *meshing* secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.10 dan gambar 3.11. Proses permodelan diatas sama untuk tiap variasi geometri yang digunakan.



Gambar 3.9 Pembagian volume dengan perintah VPTN.



Gambar 3.10 Permodelan elemen singular pada ujung retak VSWEEP.



Gambar 3.11 Hasil *meshing* secara keseluruhan.

Setelah proses *meshing* selesai, dilakukan pemberian *constrain* dan pembebanan pada *sheet*. Besarnya konfigurasi pembebanan pada *sheet*, sesuai dengan konfigurasi pembebanan untuk tiap-tiap variasi geometri yang digunakan ( tabel 3.2 ). Kemudian dilakukan proses *solving* dan perhitungan Faktor intensitas tegangan tiap titik sepanjang *crack front* yang ditunjukkan oleh besarnya sudut fisik ( $\theta$ ) dari pusat radius *elliptical crack*.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Perhitungan dan Pembahasan

#### 4.1.1 Tinjauan Verifikasi

Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah prosedur perhitungan faktor intensitas tegangan pada *software* ANSYS sudah benar dan hasilnya akurat. Hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan dengan ANSYS dibandingkan dengan rumusan analitis yaitu *Newman-Raju Equation*.

Contoh perhitungan faktor intensitas tegangan dengan menggunakan rumusan analitis dari Newman-Raju adalah sebagai berikut :

Besar Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan lubang lurus dimana tebal *sheet*  $t = 1$  mm,  $a/c = 1$ ,  $a/t = 0,5$  dan beban tarik  $\sigma = 188$  MPa pada sudut  $\theta = 0^\circ$  adalah:

$$K = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F_{ch} \left( \frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \frac{r}{t}, \frac{r}{b}, \frac{c}{b}, \phi \right)$$

*Shape Factor*  $Q$  adalah sebagai berikut :

$$Q = 1 + 1,464 \left( \frac{a}{c} \right)^{1,65} \quad \text{untuk } \frac{a}{c} \leq 1$$

$$Q = 2,464$$

dan

$$F_{ch} = \left[ M_1 + M_2 \left( \frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left( \frac{a}{t} \right)^4 \right] g_1 g_2 g_3 g_4 f_\phi f_w$$

dimana :

$$M_1 = 1,13 - 0,09 \left( \frac{a}{c} \right) = 1,04$$

$$M_2 = -0,54 + \frac{0,89}{0,2 + \frac{a}{c}} = 0,201667$$

$$M_3 = 0,5 - \frac{1}{0,65 + \frac{a}{c}} + 14 \left( 1 - \frac{a}{c} \right)^{24} = -0,10606$$

$$g_1 = 1 + \left[ 0,1 + 0,35 \left( \frac{a}{t} \right)^2 \right] (1 - \sin \phi)^2 = 1,1875$$

$$\text{dengan } \lambda = \frac{1}{1 + \frac{c}{r} \cos(\mu\phi)} = 0,90566$$

maka :

$$g_2 = \frac{1 + 0,358\lambda + 1,425\lambda^2 - 1,578\lambda^3 + 2,156\lambda^4}{1 + 0,13\lambda^2} = 2,524296$$

$$g_3 = \left(1 + 0,04\left(\frac{a}{c}\right)\right) \left[1 + 0,1(1 - \cos\phi)^2\right] \left[0,85 + 0,15\left(\frac{a}{t}\right)^{1/4}\right] = 1,01518$$

$$g_4 = 1 - 0,7\left(1 - \frac{a}{t}\right)\left(\frac{a}{c} - 0,2\right)\left(1 - \frac{a}{c}\right) = 1$$

$$f_\phi = \left[\left(\frac{a}{c}\right)^{1/2} \cos^2 \phi + \sin^2 \phi\right]^{1/4} = 1$$

$$f_w = \left\{ \sec\left(\frac{\pi r}{2b}\right) \sec\left[\frac{\pi(2r + nc)}{4(b - c) + 2nc} \sqrt{\frac{a}{t}}\right] \right\}^{1/2} = 1,100478$$

Jadi :

$$F_{ch} = \left[ M_1 + M_2\left(\frac{a}{t}\right)^2 + M_3\left(\frac{a}{t}\right)^4 \right] g_1 g_2 g_3 g_4 f_\phi f_w = 3,6072643$$

Dan

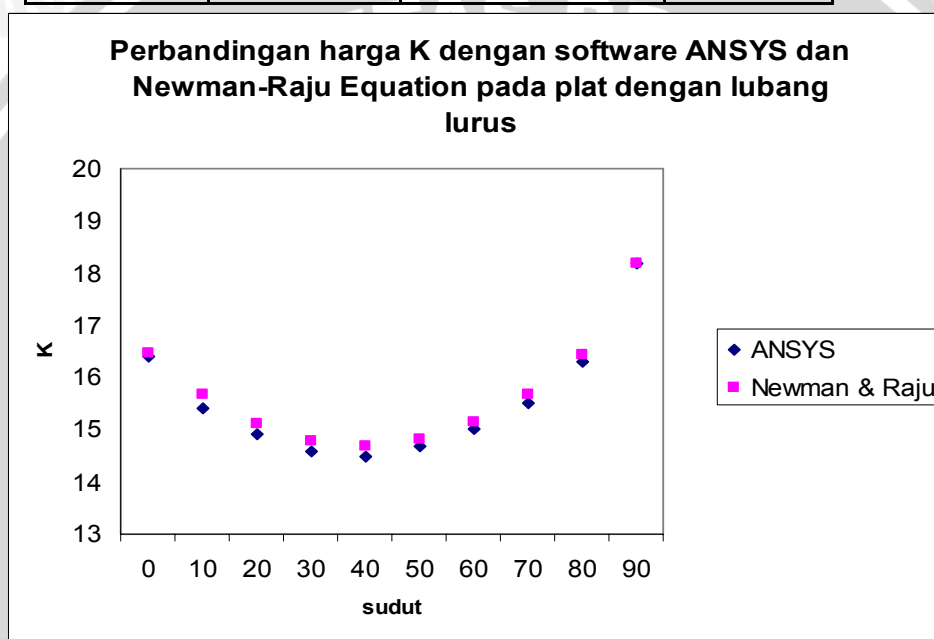
$$K = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F_{ch} = 16481093 \text{ Pa}\sqrt{\text{m}} = 16,48 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

Dari hasil perhitungan faktor intensitas tegangan dengan menggunakan rumusan analitis untuk tiap sudut  $\theta$ , diperoleh data hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan yang dibandingkan dengan hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan dengan software ANSYS, dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:



Tabel 4.1 Perbandingan hasil perhitungan faktor intensitas tegangan dengan *software* ANSYS dan rumusan analitis.

Sudut ( $\theta$ )	ANSYS (MPa $\sqrt{m}$ )	Newman & Raju (MPa $\sqrt{m}$ )	% Error (%)
0	16,3	16,48	1,1043
10	15,4	15,68	1,8182
20	14,9	15,11	1,4094
30	14,6	14,77	1,1644
40	14,5	14,67	1,1724
50	14,7	14,8	0,6803
60	15	15,13	0,8667
70	15,5	15,68	1,1613
80	16,3	16,42	0,7362
90	18,2	18,34	0,7692



Grafik 4.1 Perbandingan hasil perhitungan faktor intensitas tegangan dengan *software* ANSYS dan rumusan analitis.

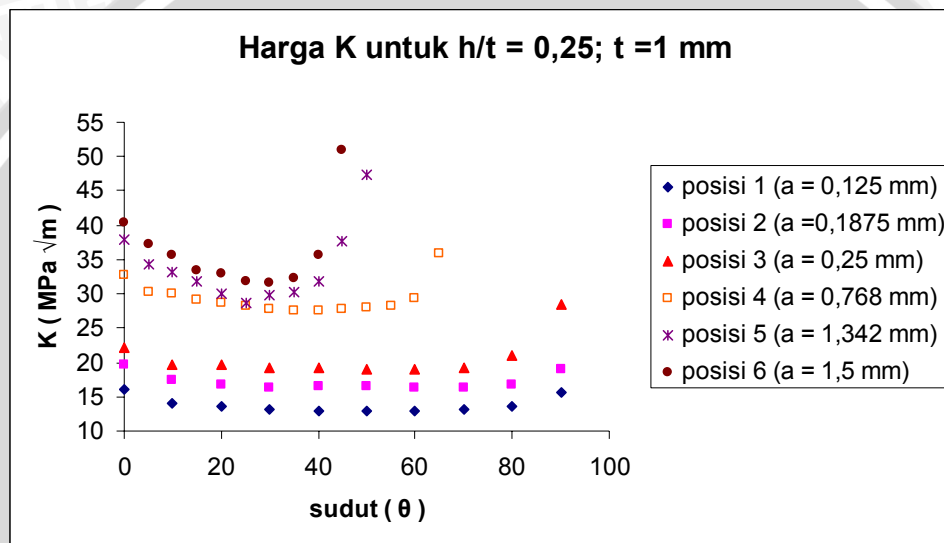
Dari grafik 4.1 diatas dapat dilihat bahwa hasil perhitungan faktor intensitas tegangan dengan *software* ANSYS dan rumusan analitis memiliki tren yang sama. Besarnya faktor intensitas tegangan untuk tiap titik sepanjang *crack front* dari kedua grafik diatas tidak jauh berbeda. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa prosedur perhitungan faktor intensitas tegangan dengan *software* ANSYS sudah cukup valid untuk menganalisa faktor intensitas tegangan dan hasilnya akurat bila dibandingkan dengan rumusan analitis Newman-Raju.

#### 4.1.2 Tinjauan *countersunk rivet hole*

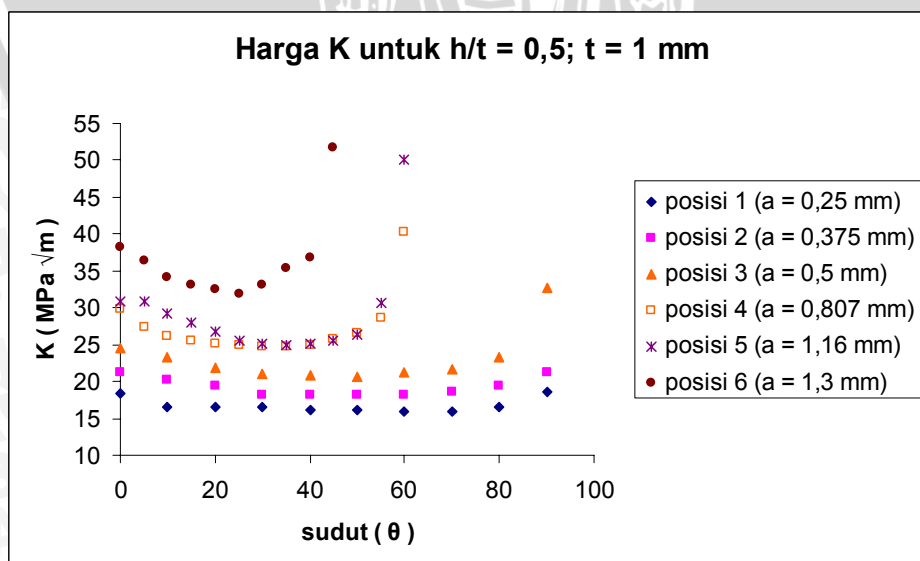
##### 1. Pengaruh posisi *crack* terhadap faktor intensitas tegangan

Salah satu parameter pemilihan sambungan keling jenis *countersunk* adalah parameter kedalaman *chamfering* dari lubang keling. Kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) dari *countersunk rivet hole* akan mempengaruhi besarnya tekanan yang bekerja pada *chamfering area*. Oleh karena itu, perlu dilakukan strategi dalam hal memilih kedalaman *chamfering* yang tepat untuk digunakan.

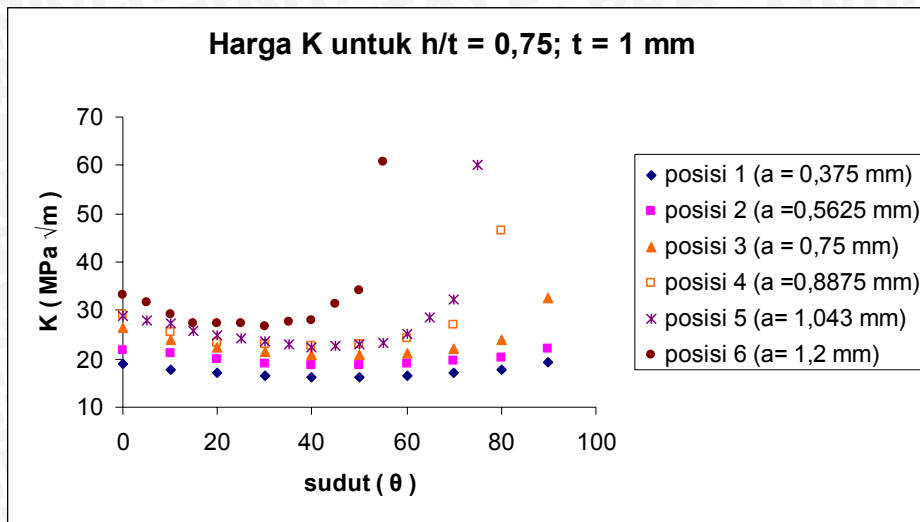
Dari hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan dengan software ANSYS, diperoleh grafik sebagai berikut :



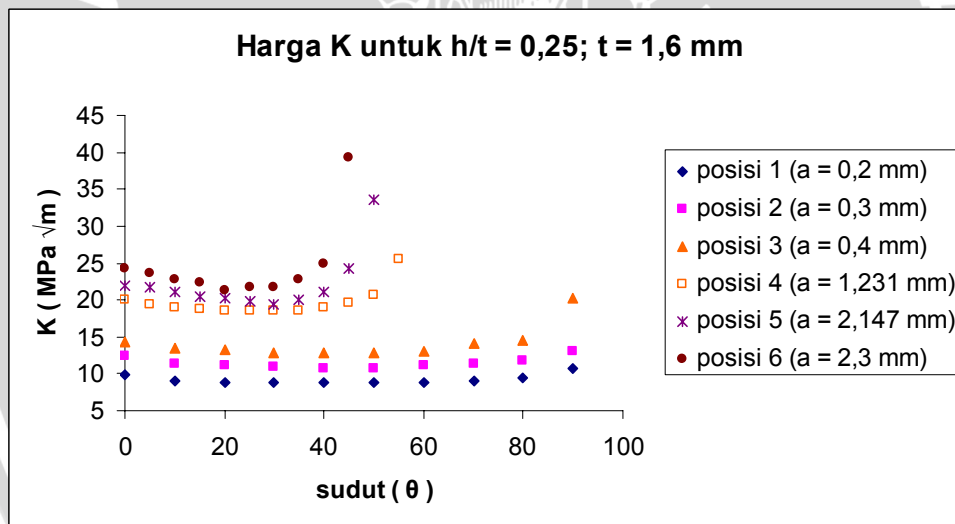
Grafik 4.2 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t = 0,25$ ;  $t = 1$  mm



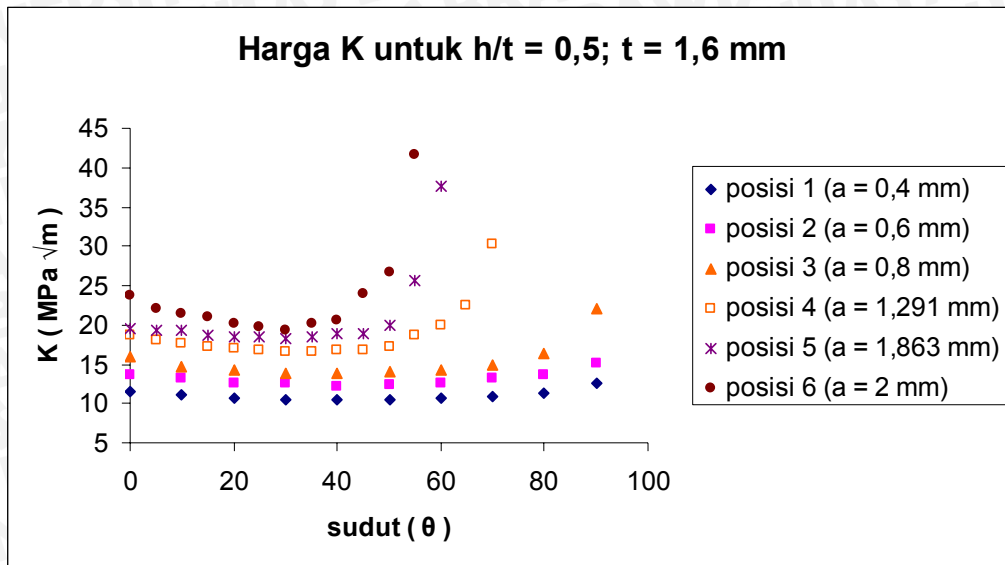
Grafik 4.3 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t = 0,5$ ;  $t = 1$  mm



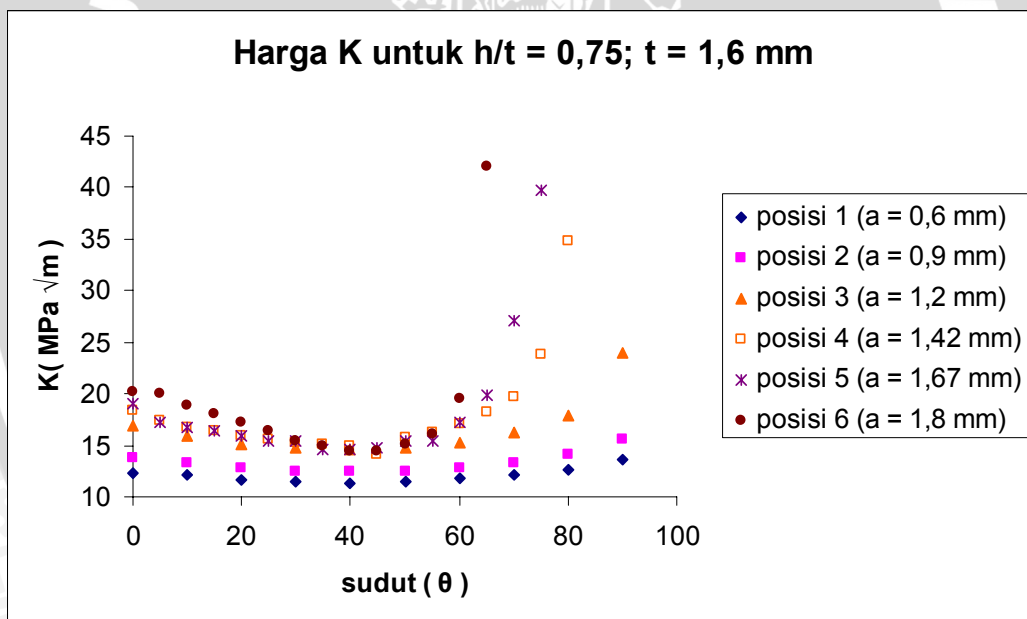
Grafik 4.4 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t = 0,75; t = 1 \text{ mm}$



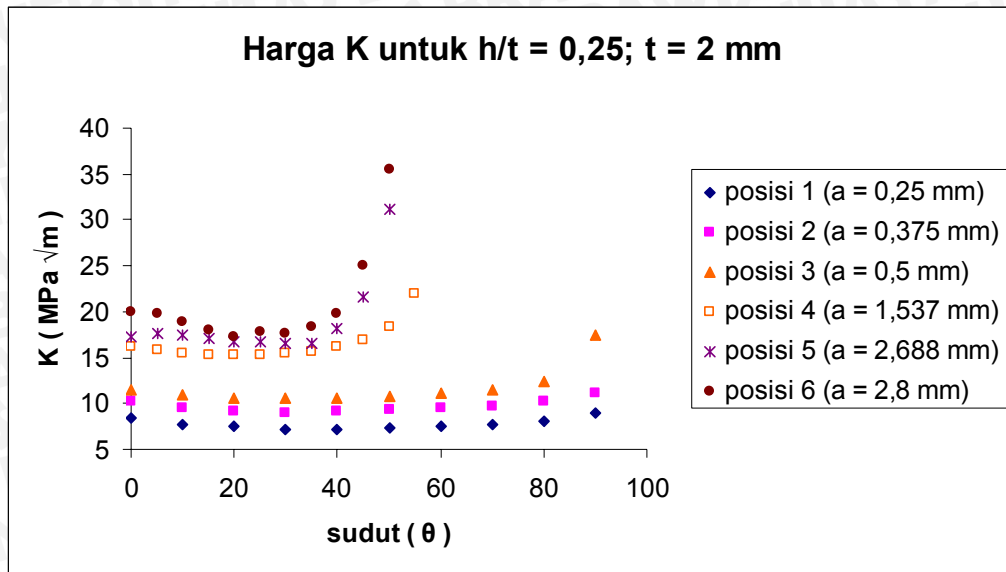
Grafik 4.5 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t = 0,25; t = 1,6 \text{ mm}$



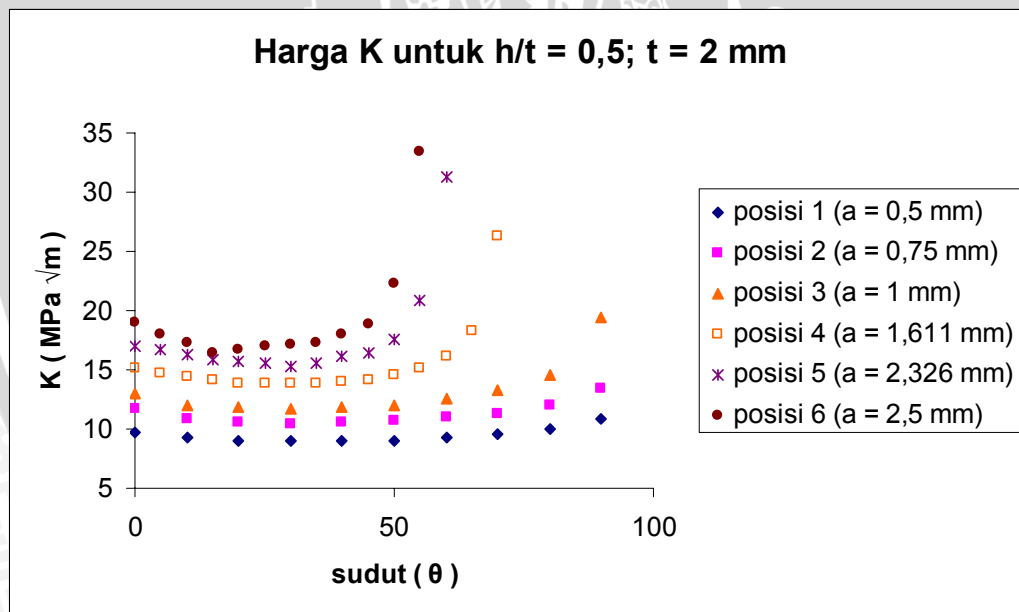
Grafik 4.6 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t = 0,5; t = 1,6 \text{ mm}$



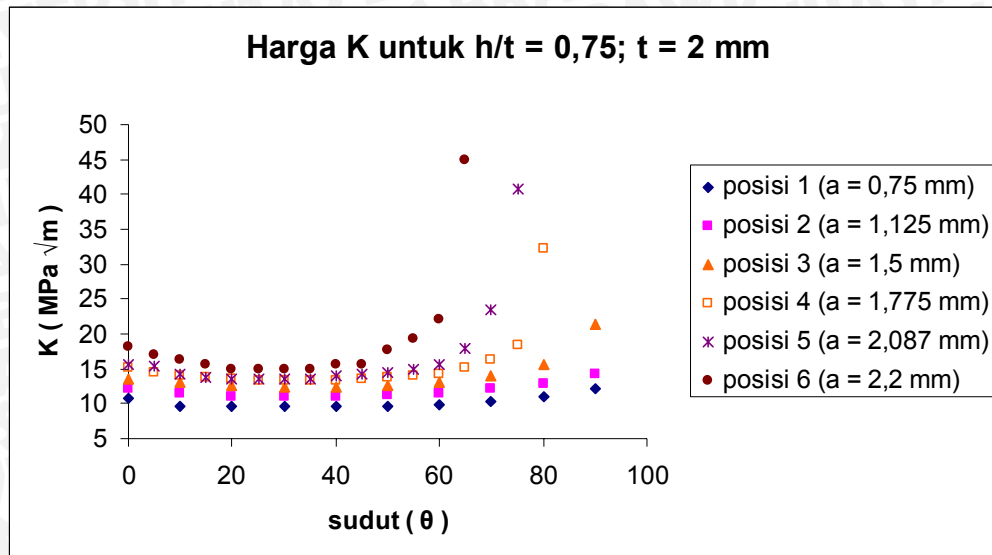
Grafik 4.7 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t = 0,75; t = 1,6 \text{ mm}$



Grifik 4.8 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,25$ ;  $t= 2$  mm



Grifik 4.9 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t= 0,5$ ;  $t= 2$  mm



Grafik 4.10 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,75$ ;  $t=2$  mm

Dari keseluruhan grafik harga faktor intensitas tegangan untuk masing-masing kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) dan tebal *sheet* diatas, dapat dilihat bahwa besarnya faktor intensitas tegangan untuk masing-masing kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) dan tebal *sheet* memiliki kecenderungan yang sama yaitu dengan bertambahnya panjang retak ( $a$ ) yang ditunjukkan oleh posisi *crack*, besarnya faktor intensitas tegangan ( $K$ ) juga bertambah. Hal ini sesuai dengan rumusan faktor intensitas tegangan yaitu

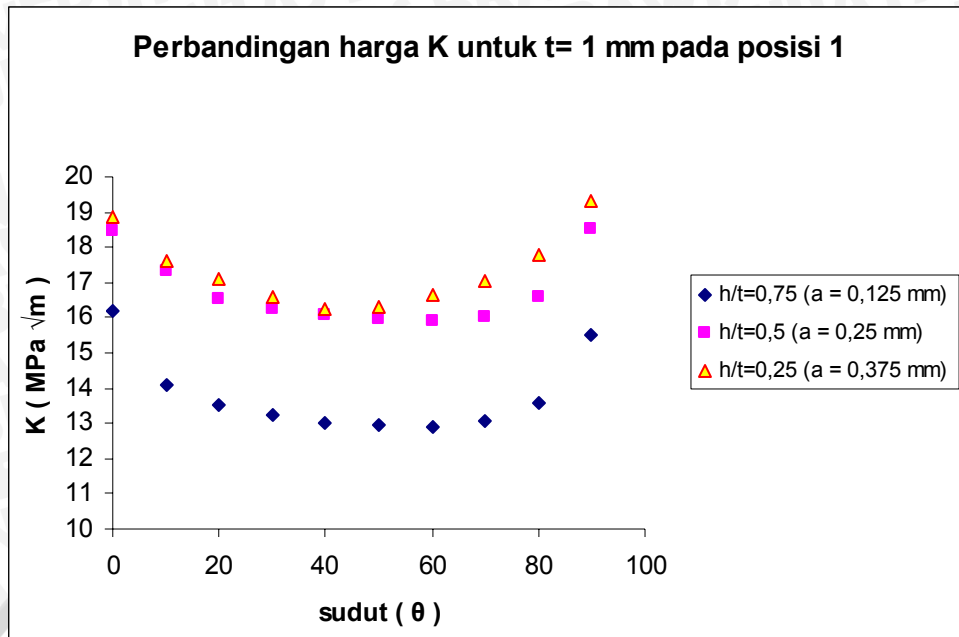
$$K = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F_{ch} \left( \frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \frac{r}{t}, \frac{r}{b}, \frac{c}{b}, \phi \right)$$

dimana semakin panjang retak ( $a$ ), maka harga

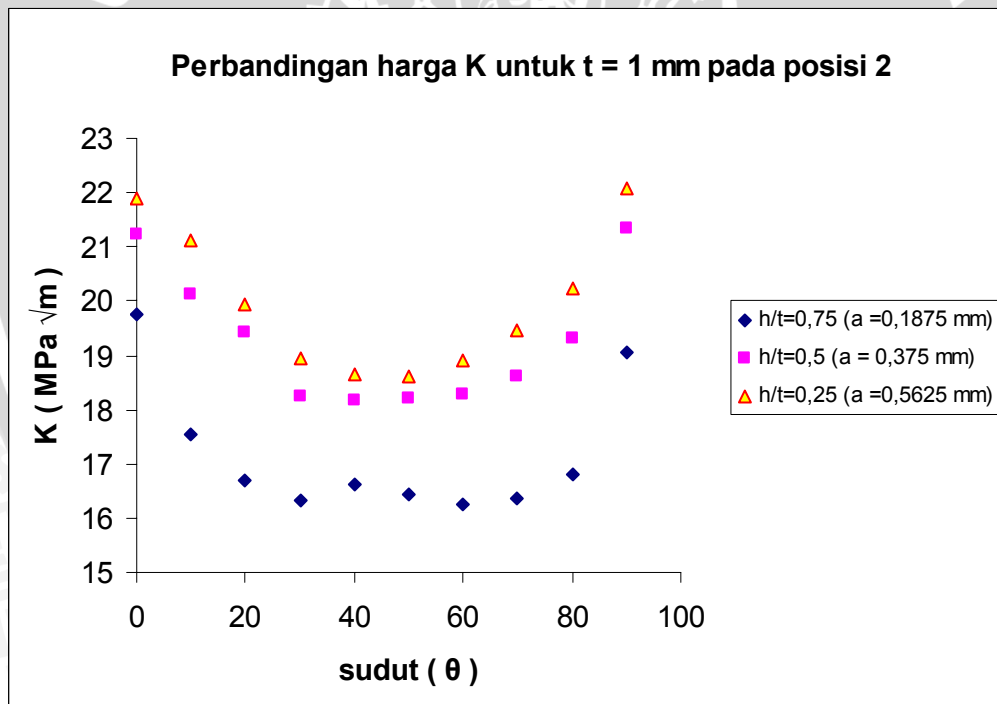
faktor intensitas tegangan juga bertambah. Dari keseluruhan grafik diatas juga dapat dilihat bahwa harga faktor intensitas tegangan cenderung turun terlebih dahulu kemudian naik lagi. Hal ini dikarenakan distribusi tegangan lebih besar terjadi pada ujung *elliptical crack* ( $\theta = 0^0$  dan  $\theta = 90^0$ ) dibandingkan daerah lain sepanjang *elliptical crack front*. Pada daerah tersebut distribusi tegangan yang terjadi lebih besar karena adanya konsentrasi tegangan pada ujung *elliptical crack* yang mana terjadi *intersection* antara *crack front* dan daerah batas *elliptical crack* (lihat lampiran B).

### 3. Pengaruh rasio kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) terhadap faktor intensitas tegangan

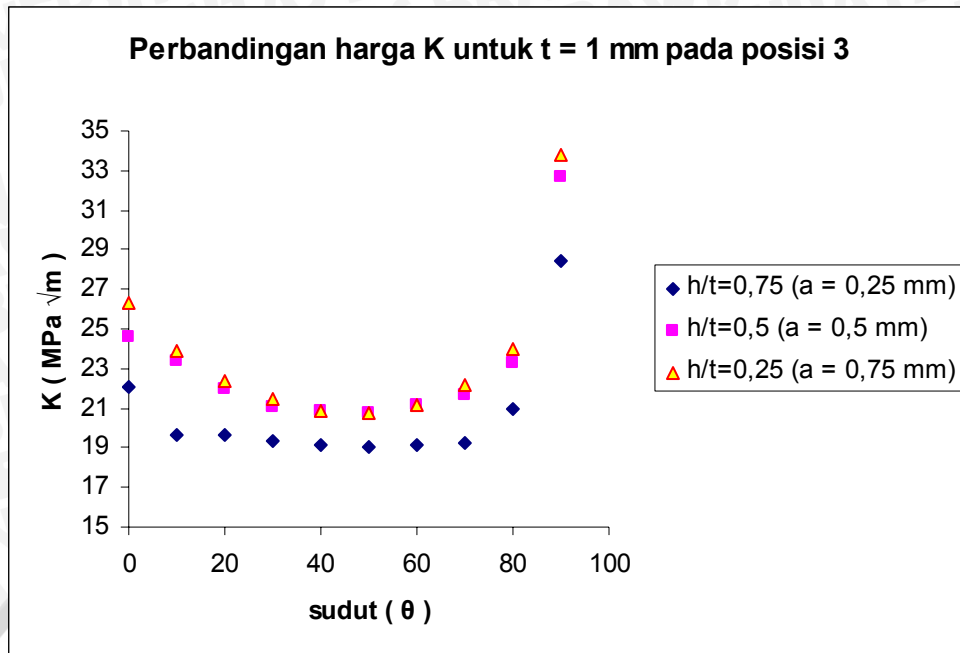
Perbandingan hasil perhitungan faktor intensitas tegangan pada *sheet* untuk variasi kedalaman *chamfering*  $h/t = 0.25$ ;  $0.5$ ; dan  $0.75$  untuk masing-masing tebal *sheet* adalah dalam grafik berikut :



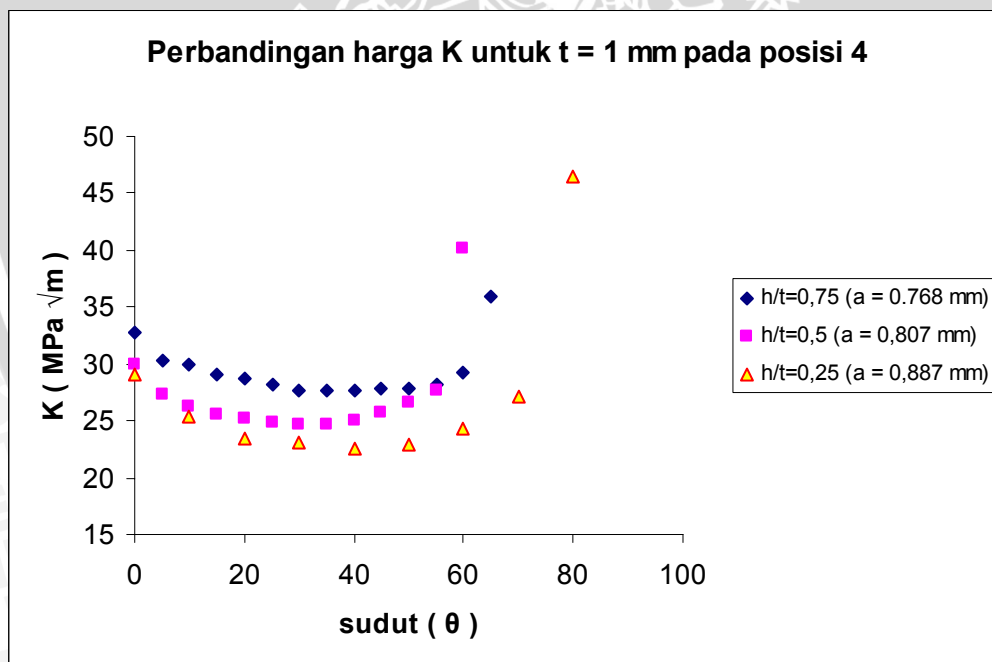
Grafik 4.11 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 1 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5$ ; dan  $0,75$ ;  $t=1$  mm



Grafik 4.12 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 2 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5$ ; dan  $0,75$ ;  $t=1$  mm

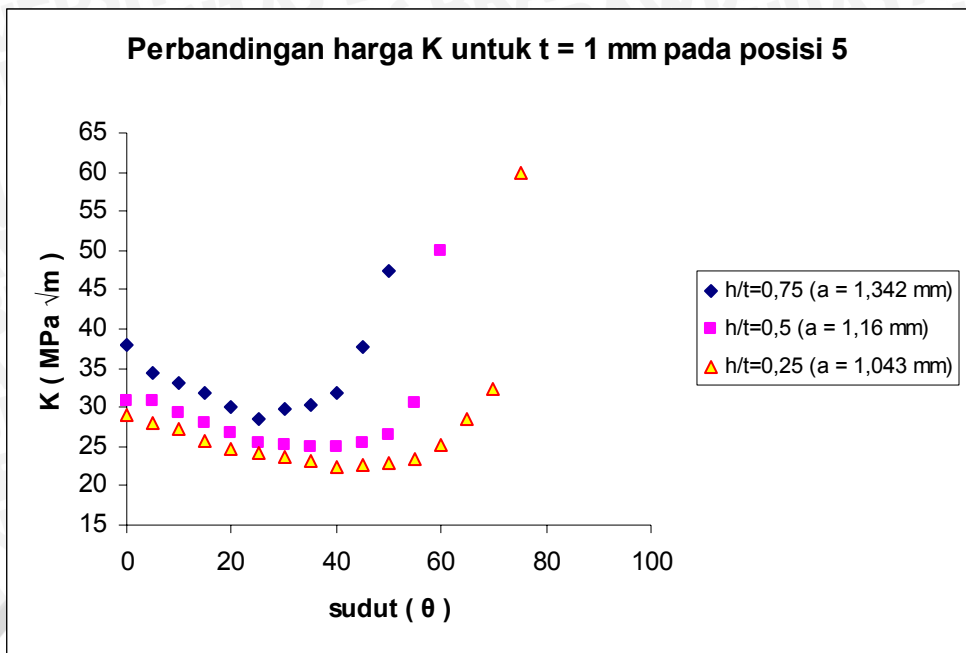


Grafik 4.13 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 3 dengan variasi  $h/t = 0,25$ ;  $0,5$ ; dan  $0,75$ ;  $t=1$  mm

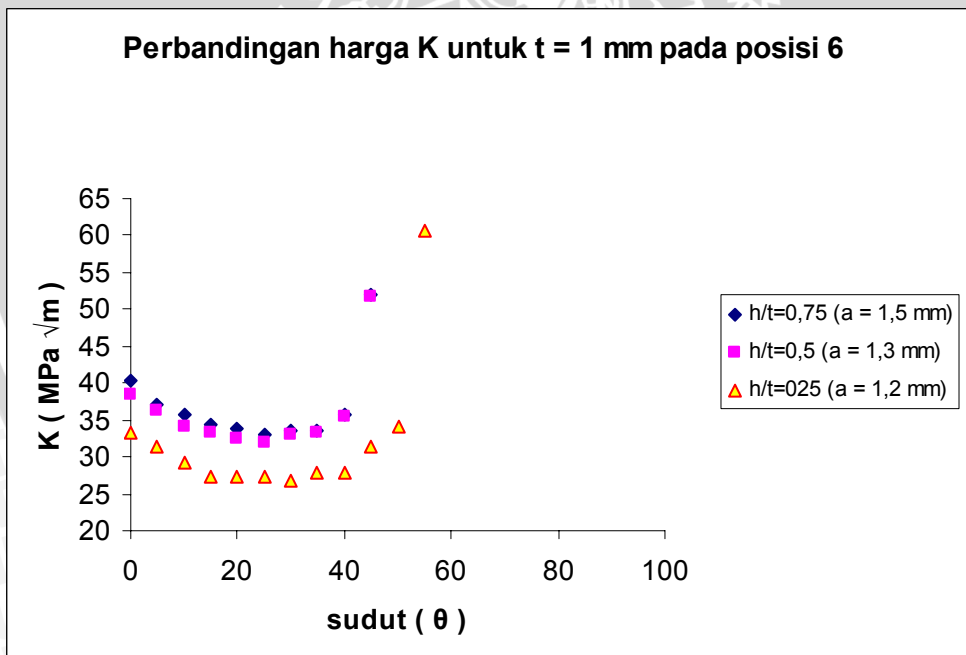


Grafik 4.14 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 4 dengan variasi  $h/t = 0,25$ ;  $0,5$ ; dan  $0,75$ ;  $t=1$  mm

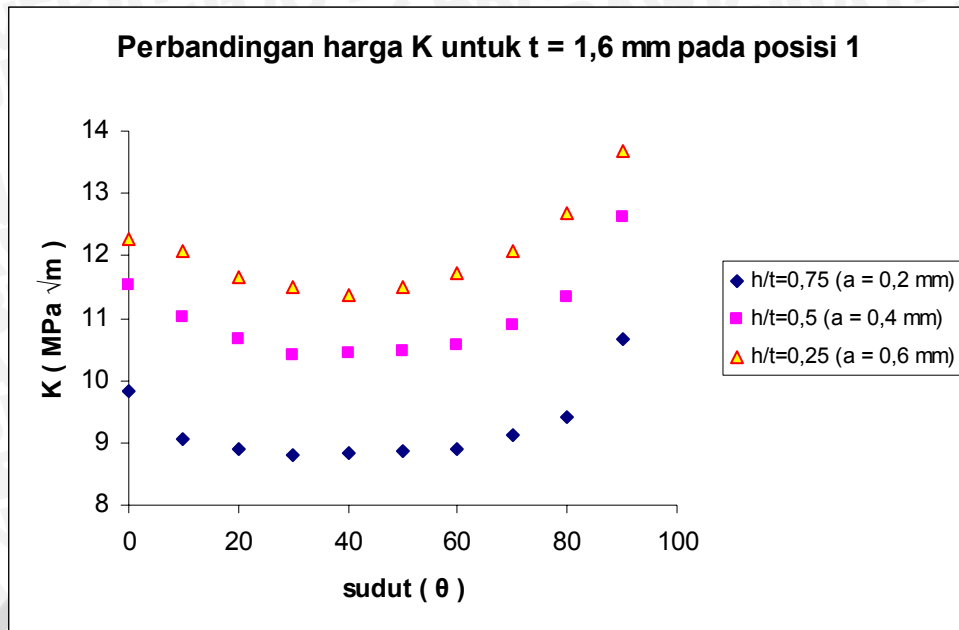




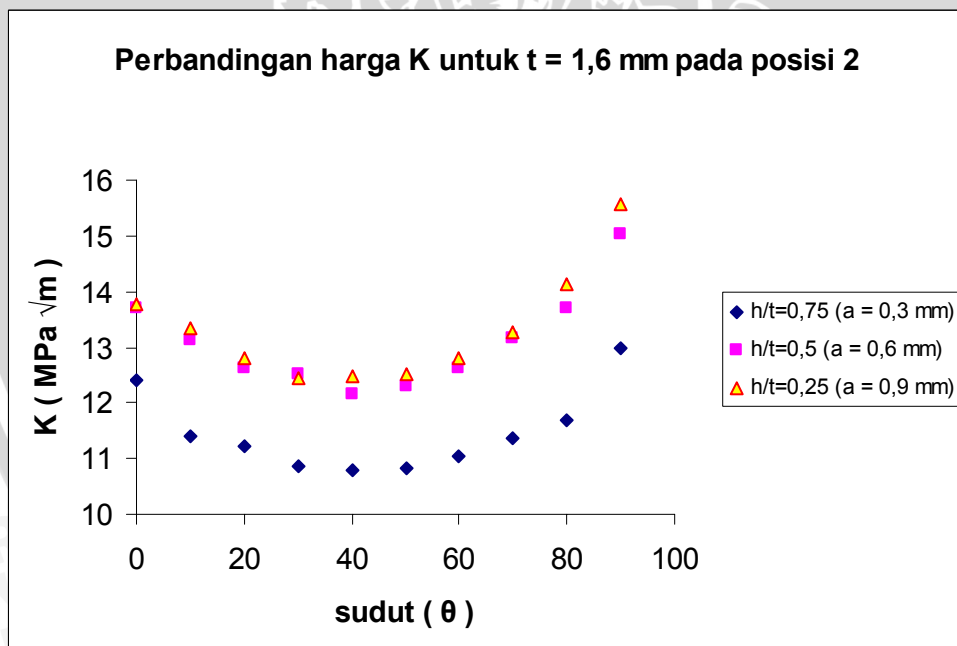
Grafik 4.15 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 5 dengan variasi h/t = 0,25; 0,5; dan 0,75; t=1 mm



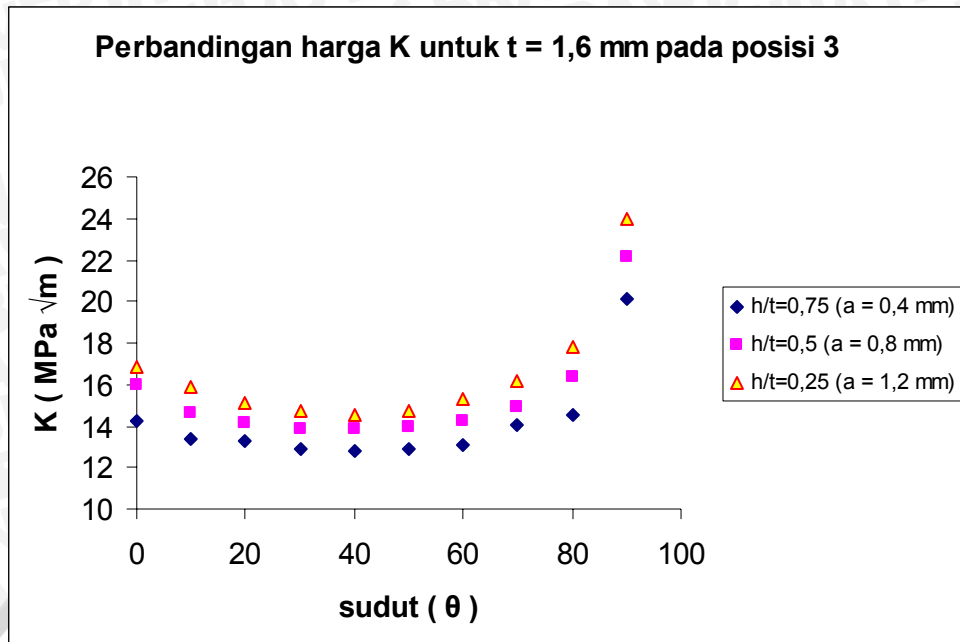
Grafik 4.16 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 6 dengan variasi h/t = 0,25; 0,5; dan 0,75; t=1 mm



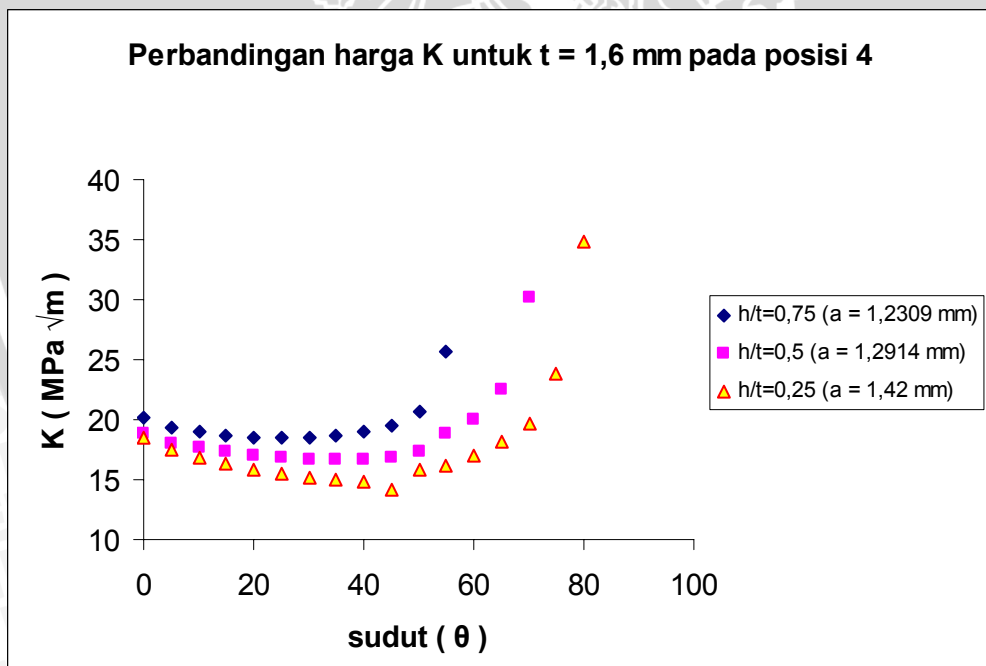
Grafik 4.17 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 1 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=1,6$  mm



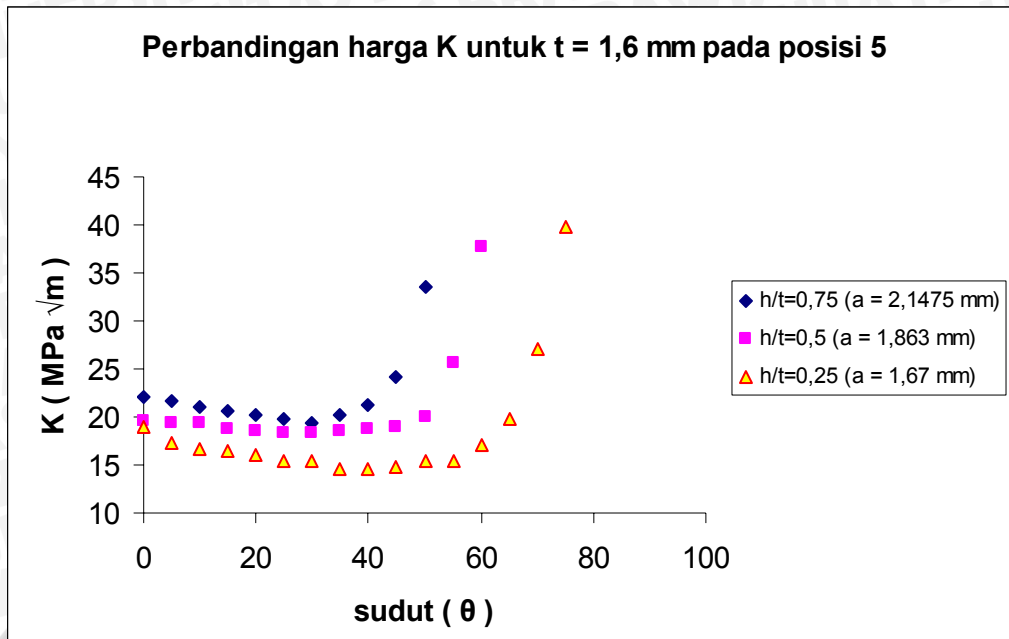
Grafik 4.18 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 2 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=1,6$  mm



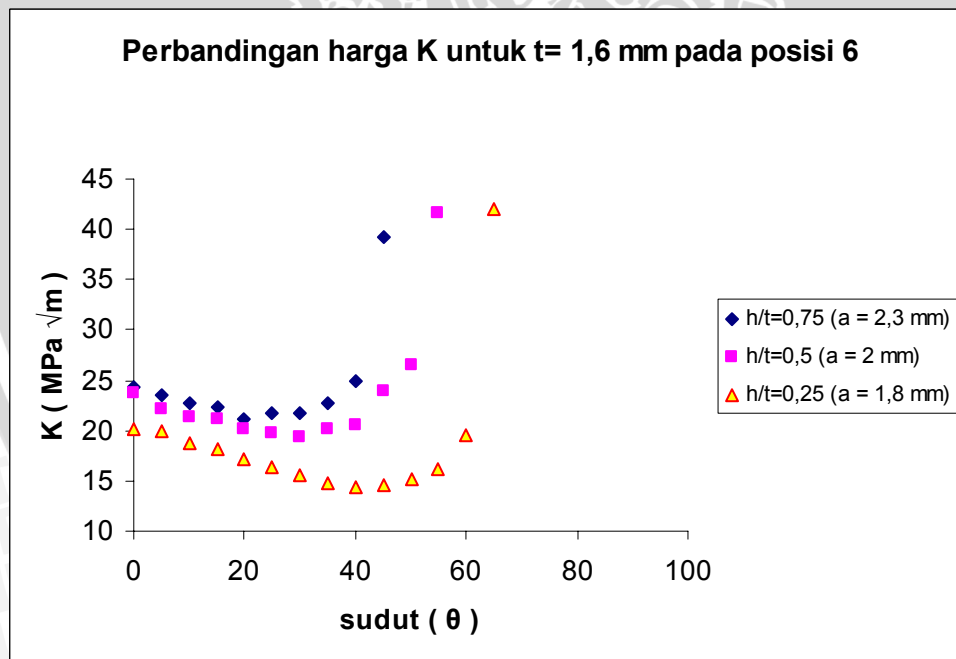
Grafik 4.19 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 3 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=1,6$  mm



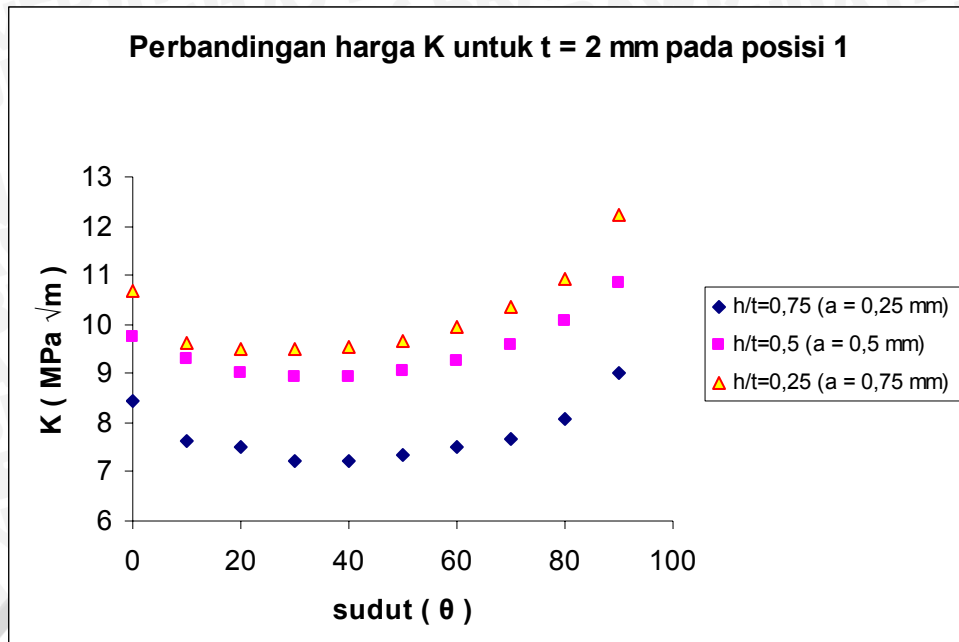
Grafik 4.20 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 4 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5, \text{ dan } 0,75; t=1,6$  mm



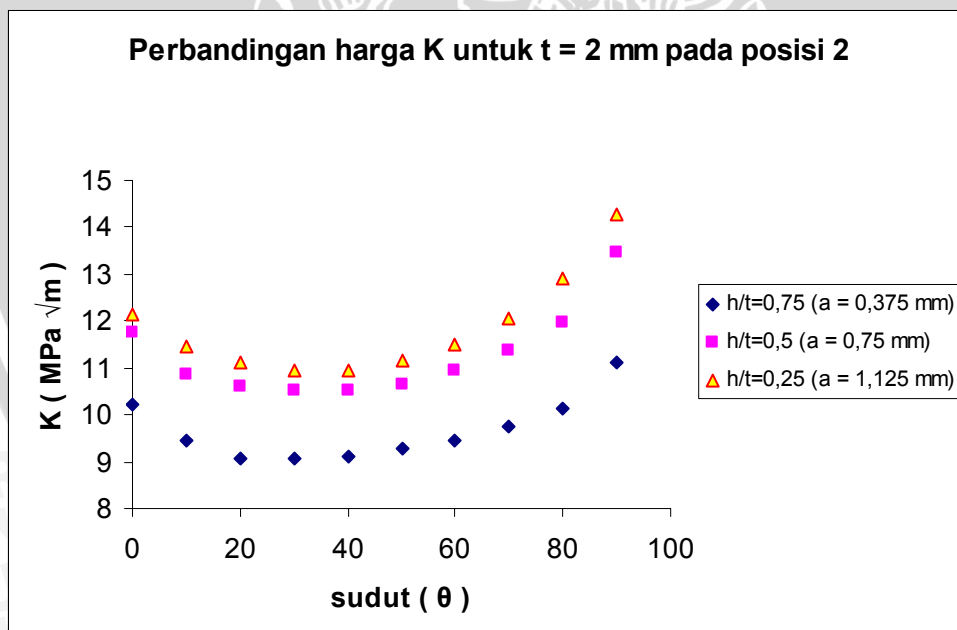
Grafik 4.21 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 5 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=1,6$  mm



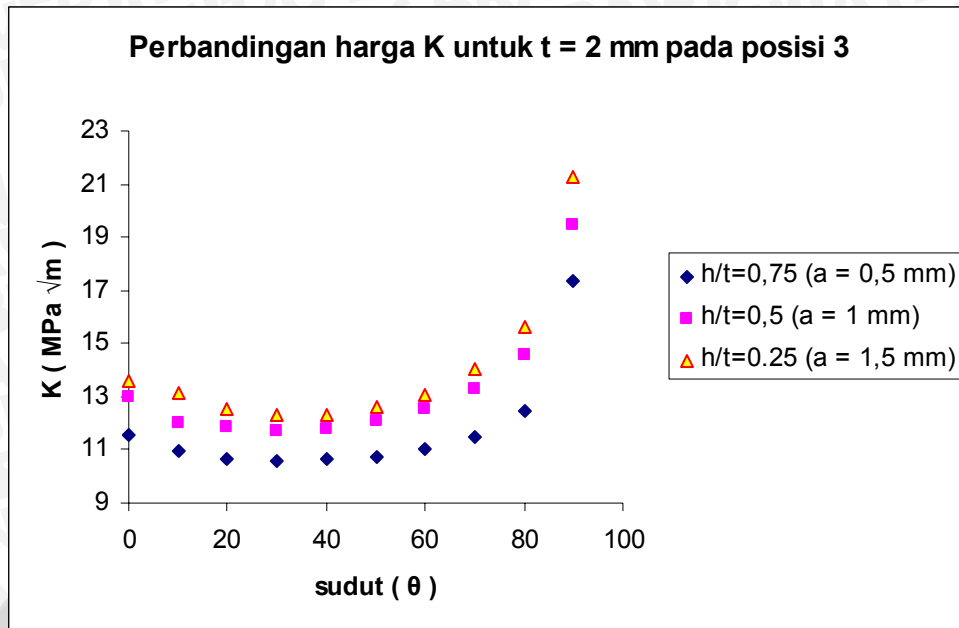
Grafik 4.22 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 6 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=1,6$  mm



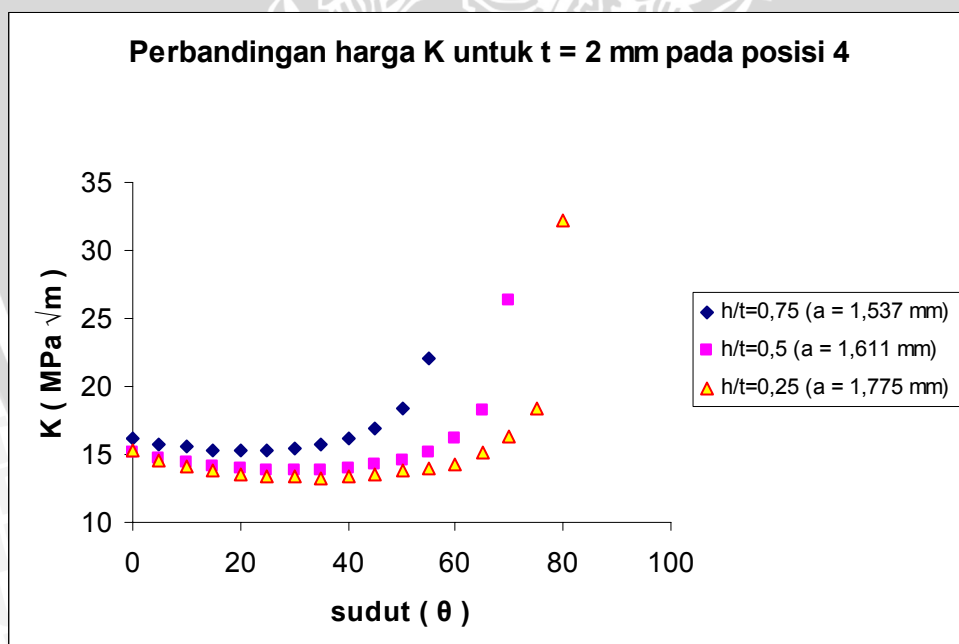
Grafik 4.23 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 1 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t = 2$  mm



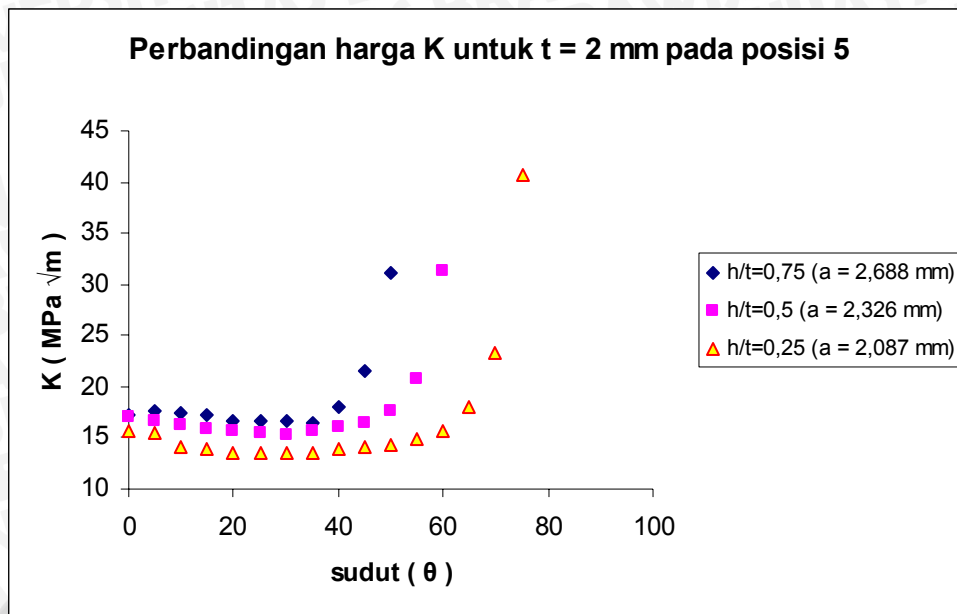
Grafik 4.24 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 2 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t = 2$  mm



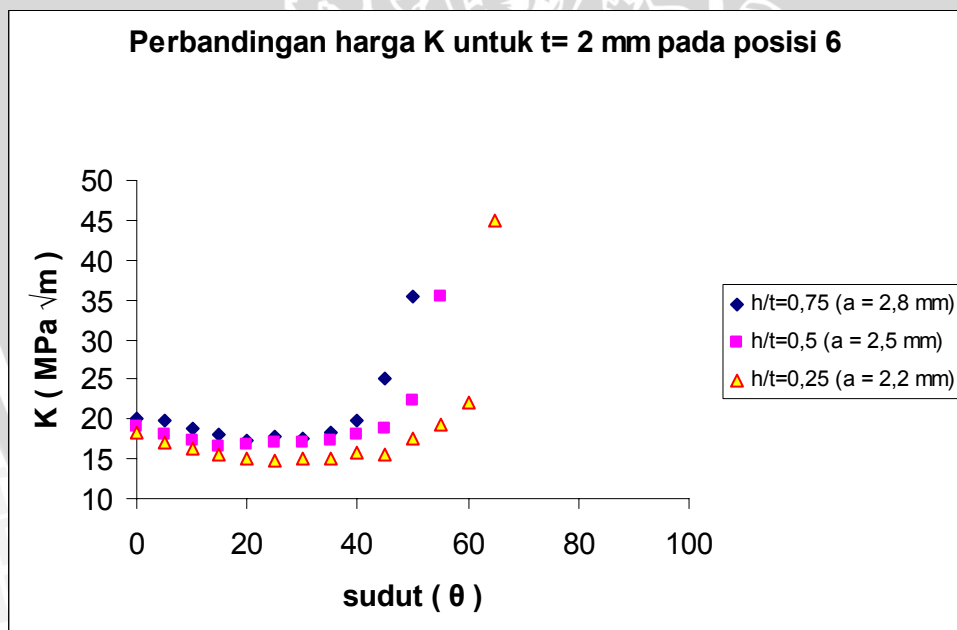
Grafik 4.25 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 3 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t = 2$  mm



Grafik 4.26 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 4 dengan variasi  $h/t = 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t = 2$  mm



Grafik 4.27 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 5 dengan variasi h/t = 0,25; 0,5; dan 0,75; t= 2 mm



Grafik 4.28 Perbandingan faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 6 dengan variasi h/t = 0,25; 0,5; dan 0,75; t= 2 mm

Dari keseluruhan grafik perbandingan harga faktor intensitas tegangan untuk masing-masing kedalaman *chamfering* diatas, dapat dilihat pada posisi 1, 2, dan 3 untuk masing-masing tebal *sheet* harga faktor intensitas tegangan memiliki kecenderungan yang sama yaitu dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering* dari *sheet*, maka harga faktor intensitas tegangan juga bertambah untuk setiap sudut  $\theta$ . Namun pada

posisi 3, 4, dan 5 kecenderungan yang sama dengan posisi 1, 2, dan 3 hanya terjadi pada sudut  $\theta = \theta_{maks}$ . Pada sudut  $\theta < \theta_{maks}$ , kecenderungan harga faktor intensitas tegangan yang terjadi adalah merupakan kebalikannya yaitu dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*, harga faktor intensitas tegangan justru semakin turun untuk setiap sudut  $\theta$ .

Pada posisi 1, 2, dan 3 kecenderungan tersebut terjadi karena dengan bertambahnya posisi *crack*, maka panjang retak ( $a$ ) juga bertambah. Selain itu dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*, maka besarnya beban pada *chamfering area* juga bertambah. Sesuai dengan rumusan Faktor intensitas tegangan yaitu

$K = \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} F_{ch} \left( \frac{a}{c}, \frac{a}{t}, \frac{r}{t}, \frac{r}{b}, \frac{c}{b}, \phi \right)$  dengan bertambahnya panjang retak ( $a$ ) dan beban

( $\sigma$ ), maka harga faktor intensitas tegangan juga akan bertambah. Namun pada posisi 4, 5, dan 6, panjang retak tidak terlalu berpengaruh pada besarnya harga faktor intensitas tegangan karena panjang retak untuk masing-masing rasio kedalaman *chamfering* pada posisi yang sama, relatif tidak jauh berbeda. Sesuai dengan rumusan faktor bentuk dari material yaitu

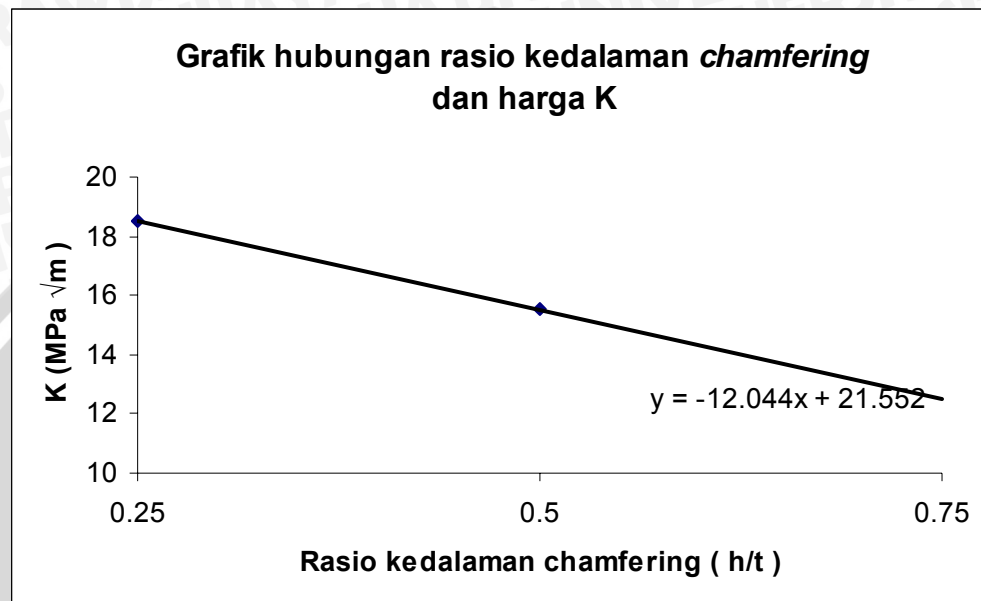
$F_{ch} = \left[ M_1 + M_2 \left( \frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left( \frac{a}{t} \right)^4 \right] g_1 g_2 g_3 g_4 f_\phi f_w$  dimana terdapat

parameter ( $a/t$ ) yang pada posisi 4, 5, dan 6 memiliki harga yang hampir sama untuk masing-masing rasio kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) sehingga panjang retak ( $a$ ) tidak terlalu berpengaruh terhadap besarnya harga  $K$ . Pada posisi ini, dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*, maka jarak dari sumber beban ke daerah sudut  $\theta$  terkecil akan semakin jauh sehingga tegangan yang terdistribusi sepanjang *crack front* akan semakin kecil seiring dengan berkurangnya sudut  $\theta$  dan kemudian naik sedikit karena adanya konsentrasi tegangan pada  $\theta = 0^\circ$  (lihat lampiran B). Selain itu, harga faktor intensitas tegangan juga dipengaruhi oleh adanya konsentrasi tegangan pada ujung dari *chamfering area* karena distribusi tegangan akan terpusat pada pertemuan *chamfering area* dengan daerah yang lurus (lihat lampiran B). Dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*, maka luas *chamfering area* akan berkurang. Dengan berkurangnya luas *chamfering area* ini, maka jarak antara *crack front* dan titik pertemuan *chamfering area* dan daerah yang lurus semakin berdekatan. Daerah yang paling dekat dengan titik tersebut adalah pada sudut  $\theta = \theta_{maks}$ , sehingga distribusi tegangan pada sudut  $\theta = \theta_{maks}$  akan semakin bertambah seiring bertambahnya rasio kedalaman *chamfering* yang ditunjukkan oleh  $h/t$  (lihat lampiran B).



#### 4. Hubungan Rasio kedalaman chamfering ( $h/t$ ) dan faktor intensitas tegangan

Dari keseluruhan grafik diatas, diambil salah satu grafik untuk melihat hubungan antara rasio kedalaman *chamfering* dan besarnya faktor intensitas tegangan. Dari grafik 4.11 untuk harga  $\theta = \theta_{maks}$ , hubungan antara rasio kedalaman *chamfering* dan faktor intensitas tegangan dapat dilihat pada grafik berikut :



Grafik 4.29 Grafik hubungan kedalaman chamfering dan faktor intensitas tegangan pada  $\theta = \theta_{maks}$  dan  $t = 1$  mm.

Dari grafik 4.29 diatas, dapat dilihat bahwa kecenderungan harga K semakin berkurang seiring dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*. Dan dari grafik ini bisa dilihat bahwa hubungan antara rasio kedalaman *chamfering* dan faktor intensitas tegangan bersifat linier dengan persamaan  $y = -12,044x+21,552$ . Kecenderungan bentuk linier ini juga berlaku untuk semua variasi rasio kedalaman chamfering dan tebal plat dimana dengan bertambahnya rasio kedalaman *chamfering*, maka harga K akan semakin berkurang.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Dari keseluruhan harga faktor intensitas tegangan untuk masing-masing kedalaman *chamfering*, memiliki kecenderungan turun terlebih dahulu kemudian naik seiring dengan bertambahnya sudut  $\theta$ . Hal ini dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang lebih besar pada ujung-ujung *elliptical crack* ( $\theta = 0^\circ$  dan  $\theta = 90^\circ$ ). Untuk masing-masing kedalaman *chamfering* dan tebal plat, besarnya harga faktor intensitas tegangan terbesar terjadi pada posisi *crack* 6, kemudian diikuti oleh posisi 5, 4, 3, 2, dan 1. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya posisi *crack*, maka panjang retak juga akan bertambah. Sehingga harga Faktor intensitas tegangan juga bertambah. Kecenderungan tersebut berlaku untuk semua variasi kedalaman *chamfering* dan tebal plat.
2. Dari hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan pada *countersunk rivet hole* untuk masing-masing variasi kedalaman *chamfering*, dapat dilihat hubungan antara kedalaman *chamfering* pada *countersunk rivet hole* dan faktor intensitas tegangan. Pada posisi *crack* 1, 2, dan 3 dengan bertambahnya kedalaman *chamfering*, maka harga faktor intensitas tegangan semakin berkurang untuk posisi *crack* dan tebal plat yang sama. Sedangkan pada posisi 4, 5, dan 6 merupakan kebalikannya yaitu pada daerah sudut  $\theta < \theta_{maks}$ . Pada posisi ini, dengan semakin bertambahnya kedalaman *chamfering*, maka harga K semakin bertambah. Pada daerah  $\theta = \theta_{maks}$  pada posisi 4, 5, dan 6, kecenderungan harga K sama seperti pada posisi 1, 2, dan 3. Kecenderungan tersebut sama untuk semua variasi tebal plat. Dan dari keseluruhan hubungan kedalaman *chamfering* dan faktor intensitas tegangan didapatkan bahwa dengan bertambahnya kedalaman *chamfering*, maka harga K akan semakin berkurang.

### 5.2 Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian dengan menambahkan adanya pengaruh dari luar seperti pengaruh temperatur dan korosi.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. *Boeing Description*. [www.boeing.com](http://www.boeing.com)

Anonim. *Chapter 2 : Literature Review*. Courtesy of LPS Laboratories, Inc.  
[www.library.unsw.edu.au/~thesis/adtADFA/uploads/approved/adtADFA20050819.111957/public/03chapter2.pdf](http://www.library.unsw.edu.au/~thesis/adtADFA/uploads/approved/adtADFA20050819.111957/public/03chapter2.pdf)

ANSYS Rel. 9.0. 2004. *Ansys Release 9.0 Documentation*. Ansys, Inc.

Banantine, Julie .A.1990. *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*. Prentice Hall.  
Engewood Cliffs, New Jersey.

Broek, David. 1989. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. Sijthoff &  
Noordhoff International Publisher B.V.. Alphen aan den Rijn, The netherland.

Christy, Joe. 1984. *Aircraft Construction : Repair and Inspection*. TAB Books.

de Rijk, J.J.M and Fawaz, S.A. 2003. *Stress Intensity Factor for Countersunk  
Holes Subjected to Tension & Bending*. Sixth Joint DoD/FAA/NASA Conference  
on Aging Aircraft.  
[www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/SESSIONS/9/9A2\\_DERIJCK.PDF](http://www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/SESSIONS/9/9A2_DERIJCK.PDF)

Dobrovolsky, V. 1985. *Machine Elements*. Peace Publishers Moscow

Hibbeler, R.C. 2001. *Engineering Mechanics : Statics*. Prentice Hall International.

Newman, J.C. and Raju, I.S. 1984. *Stress Intensity Factor Equation for Cracks in  
Three Dimensional Finite Bodies Subjected to Tension and Bending Loads*. NASA  
Technical Memorandum 85793. NASA, April 1984.  
[www.ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19840015857\\_1984015857.pdf](http://www.ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19840015857_1984015857.pdf)

Spotts,M.F., Shoup,T.E. and Hornberger,L.E.. 2004. *Design of Machine Elements*.  
Pearson Prentice Hall.

Lampiran A. *Material Properties* Aluminium Clad 2024-T3• **Komposisi Kimia :**

Al	: 90.7 - 94.7 %	Mn	: 0.3 – 0.9 %
Cr	: Max 0.1 %	Si	: Max 0.5 %
Cu	: 3.8 – 4.9 %	Ti	: Max 0.15 %
Fe	: Max 0.5 %	Zn	: Max 0.25 %
Mg	: 1.2 – 1.8 %		

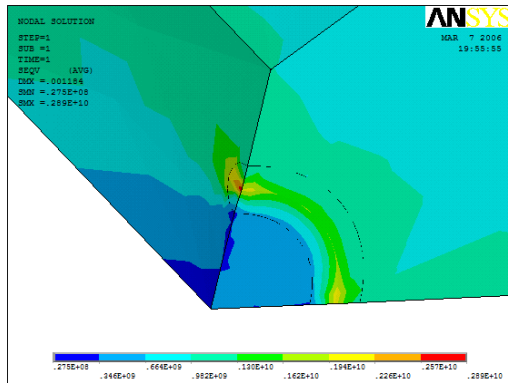
• **Sifat Fisik :**

Massa jenis	: 2.78 gr/cc
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	: 448 MPa
<i>Tensile Yield Strength</i>	: 310 MPa
Modulus Elastisitas	: 73.1 GPa

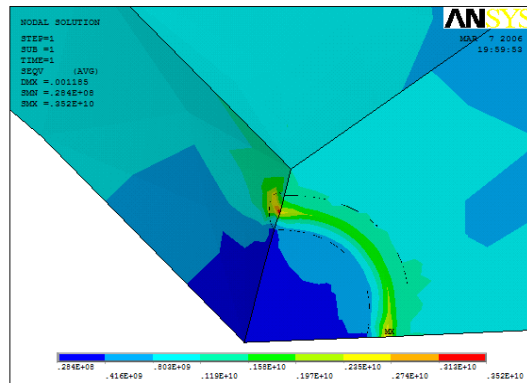
Sumber : [www.matweb.com](http://www.matweb.com)



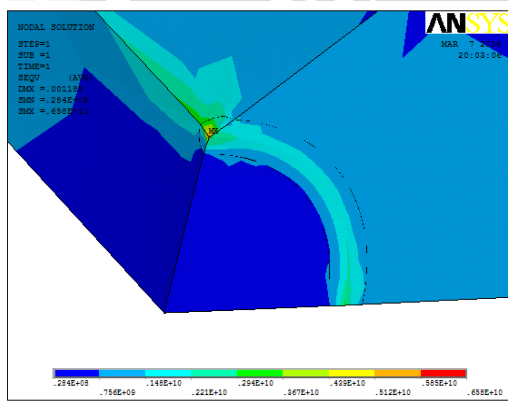
## Lampiran B. Plot hasil distribusi tegangan di sekitar ujung retak dengan ANSYS 9.0



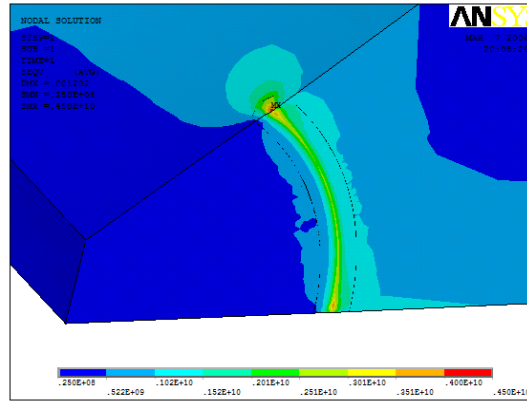
t = 1 mm; h/t = 0,25; posisi 1



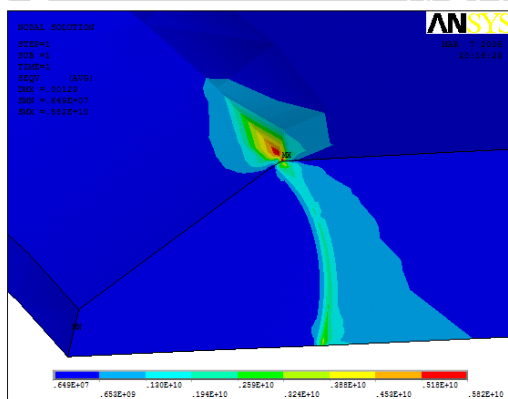
t = 1 mm; h/t = 0,25; posisi 2



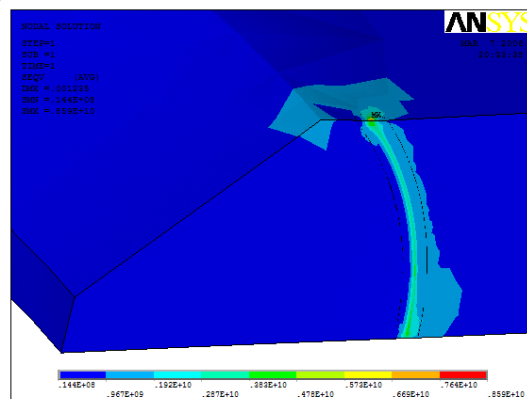
t = 1 mm; h/t = 0,25; posisi 3



t = 1 mm; h/t = 0,25; posisi 4

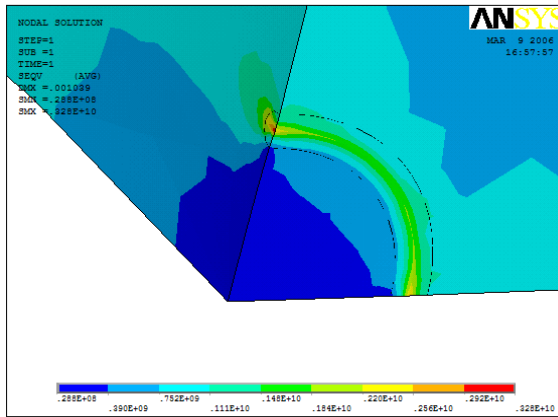


t = 1 mm; h/t = 0,25; posisi 5

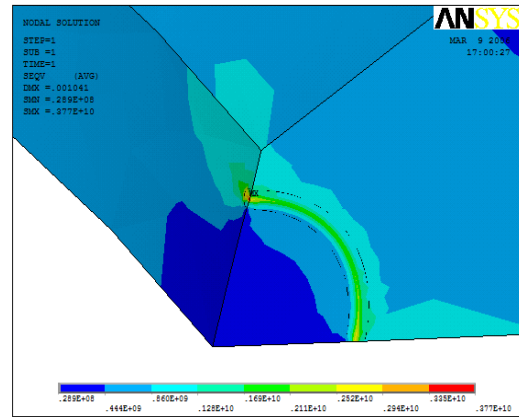


t = 1 mm; h/t = 0,25; posisi 6

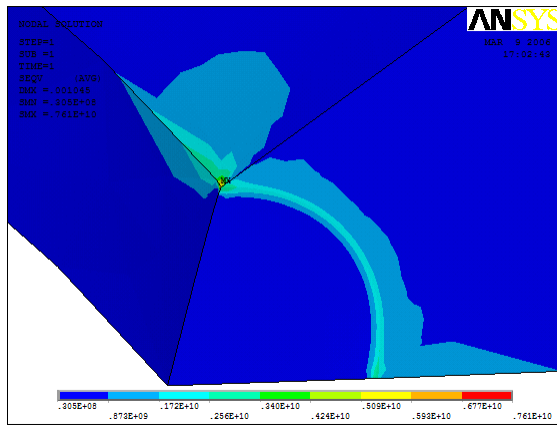
Gambar 1. Distribusi tegangan pada sheet dengan h/t = 0,25; t = 1 mm; posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6



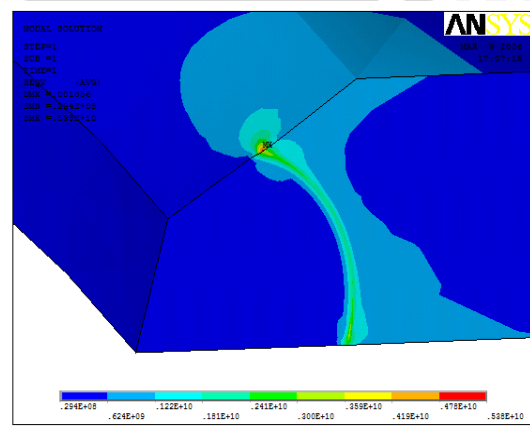
$t = 1 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 1$



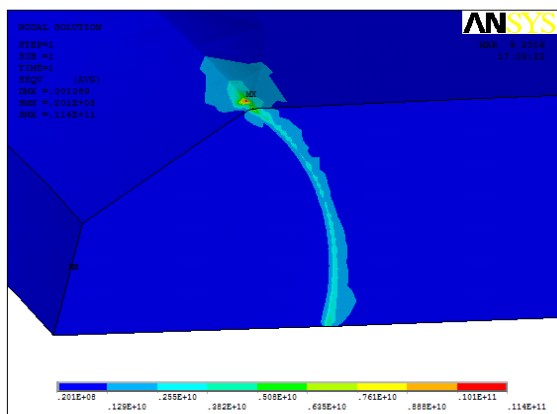
$t = 1 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 2$



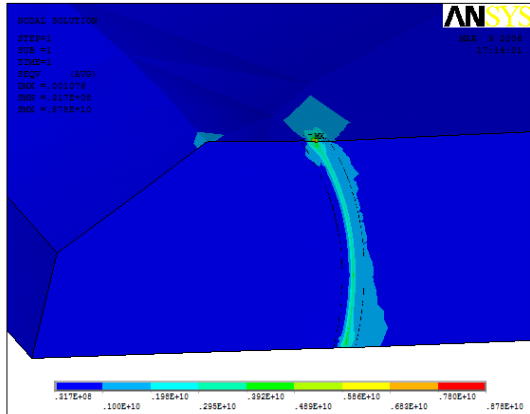
$t = 1 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 3$



$t = 1 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 4$

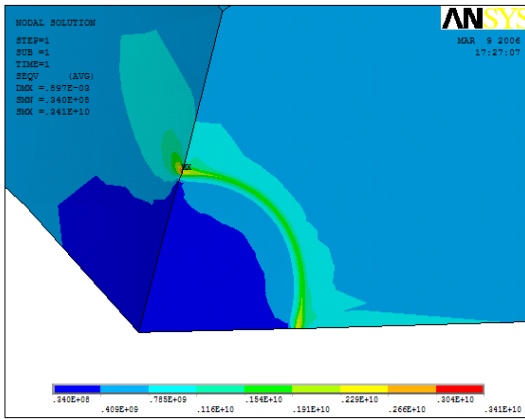


$t = 1 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 5$

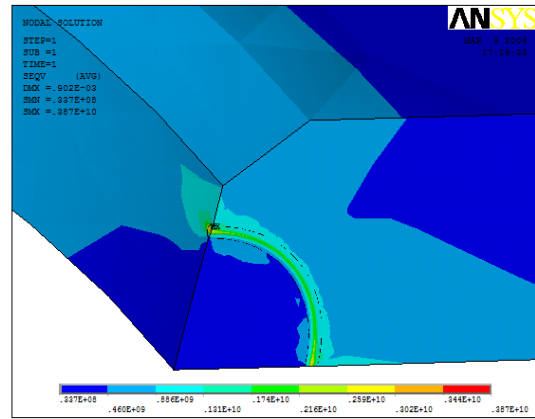


$t = 1 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 6$

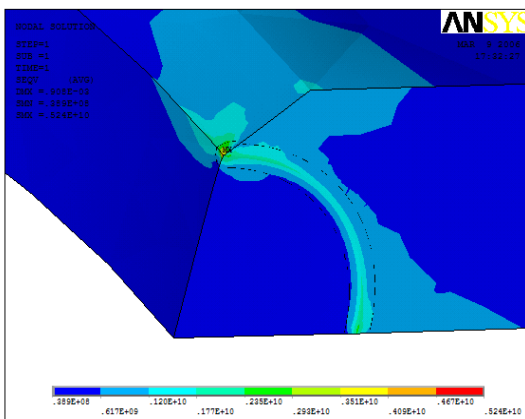
Gambar 2. Distribusi tegangan pada *sheet* dengan  $h/t = 0,5; t = 1 \text{ mm}$ ; posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6



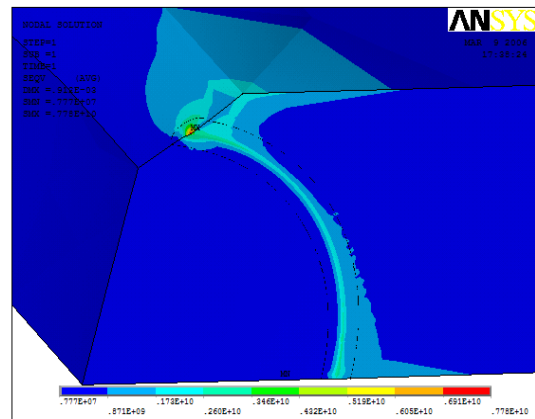
$t = 1 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 1



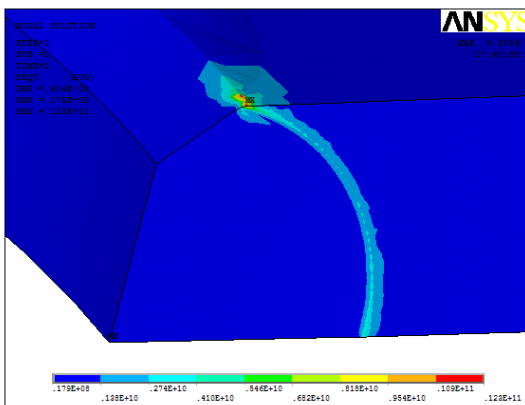
$t = 1 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 2



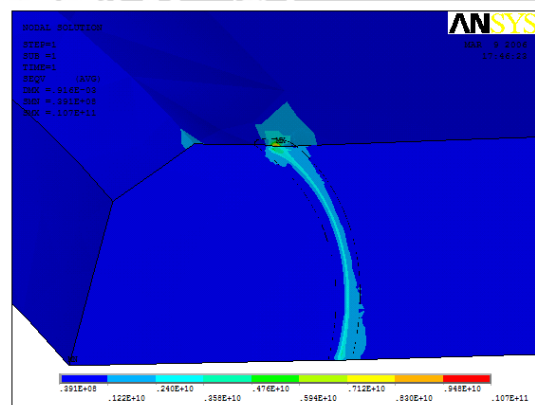
$t = 1 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 3



$t = 1 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 4



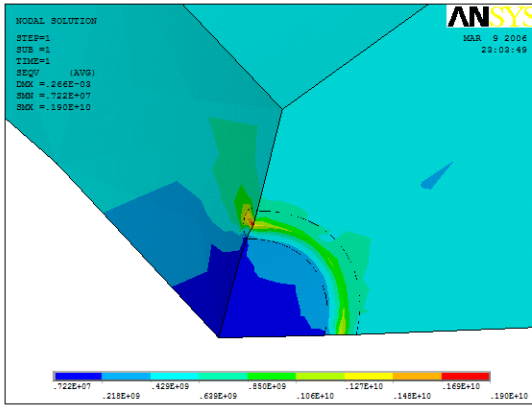
$t = 1 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 5



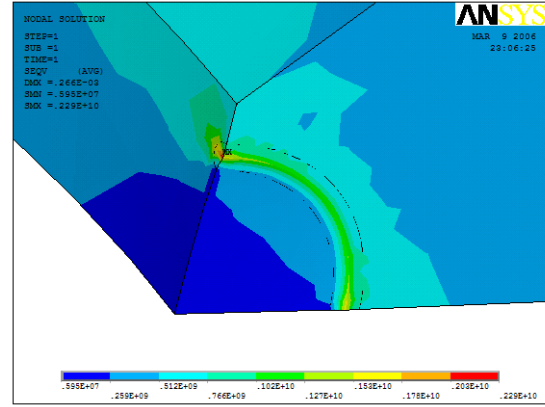
$t = 1 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 6

Gambar 3. Distribusi tegangan pada *sheet* dengan  $h/t = 0,75$ ;  $t = 1 \text{ mm}$ ; posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6

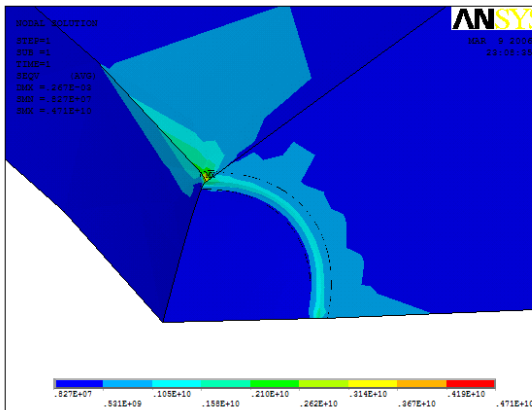




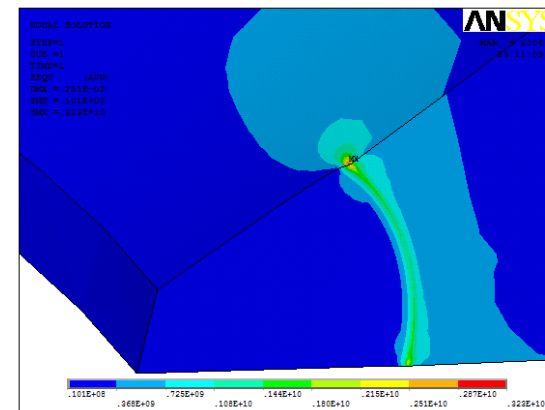
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 1}$



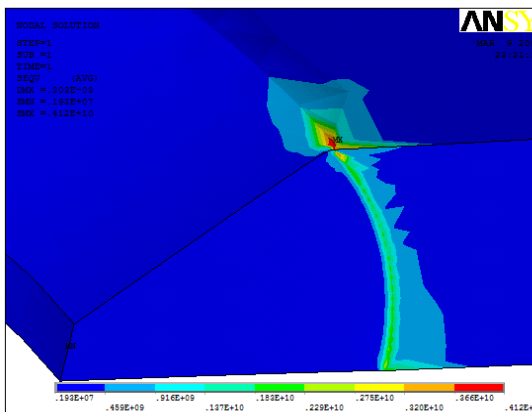
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 2}$



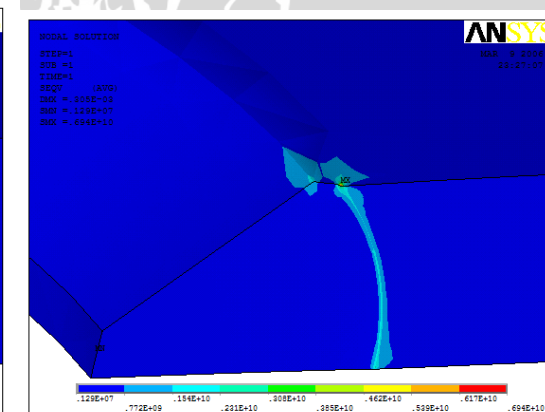
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 4}$



$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 5}$



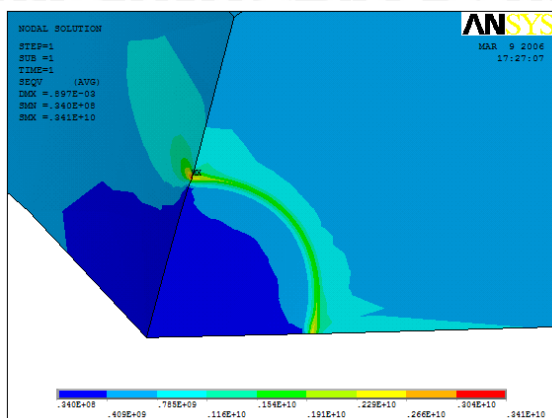
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 5}$



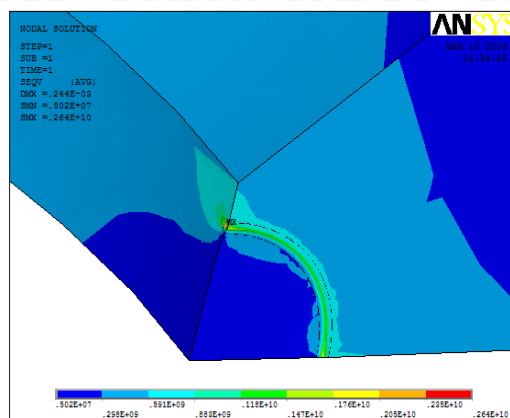
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 6}$

Gambar 4. Distribusi tegangan pada sheet dengan  $h/t = 0,25; t = 1.6 \text{ mm};$  posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6

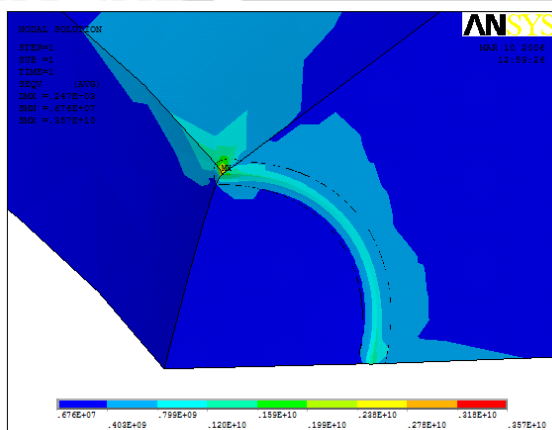




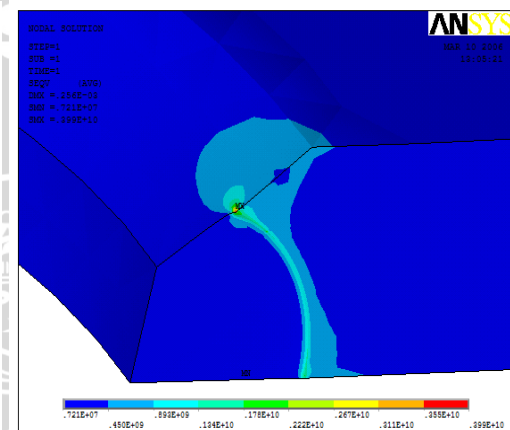
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi 1}$



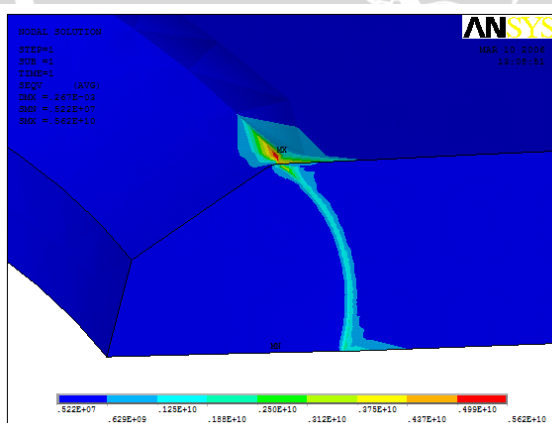
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi 2}$



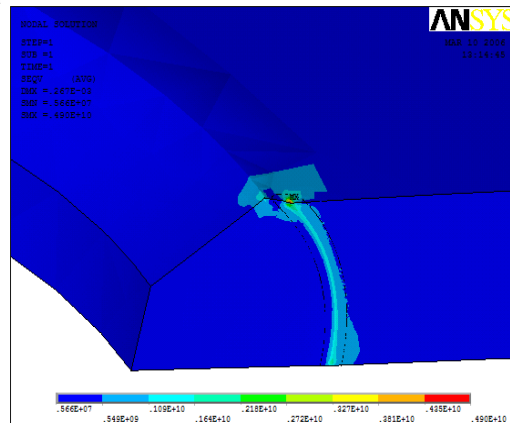
$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi 3}$



$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi 4}$

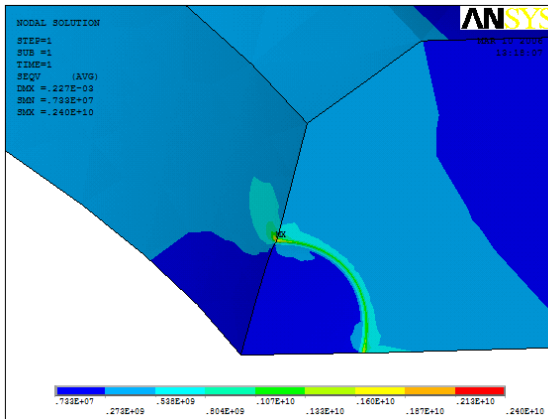


$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi 5}$

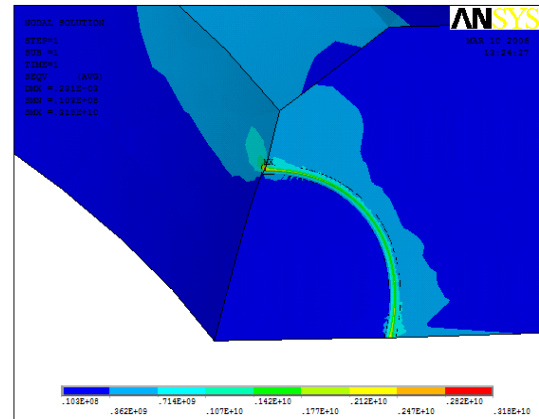


$t = 1,6 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi 6}$

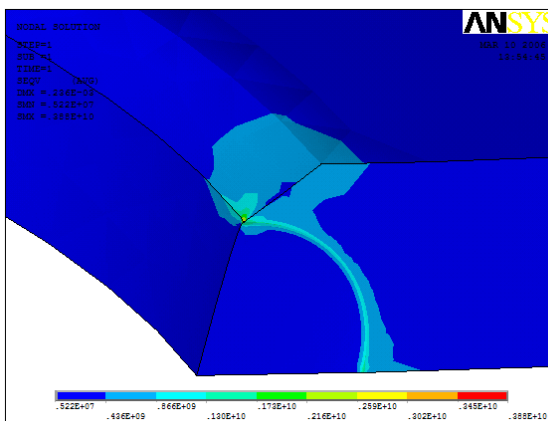
Gambar 5. Distribusi tegangan pada sheet dengan  $h/t = 0,5; t = 1.6 \text{ mm};$  posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6



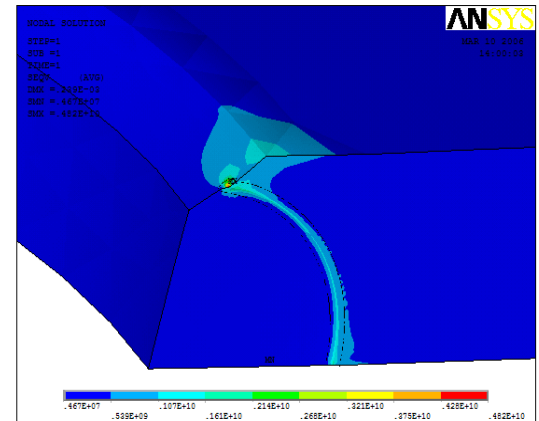
$t = 1,6 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 1



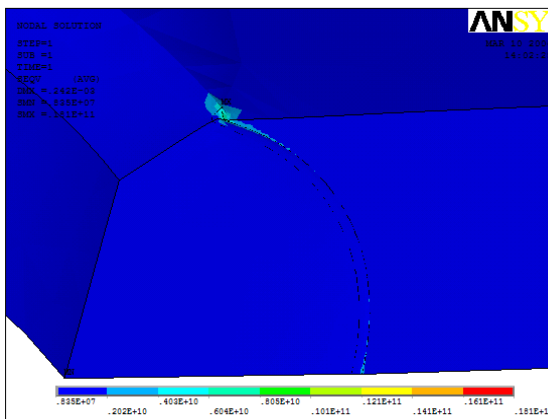
$t = 1,6 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 2



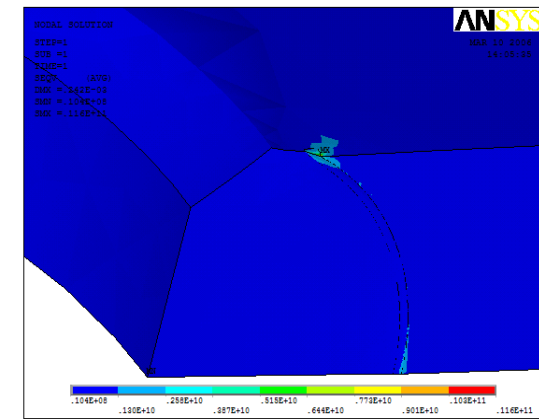
$t = 1,6 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 3



$t = 1,6 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 4

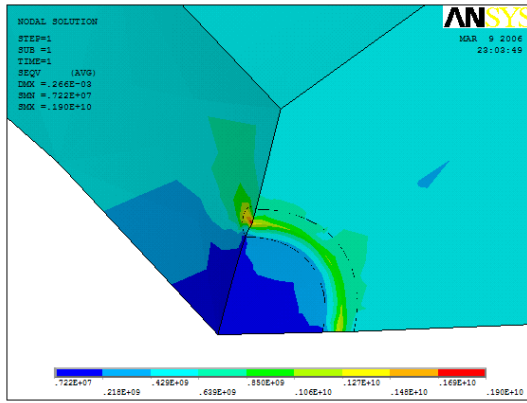


$t = 1,6 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 5

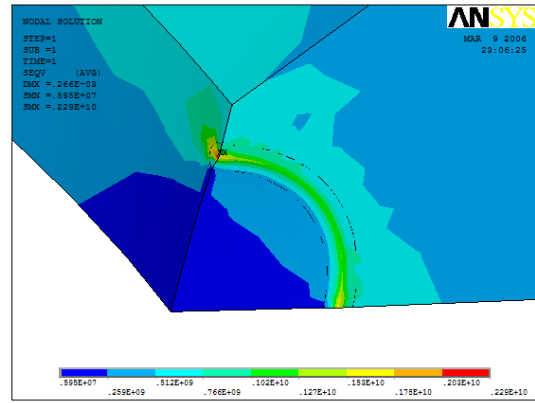


$t = 1,6 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 6

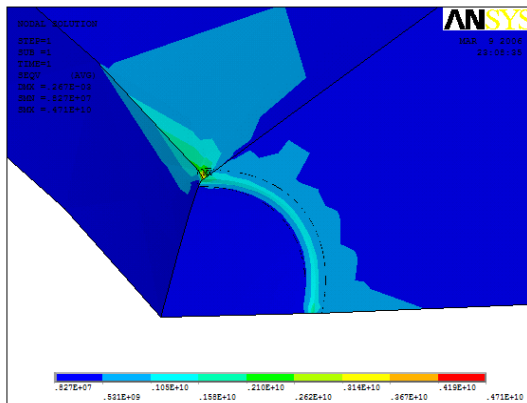
Gambar 6. Distribusi tegangan pada sheet dengan  $h/t = 0,75$ ;  $t = 1.6 \text{ mm}$ ; posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6



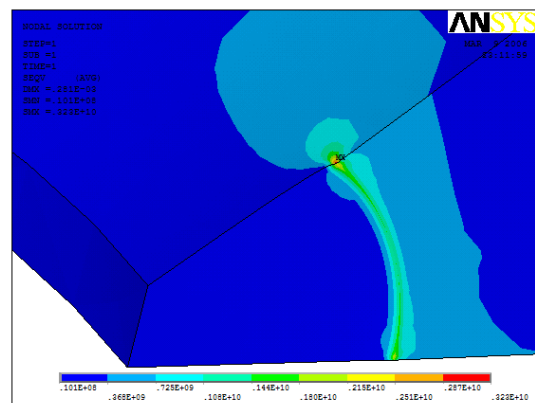
$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 1}$



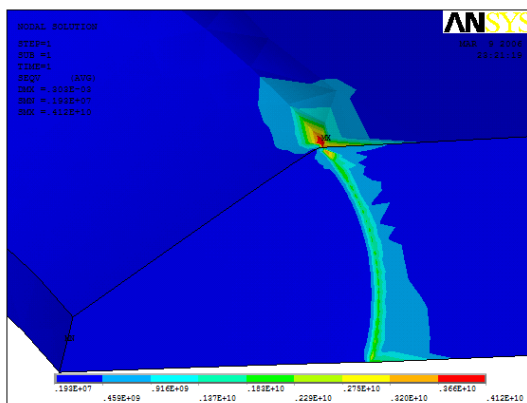
$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 2}$



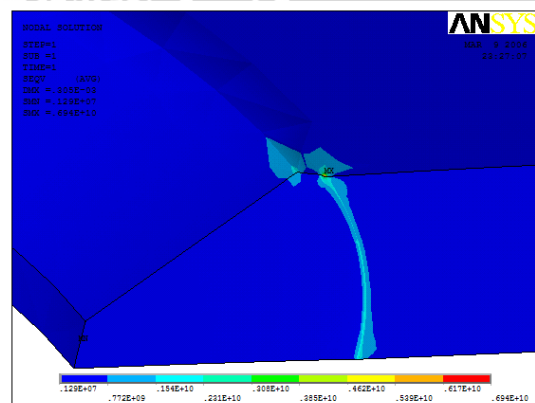
$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 3}$



$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 4}$

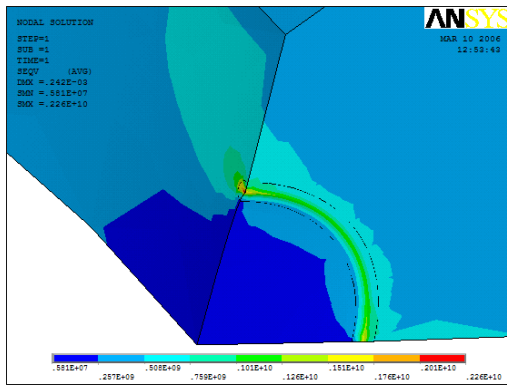


$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 5}$

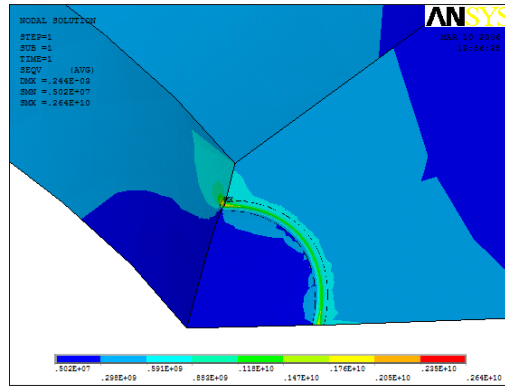


$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,25; \text{posisi 6}$

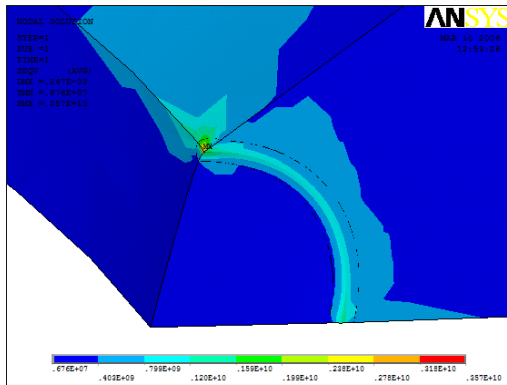
Gambar 7. Distribusi tegangan pada sheet dengan  $h/t = 0,25; t = 2 \text{ mm};$  posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6



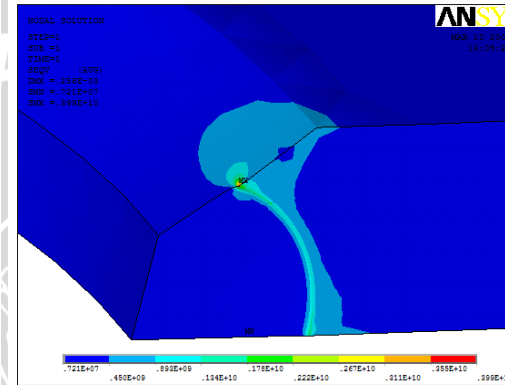
$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 1$



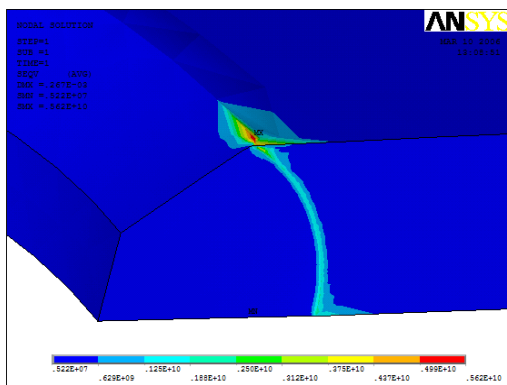
$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 2$



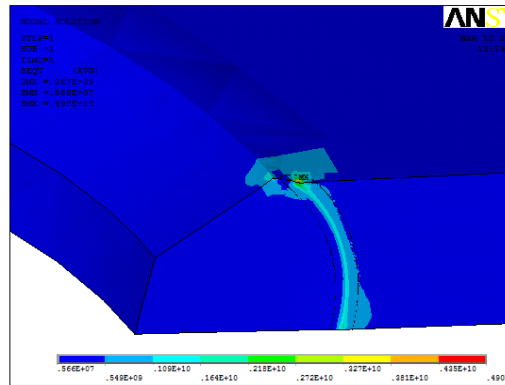
$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 3$



$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 4$

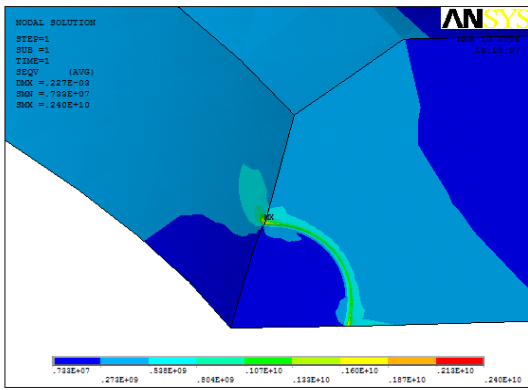


$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 5$

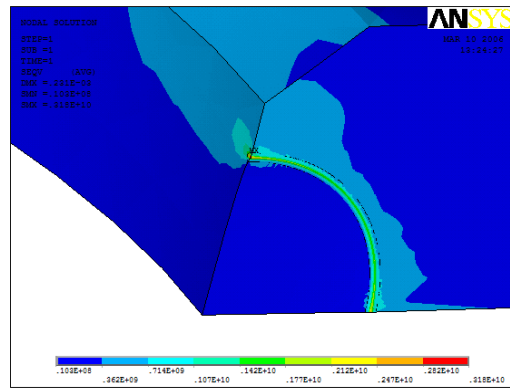


$t = 2 \text{ mm}; h/t = 0,5; \text{posisi } 6$

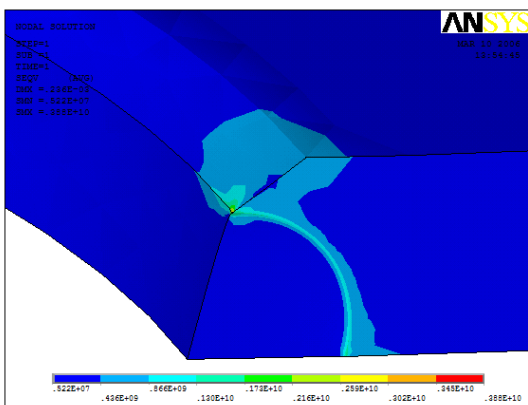
Gambar 8. Distribusi tegangan pada sheet dengan  $h/t = 0,5; t = 2 \text{ mm};$  posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6



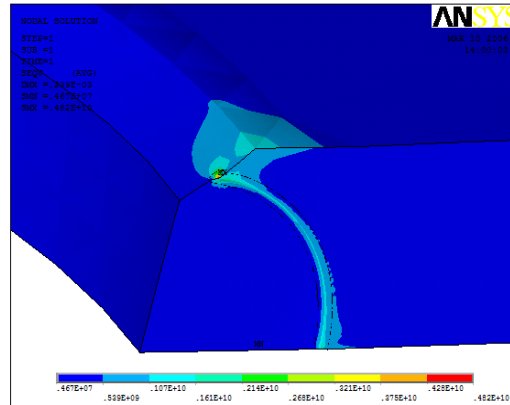
$t = 2 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 1



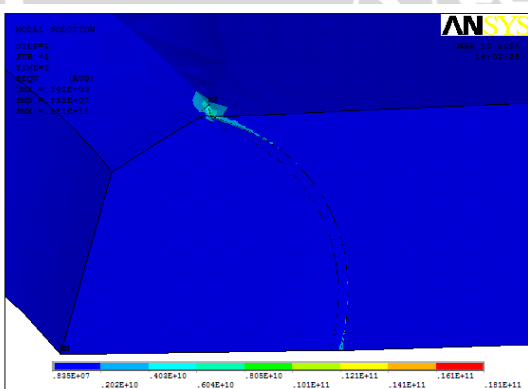
$t = 2 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 2



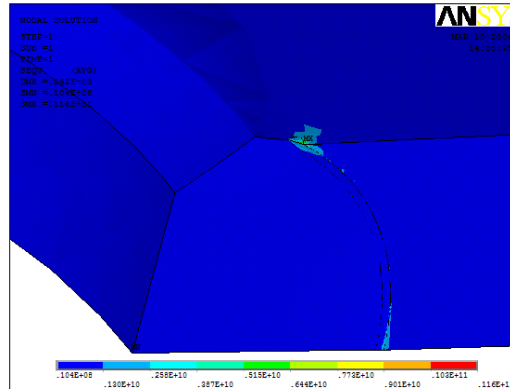
$t = 2 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 3



$t = 2 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 4



$t = 2 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 5



$t = 2 \text{ mm}$ ;  $h/t = 0,75$ ; posisi 6

Gambar 9. Distribusi tegangan pada sheet dengan  $h/t = 0,75$ ;  $t = 2 \text{ mm}$ ; posisi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6

Lampiran C. Data hasil perhitungan Faktor intensitas tegangan ( K )

• Pengaruh posisi *crack* terhadap Faktor intensitas tegangan

Tabel 7.1 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0.25$ ;  $t=1$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	16,172	0	19,739	0	22,099	0	32,696	0	37,985	0	40,288
5		5		5		5	30,261	5	34,271	5	37,126
10	14,108	10	17,53	10	19,61	10	29,96	10	33,145	10	35,75
15		15		15		15	29,1	15	31,875	15	33,3697
20	13,53	20	16,683	20	19,689	20	28,76	20	30,02	20	32,871
25		25		25		25	28,208	25	28,59	25	31,931
30	13,224	30	16,339	30	19,334	30	27,721	30	29,91	30	31,687
35		35		35		35	27,591	35	30,22	35	32,276
40	13,002	40	16,628	40	19,147	40	27,9	40	31,758	40	35,61
45		45		45		45	28,195	45	37,705	41,8	50,885
50	12,981	50	16,442	50	19,009	50	29,295	48,17	47,351		
55		55		55		54,42	35,893				
60	12,911	60	16,268	60	19,101						
65		65		65							
70	13,094	70	16,371	70	19,264						
75		75		75							
80	13,578	80	16,8	80	21,01						
85		85		85							
90	15,53	90	19,054	90	28,41						

Tabel 7.2 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,5$ ;  $t=1$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	18,483	0	21,227	0	24,613	0	29,919	0	30,876	0	38,3
5		5		5		5	27,31	5	30,829	5	36,293
10	16,618	10	20,142	10	23,38	10	26,206	10	29,282	10	34,22
15		15		15		15	25,639	15	27,993	15	33,163
20	16,54	20	19,42	20	21,935	20	25,231	20	26,785	20	32,452
25		25		25		25	24,935	25	25,531	25	31,931
30	16,569	30	18,252	30	21,098	30	24,743	30	25,133	30	33,027
35		35		35		35	24,751	35	24,979	35	35,281
40	16,102	40	18,183	40	20,821	40	24,993	40	25,076	40	36,732
45		45		45		45	25,741	45	25,513	41,8	51,764
50	16,092	50	18,202	50	20,711	50	26,621	50	26,354		
55		55		55		55	28,707	55	30,561		
60	15,895	60	18,283	60	21,211	59,54	40,201	59,55	49,996		
65		65		65							
70	16,034	70	18,617	70	21,695						
75		75		75							
80	16,603	80	19,309	80	23,282						
85		85		85							
90	18,541	90	21,352	90	32,662						

Tabel 7.3 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,75$ ;  $t=1$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	18,881	0	21,884	0	26,29	0	29,074	0	28,908	0	33,202
5		5		5		5		5	27,963	5	31,499
10	17,599	10	21,123	10	23,908	10	25,421	10	27,197	10	29,194
15		15		15		15		15	25,632	15	27,266
20	17,114	20	19,95	20	22,349	20	23,39	20	24,716	20	27,243
25		25		25		25		25	24,195	25	27,193
30	16,612	30	18,933	30	21,438	30	23,126	30	23,629	30	26,84
35		35		35		35		35	23,038	35	27,726
40	16,259	40	18,634	40	20,889	40	22,629	40	22,492	40	27,992
45		45		45		45		45	22,643	45	31,47
50	16,283	50	18,63	50	20,805	50	22,976	50	22,84	50	34,22
55		55		55		55		55	23,357	56,44	60,743
60	16,647	60	18,897	60	21,205	60	24,269	60	25,276		
65		65		65		65		65	28,433		
70	17,058	70	19,469	70	22,132	70	27,114	70	32,278		
75		75		75		75		73,4	59,978		
80	17,776	80	20,252	80	23,96	80,4	46,504				
85		85		85							
90	19,318	90	22,078	90	32,494						

Tabel 7.4 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,25$ ;  $t=1,6$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	9,8285	0	12,425	0	14,256	0	20,096	0	22,008	0	24,231
5		5		5		5	19,335	5	21,661	5	23,62
10	9,0493	10	11,418	10	13,364	10	18,95	10	21,059	10	22,712
15		15		15		15	18,674	15	20,552	15	22,305
20	8,8859	20	11,217	20	13,288	20	18,533	20	20,151	20	21,203
25		25		25		25	18,446	25	19,87	25	21,655
30	8,8044	30	10,876	30	12,917	30	18,455	30	19,32	30	21,759
35		35		35		35	18,611	35	20,124	35	22,776
40	8,8312	40	10,806	40	12,763	40	18,928	40	21,176	40	24,86
45		45		45		45	19,568	45	24,22	41,8	39,273
50	8,8789	50	10,81	50	12,844	50	20,661	48,17	33,47		
55		55		55		54,41	25,602				
60	8,9111	60	11,047	60	13,083						
65		65		65							
70	9,1091	70	11,369	70	14,056						
75		75		75							
80	9,4188	80	11,684	80	14,492						
85		85		85							
90	10,671	90	12,992	90	20,154						

Tabel 7.5 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,5$ ;  $t=1,6$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	11,541	0	13,69	0	15,985	0	18,783	0	19,489	0	23,719
5		5		5		5	18,016	5	19,384	5	22,1
10	11,005	10	13,123	10	14,607	10	17,622	10	19,274	10	21,394
15		15		15		15	17,267	15	18,702	15	21,105
20	10,674	20	12,61	20	14,177	20	16,967	20	18,524	20	20,212
25		25		25		25	16,756	25	18,432	25	19,832
30	10,409	30	12,506	30	13,903	30	16,633	30	18,314	30	19,317
35		35		35		35	16,604	35	18,478	35	20,083
40	10,433	40	12,165	40	13,837	40	16,688	40	18,825	40	20,619
45		45		45		45	16,876	45	18,898	45	23,905
50	10,482	50	12,317	50	13,954	50	17,276	50	20,004	50	26,605
55		55		55		55	18,765	55	25,639	53,13	41,623
60	10,582	60	12,617	60	14,197	60	19,938	59,17	37,698		
65		65		65		65	22,571				
70	10,895	70	13,144	70	14,94	68,31	30,249				
75		75		75							
80	11,332	80	13,705	80	16,38						
85		85		85							
90	12,629	90	15,026	90	22,124						

Tabel 7.6 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,75$ ;  $t=1,6$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	12,275	0	13,768	0	16,842	0	18,452	0	18,999	0	20,164
5		5		5		5	17,417	5	17,213	5	19,965
10	12,068	10	13,325	10	15,85	10	16,804	10	16,673	10	18,832
15		15		15		15	16,35	15	16,4	15	18,103
20	11,654	20	12,811	20	15,077	20	15,905	20	15,938	20	17,216
25		25		25		25	15,554	25	15,468	25	16,357
30	11,495	30	12,455	30	14,69	30	15,237	30	15,425	30	15,482
35		35		35		35	15,044	35	14,664	35	14,857
40	11,378	40	12,472	40	14,525	40	14,889	40	14,683	40	14,447
45		45		45		45	14,123	45	14,739	45	14,517
50	11,482	50	12,528	50	14,743	50	15,791	50	15,344	50	15,082
55		55		55		55	16,23	55	15,424	55	16,126
60	11,728	60	12,817	60	15,284	60	17,038	60	17,17	60	19,454
65		65		65		65	18,216	65	19,864	62,73	41,996
70	12,069	70	13,286	70	16,202	70	19,687	70	27,014	70	
75		75		75		75	23,761	73,4	39,733	75	
80	12,675	80	14,147	80	17,839	80,32	34,784			80	
85		85		85						85	
90	13,689	90	15,552	90	23,997					90	



Tabel 7.7 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,25$ ;  $t=2$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	8,4354	0	10,227	0	11,529	0	16,155	0	17,245	0	19,957
5		5		5		5	15,762	5	17,609	5	19,88
10	7,6352	10	9,4421	10	10,949	10	15,533	10	17,393	10	18,862
15		15		15		15	15,351	15	17,162	15	18,013
20	7,5022	20	9,0593	20	10,655	20	15,272	20	16,674	20	17,288
25		25		25		25	15,301	25	16,646	25	17,806
30	7,2233	30	9,046	30	10,572	30	15,386	30	16,614	30	17,672
35		35		35		35	15,69	35	16,514	35	18,388
40	7,2209	40	9,1295	40	10,66	40	16,132	40	18,102	40	19,722
45		45		45		45	16,851	45	21,632	45	24,988
50	7,3313	50	9,2932	50	10,749	50	18,336	48,18	31,081	45,58	35,493
55		55		55		51,76	21,988				
60	7,505	60	9,4411	60	11,064						
65		65		65							
70	7,6815	70	9,764	70	11,495						
75		75		75							
80	8,0587	80	10,148	80	12,459						
85		85		85							
90	8,9964	90	11,119	90	17,369						

Tabel 7.8 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t=0,5$ ;  $t=2$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	9,7592	0	11,744	0	12,98	0	15,098	0	17,021	0	19,07
5		5		5		5	14,711	5	16,686	5	18,051
10	9,295	10	10,871	10	12,03	10	14,41	10	16,267	10	17,257
15		15		15		15	14,118	15	15,868	15	16,491
20	9,0295	20	10,599	20	11,888	20	13,914	20	15,684	20	16,713
25		25		25		25	13,848	25	15,536	25	17,001
30	8,9441	30	10,5	30	11,737	30	13,812	30	15,338	30	17,138
35		35		35		35	13,886	35	15,636	35	17,219
40	8,9349	40	10,519	40	11,798	40	13,969	40	16,114	40	18,013
45		45		45		45	14,203	45	16,44	45	18,914
50	9,0502	50	10,654	50	12,065	50	14,583	50	17,607	50	22,251
55		55		55		55	15,165	55	20,791	53,13	33,412
60	9,2576	60	10,956	60	12,543	60	16,129	59,3	31,301		
65		65		65		65	18,232				
70	9,5892	70	11,354	70	13,288	68,38	26,284				
75		75		75							
80	10,062	80	11,977	80	14,541						
85		85		85							
90	10,859	90	13,463	90	19,467						

Tabel 7.9 Faktor intensitas tegangan pada *sheet* dengan variasi  $h/t= 0,75$ ;  $t= 2$  mm

$\theta$	posisi 1 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 2 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 3 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 4 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 5 (MPa $\sqrt{m}$ )	$\theta$	posisi 6 (MPa $\sqrt{m}$ )
0	10,687	0	12,151	0	13,573	0	15,264	0	15,67	0	18,218
5		5		5		5	14,529	5	15,418	5	17,058
10	9,6299	10	11,446	10	13,173	10	14,106	10	14,154	10	16,367
15		15		15		15	13,762	15	13,818	15	15,635
20	9,5163	20	11,103	20	12,529	20	13,542	20	13,612	20	15,021
25		25		25		25	13,415	25	13,522	25	14,856
30	9,5163	30	10,947	30	12,298	30	13,313	30	13,496	30	14,959
35		35		35		35	13,285	35	13,512	35	15,034
40	9,5412	40	10,963	40	12,31	40	13,334	40	13,92	40	15,663
45		45		45		45	13,486	45	14,161	45	15,5832
50	9,6802	50	11,162	50	12,586	50	13,774	50	14,354	50	17,659
55		55		55		55	13,972	55	14,847	55	19,25
60	9,9361	60	11,512	60	13,082	60	14,314	60	15,697	60	22,141
65		65		65		65	15,122	65	18,038	65,38	45,028
70	10,341	70	12,075	70	14,01	70	16,287	70	23,379		
75		75		75		75	18,366	73,4	40,663		
80	10,912	80	12,888	80	15,656	80,33	32,275				
85		85		85							
90	12,223	90	14,284	90	21,292						

- Pengaruh Kedalaman *chamfering* ( $h/t$ ) terhadap Faktor intensitas tegangan

Tabel 7.10 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 1 dengan  $h/t= 0,25$ ;  $0,5$ ; dan  $0,75$ ;  $t= 1$  mm

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	16,172	18,483	18,881
5			
10	14,108	16,618	17,599
15			
20	13,53	16,54	17,114
25			
30	13,224	16,569	16,612
35			
40	13,002	16,102	16,259
45			
50	12,981	16,092	16,283
55			
60	12,911	15,895	16,647
65			
70	13,094	16,034	17,058
75			
80	13,578	16,603	17,776
85			
90	15,53	18,541	19,318

Tabel 7.11 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 2 dengan  $h/t= 0,25$ ;  $0,5$ ; dan  $0,75$ ;  $t= 1$  mm

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	19,739	21,227	21,884
5			
10	17,53	20,142	21,123
15			
20	16,683	19,42	19,95
25			
30	16,339	18,252	18,933
35			
40	16,628	18,183	18,634
45			
50	16,442	18,202	18,63
55			
60	16,268	18,283	18,897
65			
70	16,371	18,617	19,469
75			
80	16,8	19,309	20,252
85			
90	19,054	21,352	22,078

Tabel 7.12 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 4 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	32,696	0	29,919	0	29,074
5	30,261	5	27,31	5	
10	29,96	10	26,206	10	25,421
15	29,1	15	25,639	15	
20	28,76	20	25,231	20	23,39
25	28,208	25	24,935	25	
30	27,721	30	24,743	30	23,126
35	27,592	35	24,751	35	
40	27,591	40	24,993	40	22,629
45	27,8	45	25,741	45	
50	27,9	50	26,621	50	22,976
54,42	28,195	55	28,707	55	
		59,54	40,201	60	24,269
				65	
				70	27,114
				75	
				80,3	46,504

Tabel 7.13 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 5 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	37,985	0	30,876	0	28,908
5	34,271	5	30,829	5	27,963
10	33,145	10	29,282	10	27,197
15	31,875	15	27,993	15	25,632
20	30,02	20	26,785	20	24,716
25	28,59	25	25,531	25	24,195
30	29,91	30	25,133	30	23,629
35	30,22	35	24,979	35	23,038
40	31,758	40	25,076	40	22,492
45	37,705	45	25,513	45	22,643
48,17	47,351	50	26,354	50	22,84
		55	30,561	55	23,357
		59,55	49,996	60	25,276
				65	28,433
				70	32,278
				73,4	59,978

Tabel 7.14 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 6 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	40,288	0	38,3	0	33,202
5	37,126	5	36,293	5	31,499
10	35,75	10	34,22	10	29,194
15	34,3697	15	33,163	15	27,266
20	33,871	20	32,452	20	27,243
25	32,931	25	31,931	25	27,193
30	32,687	30	33,027	30	26,84
35	33,276	35	35,281	35	27,726
40	35,61	40	36,732	40	27,992
41,8	50,885	41,8	51,764	45	31,47
				50	34,22
				56,44	60,743

Tabel 7.15 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 1 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1,6 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	9,8285	11,541	12,275
5			
10	9,0493	11,005	12,068
15			
20	8,8859	10,674	11,654
25			
30	8,8044	10,409	11,495
35			
40	8,8312	10,433	11,378
45			
50	8,8789	10,482	11,482

55			
60	8,9111	10,582	11,728
65			
70	9,1091	10,895	12,069
75			
80	9,4188	11,332	12,675
85			
90	10,671	12,629	13,689

Tabel 7.16 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 2 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1,6 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	12,425	13,69	13,768
5			
10	11,418	13,123	13,325
15			
20	11,217	12,61	12,811
25			
30	10,876	12,506	12,455
35			
40	10,806	12,165	12,472
45			
50	10,81	12,317	12,528
55			
60	11,047	12,617	12,817
65			
70	11,369	13,144	13,286
75			
80	11,684	13,705	14,147
85			
90	12,992	15,026	15,552

Tabel 7.17 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 3 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1,6 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	14,256	15,985	16,842
5			
10	13,364	14,607	15,85
15			
20	13,288	14,177	15,077
25			
30	12,917	13,903	14,69
35			
40	12,763	13,837	14,525
45			
50	12,844	13,954	14,743
55			
60	13,083	14,197	15,284

65			
70	14,056	14,94	16,202
75			
80	14,492	16,38	17,839
85			
90	20,154	22,124	23,997

Tabel 7.18 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 4 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1,6 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	20,096	0	18,783	0	18,452
5	19,335	5	18,016	5	17,417
10	18,95	10	17,622	10	16,804
15	18,674	15	17,267	15	16,35
20	18,533	20	16,967	20	15,905
25	18,446	25	16,756	25	15,554
30	18,455	30	16,633	30	15,237
35	18,611	35	16,604	35	15,044
40	18,928	40	16,688	40	14,889
45	19,568	45	16,876	45	14,123
50	20,661	50	17,276	50	15,791
54,41	25,602	55	18,765	55	16,23
		60	19,938	60	17,038
		65	22,571	65	18,216
		68,31	30,249	70	19,687
				75	23,761
				80,32	34,784

Tabel 7.19 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 5 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1,6 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	22,008	0	19,489	0	18,999
5	21,661	5	19,384	5	17,213
10	21,059	10	19,274	10	16,673
15	20,552	15	18,702	15	16,4
20	20,151	20	18,524	20	15,938
25	19,87	25	18,432	25	15,468
30	19,32	30	18,314	30	15,425
35	20,124	35	18,478	35	14,664
40	21,176	40	18,825	40	14,683
45	24,22	45	18,898	45	14,739
48,17	33,47	50	20,004	50	15,344
		55	25,639	55	15,424
		59,17	37,698	60	17,17
				65	19,864
				70	27,014
				73,4	39,733

Tabel 7.20 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 6 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 1,6 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	24,231	0	23,719	0	20,164
5	23,62	5	22,1	5	19,965
10	22,712	10	21,394	10	18,832
15	22,305	15	21,105	15	18,103
20	21,203	20	20,212	20	17,216
25	21,655	25	19,832	25	16,357
30	21,759	30	19,317	30	15,482
35	22,776	35	20,083	35	14,857
40	24,86	40	20,619	40	14,447
44,08	39,273	45	23,905	45	14,517
		50	26,605	50	15,082
		53,13	41,623	55	16,126
				60	19,454
				62,73	41,996

Tabel 7.21 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 1 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 2 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	8,4354	9,7592	10,687
5			
10	7,6352	9,295	9,6299
15			
20	7,5022	9,0295	9,5163
25			
30	7,2233	8,9441	9,5163
35			
40	7,2209	8,9349	9,5412
45			
50	7,3313	9,0502	9,6802
55			
60	7,505	9,2576	9,9361
65			
70	7,6815	9,5892	10,341
75			
80	8,0587	10,062	10,912
85			
90	8,9964	10,859	12,223

Tabel 7.22 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 2 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 2 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	10,227	11,744	12,151
5			
10	9,4421	10,871	11,446
15			
20	9,0593	10,599	11,103
25			
30	9,046	10,5	10,947
35			
40	9,1295	10,519	10,963
45			
50	9,2932	10,654	11,162
55			
60	9,4411	10,956	11,512
65			
70	9,764	11,354	12,075
75			
80	10,148	11,977	12,888
85			
90	11,119	13,463	14,284

Tabel 7.23 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 3 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 2 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	11,529	12,98	13,573
5			
10	10,949	12,03	13,173
15			
20	10,655	11,888	12,529
25			
30	10,572	11,737	12,298
35			
40	10,66	11,798	12,31
45			
50	10,749	12,065	12,586
55			
60	11,064	12,543	13,082
65			
70	11,495	13,288	14,01
75			
80	12,459	14,541	15,656
85			
90	17,369	19,467	21,292



Tabel 7.24 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 4 dengan  $h/t=0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=2 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )
0	16,155	0	15,098	0	15,264
5	15,762	5	14,711	5	14,529
10	15,533	10	14,41	10	14,106
15	15,351	15	14,118	15	13,762
20	15,272	20	13,914	20	13,542
25	15,301	25	13,848	25	13,415
30	15,386	30	13,812	30	13,313
35	15,69	35	13,886	35	13,285
40	16,132	40	13,969	40	13,334
45	16,851	45	14,203	45	13,486
50	18,336	50	14,583	50	13,774
51,76	21,988	55	15,165	55	13,972
		60	16,129	60	14,314
		65	18,232	65	15,122
		68,38	26,284	70	16,287
				75	18,366
				80,33	32,275

Tabel 7.25 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 5 dengan  $h/t=0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t=2 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )
0	17,245	0	17,021	0	15,67
5	17,609	5	16,686	5	15,418
10	17,393	10	16,267	10	14,154
15	17,162	15	15,868	15	13,818
20	16,674	20	15,684	20	13,612
25	16,646	25	15,536	25	13,522
30	16,614	30	15,338	30	13,496
35	16,514	35	15,636	35	13,512
40	18,102	40	16,114	40	13,92
45	21,632	45	16,44	45	14,161
48,18	31,081	50	17,607	50	14,354
		55	20,791	55	14,847
		59,3	31,301	60	15,697
				65	18,038
				70	23,379
				73,4	40,663

Tabel 7.26 Perbandingan Faktor intensitas tegangan pada *sheet* pada posisi 6 dengan  $h/t= 0,25; 0,5; \text{ dan } 0,75; t= 2 \text{ mm}$

Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,25$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,5$ (MPa $\sqrt{m}$ )	Sudut ( $\theta$ )	$h/t=0,75$ (MPa $\sqrt{m}$ )
0	19,957	0	19,07	0	18,218
5	19,88	5	18,051	5	17,058
10	18,862	10	17,257	10	16,367
15	18,013	15	16,491	15	15,635
20	17,288	20	16,713	20	15,021
25	17,806	25	17,001	25	14,856
30	17,672	30	17,138	30	14,959
35	18,388	35	17,219	35	15,034
40	19,722	40	18,013	40	15,663
45	24,988	45	18,914	45	15,5832
45,58	35,293	50	22,251	50	17,659
		53,13	35,412	55	19,25
				60	22,141
				65,38	45,028



## Lampiran D. Listing Program ANSYS 9.0

- Permodelan Lubang Lurus ( Verifikasi )

```

/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 9.0  UP20041104  23:00:34  02/05/2006
/input,menust,tmp,",,,,,,,,,,,,,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,,0
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural

/PREP7

ET,1,SOLID95

MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,73.1e9
MPDATA,PRXY,1,,0.33

BLC4,, ,0.0175,0.0254,0.001
CYL4,, ,0.0024,, ,0.001
VSBV, 1, 2

KWPAVE, 10
wpro,,90.000000,
CYL4,, ,0.000125,90,, ,

ADELE, 1
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,-5
LDELE,P51X,, ,1

KWPAVE, 10
wpro,,90.000000,
CYL4,, ,0.0005,90,, ,

```

```

ADELE, 1
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,-5
LDELE,P51X, , 1

```

```

KWPAVE, 2
wpro,,-90.000000,
CYL4, , ,0.000025,180, ,

```

```

VDRAG, 1, , , , , 1
LDELE, 1, , , 1
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,3
VPTN,P51X

```

```

FLST,5,3,4,ORDE,3
FITEM,5,13
FITEM,5,-14
FITEM,5,18
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,_,_Y

```

```

LESIZE,_Y1, , ,27, , , , , 1

```

```

VSWEEP,4,3,5

```

```

MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0

```

```

CM,_Y,VOLU
VSEL, , , , 5
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y

```

```

VMESH,_Y1

```

```

CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2

```

```

FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,12
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,12

```

```

!*
/GO
DA,P51X,UX,

```

```

FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,5
FITEM,2,17
!*
/GO
DA,P51X,UY,

```



FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,4  
 /GO  
 !\*  
 SFA,P51X,1,PRES,-188e6

/STATUS,SOLU  
 SOLVE  
 FINISH  
 /POST1  
 SET,FIRST

NWPAVE, 268  
 wpro,,,-90.000000  
 wpro,,90.000000,  
 wpro,,90.000000,  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,268  
 PPATH,2,545  
 PPATH,3,270  
 KCALC,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 237  
 wpro,,10.000000  
 CSDELE,11, ,1,  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,237  
 PPATH,2,123  
 PPATH,3,254  
 KCALC,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 241  
 wpro,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,241  
 PPATH,2,133  
 PPATH,3,258  
 KCALC,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 245  
 wpro,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,245  
 PPATH,2,136  
 PPATH,3,262  
 KCALC,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,



NWPAVE, 249  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,249  
 PPATH,2,134  
 PPATH,3,266  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 569  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,569  
 PPATH,2,131  
 PPATH,3,551  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 573  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,573  
 PPATH,2,129  
 PPATH,3,555  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 577  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,577  
 PPATH,2,126  
 PPATH,3,559  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 581  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,581  
 PPATH,2,138  
 PPATH,3,563  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 271  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48



```
PPATH,1,271
PPATH,2,535
PPATH,3,273
KCALC,,1
*GET,K11,KCALC,,K,1
FINISH
```

- Permodelan *Countersunk rivet hole* untuk  $t = 1$  mm,  $h/t = 0.25$ , posisi 1

```
/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 9.0  UP20041104  17:16:24  02/09/2006
/input,menust,tmp,",,,,,,,,,,,,,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,,0
!*
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO

/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural

/PREP7

ET,1,SOLID95

MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,73.1e-9
MPDATA,PRXY,1,,0.33
BLC4, , ,0.0175,0.0254,0.001
CYL4, , ,0.0024, , ,0.001
CONE,0.0024,0.00569486,0.00025,0.001,0,360,

FLST,3,2,6,ORDE,2
FITEM,3,2
FITEM,3,-3
VSBV, 1,P51X

KWPAVE, 18
wpro,,90.000000
```



wpro,,90.000000,  
 CYL4, , ,0.000125,130, ,

ADELE, 1  
 FLST,2,2,4,ORDE,2  
 FITEM,2,4  
 FITEM,2,-5  
 LDELE,P51X, , ,1

KWPAVE, 2  
 wpro,,-90.000000,

CYL4, , ,0.000025,180, ,

VDRAG, 1, , , , ,

LDELE, 1, , ,1

FLST,2,2,6,ORDE,2  
 FITEM,2,1  
 FITEM,2,4  
 VPTN,P51X

FLST,5,3,4,ORDE,3  
 FITEM,5,13  
 FITEM,5,-14  
 FITEM,5,17  
 CM, \_Y,LINE  
 LSEL, , , ,P51X  
 CM, \_Y1,LINE  
 CMSEL,,\_Y

LESIZE,\_Y1, , ,13, , , ,1

EXTO,VSWE,AUTO,OFF  
 VSWEEP,3,3,5

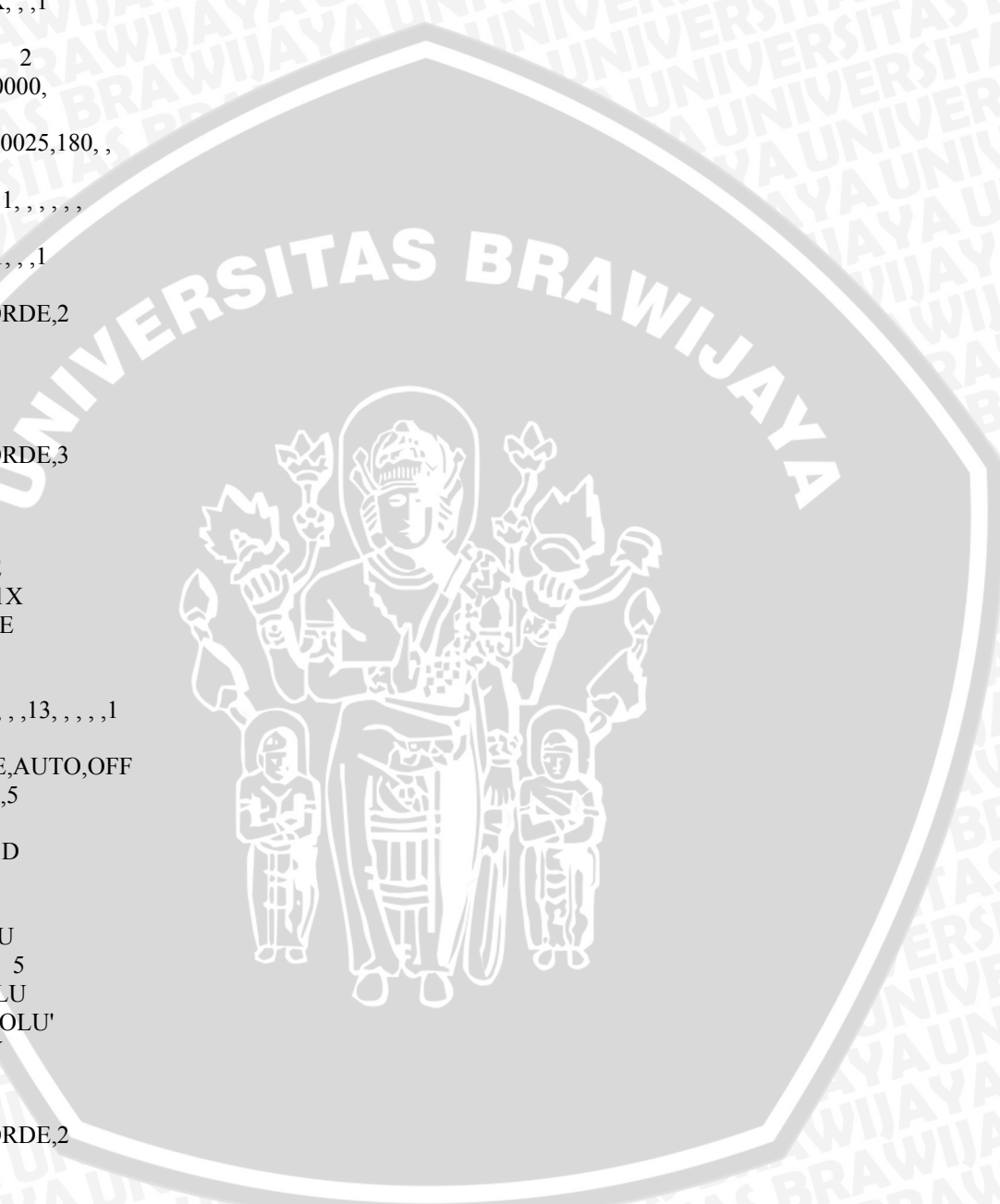
MSHAPE,1,3D  
 MSHKEY,0

CM, \_Y,VOLU  
 VSEL, , , , 5  
 CM, \_Y1,VOLU  
 CHKMSH,'VOLU'  
 CMSEL,S,\_Y

VMESH,\_Y1  
 FLST,2,2,5,ORDE,2  
 FITEM,2,5  
 FITEM,2,13

/GO  
 DA,P51X,UY,  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,20

/GO  
 DA,P51X,UX,  
 FLST,2,1,4,ORDE,1





FITEM,2,27

/GO  
DL,P51X, ,UZ,  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,4  
/GO

SFA,P51X,1,PRES,92e6  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,4  
/GO

SFA,P51X,1,PRES,-188e6  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,14  
/GO

SFA,P51X,1,PRES,100000  
/STATUS,SOLU  
SOLVE  
FINISH  
/POST1  
SET,FIRST

NWPAVE, 268  
wpro,-90.000000,,  
wpro,-90.000000,,  
CSWPLA,11,0,1,1,  
PATH,KI1,3,,48  
PPATH,1,268  
PPATH,2,545  
PPATH,3,270  
KCALC,,1  
\*GET,KI1,KCALC,,K,1

NWPAVE, 237  
wpro,,10.000000  
CSDELE,11, ,1,  
CSWPLA,11,0,1,1,  
PATH,KI1,3,,48  
PPATH,1,237  
PPATH,2,136  
PPATH,3,254  
KCALC,,1  
\*GET,KI1,KCALC,,K,1  
CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 241  
wpro,,10.000000  
CSWPLA,11,0,1,1,  
PATH,KI1,3,,48  
PPATH,1,241  
PPATH,2,134  
PPATH,3,258  
KCALC,,1  
\*GET,KI1,KCALC,,K,1  
CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 245



wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,245  
 PPATH,2,132  
 PPATH,3,262  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 249  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,249  
 PPATH,2,130  
 PPATH,3,266  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 569  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,569  
 PPATH,2,128  
 PPATH,3,551  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 573  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,573  
 PPATH,2,126  
 PPATH,3,555  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 577  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,577  
 PPATH,2,124  
 PPATH,3,559  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 581  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,581  
 PPATH,2,123



```
PPATH,3,563
KCALC,,1
*GET,KI1,KCALC,,K,1
CSDELE,11,,1,
```

```
NWPAVE, 271
wpro,,10.000000
CSWPLA,11,0,1,1,
PATH,KI1,3,,48
PPATH,1,271
PPATH,2,535
PPATH,3,273
KCALC,,1
*GET,KI1,KCALC,,K,1
FINISH
```

- Permodelan *Countersunk rivet hole* untuk  $t = 1$  mm;  $h/t = 0,5$ ; posisi 1

```
/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 9.0 UP20041104 13:33:49 02/12/2006
/input,menust,tmp,",,,,,,,,,,,,,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,,0

/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO

/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural

/PREP7
ET,1,SOLID95
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,73.1e9
MPDATA,PRXY,1,,0.33
BLC4,, ,0.0175,0.0254,0.001
CYL4,, ,0.0024,, ,0.001
CONE,0.0024,0.005396573,0.0005,0.001,0,360,

FLST,3,2,6,ORDE,2
FITEM,3,2
```



```

FITEM,3,-3
VSBV, 1,P51X

KWPAVE, 10
wpro,,90.000000,
CYL4, , ,0.00025,90, ,

ADELE, 1
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,-5
LDELE,P51X, , ,1

KWPAVE, 2
wpro,,90.000000,
CYL4, , ,0.00025,180, ,
VDRAG, 1, , , , , 1

LDELE, 1, , ,1

FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,4
VPTN,P51X

FLST,5,3,4,ORDE,3
FITEM,5,13
FITEM,5,-14
FITEM,5,17
CM, _Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM, _Y1,LINE
CMSEL,,_Y

LESIZE,_Y1, , ,18, , , ,1

EXTO,VSWE,AUTO,OFF

VSWEEP,3,3,5

SAVE
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0

CM, _Y,VOLU
VSEL, , , , 5
CM, _Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y

VMESH,_Y1

CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2

/GO
DA,P51X,UY,
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,20

```



/GO  
DA,P51X,UX,  
FLST,2,1,4,ORDE,1  
FITEM,2,27

/GO  
DL,P51X, ,UZ,  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,4  
/GO

SFA,P51X,1,PRES,92e6  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,4  
/GO

SFA,P51X,1,PRES,-188e6  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,14  
/GO

SFA,P51X,1,PRES,100000  
/STATUS,SOLU  
SOLVE  
FINISH  
/POST1  
SET,FIRST

NWPAVE, 268  
wpro,-90.000000,,  
wpro,-90.000000,,  
PATH,KI1,3,,48  
PPATH,1,268  
PPATH,2,545  
PPATH,3,270  
KCALC,,,1  
\*GET,KI1,KCALC,,K,1  
CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 237  
wpro,,,10.000000  
CSWPLA,11,0,1,1,  
PATH,KI1,3,,48  
PPATH,1,237  
PPATH,2,123  
PPATH,3,254  
KCALC,,,1  
\*GET,KI1,KCALC,,K,1  
CSDELE,11, ,1,  
NWPAVE, 241  
wpro,,,10.000000  
CSWPLA,11,0,1,1,  
PATH,KI1,3,,48  
PPATH,1,241  
PPATH,2,133  
PPATH,3,258  
KCALC,,,1  
\*GET,KI1,KCALC,,K,1  
CSDELE,11, ,1,



NWPAVE, 245  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,245  
 PPATH,2,136  
 PPATH,3,262  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 249  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,249  
 PPATH,2,134  
 PPATH,3,266  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 569  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,569  
 PPATH,2,131  
 PPATH,3,551  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 573  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,573  
 PPATH,2,129  
 PPATH,3,555  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 577  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,577  
 PPATH,2,126  
 PPATH,3,559  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 581  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48



PPATH,1,581  
 PPATH,2,138  
 PPATH,3,563  
 KCALC,,1  
  
 NWPAVE, 271  
 wpro,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,271  
 PPATH,2,535  
 PPATH,3,273  
 KCALC,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 FINISH

- Permodelan *Countersunk rivet hole* untuk  $t = 1$  mm;  $h/t = 0,75$ ; posisi 1

```

/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 9.0 UP20041104 10:50:05 02/17/2006
/input,menust,tmp,",,,,,,,,,,,,,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,,0
/COM,ANSYS RELEASE 9.0 UP20041104 13:33:49 02/12/2006
/input,menust,tmp,",,,,,,,,,,,,,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,,0

/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULT1,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO

/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural

/PREP7

```



```
!*
ET,1,SOLID95

MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,73.1e9
MPDATA,PRXY,1,,0.33
BLC4, , ,0.0175,0.0254,0.001
CYL4, , ,0.0024, , ,0.001
CONE,0.0024,0.005098,0.00075,0.001,0,360,
```

```
FLST,3,2,6,ORDE,2
FITEM,3,2
FITEM,3,-3
VSBV, , 1,P51X
```

```
KWPAVE, 10
wpro,,90.000000,
CYL4, , ,0.000375,90, ,
ADELE, 1
```

```
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,-5
LDELE,P51X, , 1
```

```
KWPAVE, 2
wpro,,-90.000000,
CYL4, , ,0.000025,180, ,
VDRAG, 1, , , , 1
LDELE, 1, , 1
```

```
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,4
VPTN,P51X
```

```
FLST,5,3,4,ORDE,3
FITEM,5,13
FITEM,5,-14
FITEM,5,17
CM,_Y,LINE
LSEL, , , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
```

```
LESIZE,_Y1, , ,27, , , , 1
```

```
EXTO,VSWE,AUTO,OFF
VSWEEP,3,3,5
```

```
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0
```

```
CM,_Y,VOLU
VSEL, , , , 5
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
```





VMESH,\_Y1  
 FLST,2,2,5,ORDE,2  
 FITEM,2,5  
 FITEM,2,13

/GO  
 DA,P51X,UY,  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,20

/GO  
 DA,P51X,UX,  
 FLST,2,1,4,ORDE,1  
 FITEM,2,27

/GO  
 DL,P51X, ,UZ,  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,4  
 /GO

SFA,P51X,1,PRES,59.53e6  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,4  
 /GO

SFA,P51X,1,PRES,-188e6  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,14  
 /GO

SFA,P51X,1,PRES,100000  
 /STATUS,SOLU  
 SOLVE  
 FINISH  
 /POST1  
 SET,FIRST

NWPAVE, 403  
 wpro,-90.000000,,  
 wpro,-90.000000,,  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,403  
 PPATH,2,788  
 PPATH,3,405  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 356  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,356  
 PPATH,2,193  
 PPATH,3,382  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1



CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 362

wpro,,,10.000000

CSWPLA,11,0,1,1,

PATH,KI1,3,,48

PPATH,1,362

PPATH,2,203

PPATH,3,388

KCALC,,,1

\*GET,KI1,KCALC,,K,1

CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 368

wpro,,,10.000000

CSWPLA,11,0,1,1,

PATH,KI1,3,,48

PPATH,1,368

PPATH,2,207

PPATH,3,394

KCALC,,,1

\*GET,KI1,KCALC,,K,1

CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 374

wpro,,,10.000000

CSWPLA,11,0,1,1,

PATH,KI1,3,,48

PPATH,1,374

PPATH,2,204

PPATH,3,400

KCALC,,,1

\*GET,KI1,KCALC,,K,1

CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 822

wpro,,,10.000000

CSWPLA,11,0,1,1,

PATH,KI1,3,,48

PPATH,1,822

PPATH,2,200

PPATH,3,795

KCALC,,,1

\*GET,KI1,KCALC,,K,1

CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 828

wpro,,,10.000000

CSWPLA,11,0,1,1,

PATH,KI1,3,,48

PPATH,1,828

PPATH,2,196

PPATH,3,801

KCALC,,,1

\*GET,KI1,KCALC,,K,1

CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 834

wpro,,,10.000000

CSWPLA,11,0,1,1,



PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,834  
 PPATH,2,189  
 PPATH,3,807  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 840  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,840  
 PPATH,2,185  
 PPATH,3,813  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 CSDELE,11, ,1,

NWPAVE, 406  
 wpro,,,10.000000  
 CSWPLA,11,0,1,1,  
 PATH,KI1,3,,48  
 PPATH,1,406  
 PPATH,2,778  
 PPATH,3,408  
 KCALC,,,1  
 \*GET,KI1,KCALC,,K,1  
 FINISH



## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. *Boeing Description*. [www.boeing.com](http://www.boeing.com)

Anonim. *Chapter 2 : Literature Review*. Courtesy of LPS Laboratories, Inc.  
[www.library.unsw.edu.au/~thesis/adtdadfa/uploads/approved/adtdadfa20050819.111957/public/03chapter2.pdf](http://www.library.unsw.edu.au/~thesis/adtdadfa/uploads/approved/adtdadfa20050819.111957/public/03chapter2.pdf)

Anonim. [www.matweb.com](http://www.matweb.com)

ANSYS Rel. 9.0. 2004. *Ansys Release 9.0 Documentation*. Ansys, Inc.

Banantine, Julie .A.1990. *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*. Prentice Hall.  
Engewood Cliffs, New Jersey.

Broek, David. 1989. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. Sijthoff &  
Noordhoff International Publisher B.V.. Alphen aan den Rijn, Netherland.

Christy, Joe. 1984. *Aircraft Construction : Repair and Inspection*. TAB Books.

de Rijk, J.J.M and Fawaz, S.A. 2003. *Stress Intensity Factor for Countersunk  
Holes Subjected to Tension & Bending*. Sixth Joint DoD/FAA/NASA Conference  
on Aging Aircraft.  
[www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/SESSIONS/9/9A2\\_DERIJCK.PDF](http://www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/SESSIONS/9/9A2_DERIJCK.PDF)

Dobrovolsky, V. 1985. *Machine Elements*. Peace Publishers, Moscow

Hibbeler, R.C. 2001. *Engineering Mechanics : Statics*. Prentice Hall International.

Newman, J.C. and Raju, I.S. 1984. *Stress Intensity Factor Equation for Cracks in  
Three Dimensional Finite Bodies Subjected to Tension and Bending Loads*. NASA  
Technical Memorandum 85793. NASA, April 1984.  
[www.ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19840015857\\_1984015857.pdf](http://www.ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19840015857_1984015857.pdf)

Spotts, M.F.,et al. 2004. *Design of Machine Elements*. Pearson Prentice Hall.