

DIPA

LAPORAN PENELITIAN



TERIMA
MBER
KEM

1-3-2011
Hd
K1
99/Hd/2011-0.1(1)
621.82 Sar a.1

ANALISIS REDUKSI KONSENTRASI TEGANGAN PADA PELAT BERLUBANG DENGAN BEBAN AKSIAL TARIK MENGUNAKAN ANSYS 9

Oleh :

Delima Yanti Sari, MT (19780114 200312 2 003)
Rifelino, S.Pd (19800215 200604 1 001)

Penelitian ini dibiayai oleh :
Dana DIPA Universitas Negeri Padang
Surat Perjanjian Kontrak Nomor : 190/H35/KP/2010
Tanggal 1 Maret 2010

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2010

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN DANA DIPA UNP**

1. a. Judul Penelitian : **Analisis Reduksi Konsentrasi Tegangan pada Pelat Berlubang dengan Beban Aksial Tarik Menggunakan Ansys 9**
- b. Bidang Ilmu : Teknik (Teknologi & Rekayasa)
- c. Kategori Penelitian : Pengembangan Ilmu Teknik
2. a. Ketua Peneliti
- Nama Lengkap dan Gelar : Delima Yanti Sari, MT
 - Jenis Kelamin : Perempuan
 - Gol / Pangkat dan NIP : III.a / Penata Muda/
19780114 200312 2 003
 - Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - Jabatan Struktural : Dosen
 - Jurusan / Fakultas : Teknik Mesin / Teknik
 - Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian UNP
- b. Alamat Ketua Peneliti
- Kantor / Telp. / Fax : TM FT-UNP Telp.0751-7053508
- Rumah / Telp : Jl. Koto Merapak No 23 Padang
Hp. 08197552017
- E-mail : delimayanti@yahoo.com
3. Jumlah Anggota Peneliti : Rifelino, S.Pd
- Nama Anggota Peneliti : Teknik Mesin FT-UNP
4. Lokasi Penelitian : -
5. Kerjasama dengan institusi lain : -
6. Lama Penelitian : 4 (Empat) Bulan
7. Biaya yang diperlukan : Rp 7.500.000,-
(*Tujuh Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*)

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknik UNP

(Drs. H. Ganefri, M.Pd.)
NIP. 19631217 198903 1 003

Padang, 28 Desember 2010
Ketua Peneliti

(Delima Yanti Sari, MT.)
NIP. 19780114 200312 2 003

Menyetujui:
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang

(Drs. Alwen Bentri M.Pd)
NIP. 19610722 198602 1 002

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : **Analisis Reduksi Konsentrasi Tegangan pada Pelat Berlubang dengan Beban Aksial Tarik Menggunakan Ansys 9**
- b. Bidang Ilmu : Teknik (Teknologi & Rekayasa)
2. Personalia
 - a. Ketua Peneliti
 - Nama Lengkap dan Gelar : Delima Yanti Sari, MT.
 - Golongan /Pangkat /NIP : III.a / Penata Muda/
19780114 200312 2 003
 - Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
 - b. Anggota Peneliti
 - Nama Lengkap dan Gelar : Rifelino, S.Pd
 - Golongan /Pangkat /NIP : III.a / Penata Muda /
19800215 200604 1 001
 - Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
3. Usul Penelitian : Telah direvisi sesuai saran pereviu

Pereviu I

(Prof. Dr. H. Suparno, M. Pd)
NIP. 19511212 197604 1 001

Padang, 28 Desember 2010

Pereviu II

(Dr. Waskito, MT)
NIP. 19610808 198602 1 001

Mengetahui:
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,



(Drs. Alwen Bentri M. Pd)
NIP. 19610722 198602 1 002

PENGANTAR

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Pimpinan Universitas, telah memfasilitasi peneliti untuk melaksanakan penelitian tentang **Analisis Reduksi Konsentrasi Tegangan pada Pelat Berlubang dengan Beban Aksial Tarik Menggunakan Ansys 9**, berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Negeri Padang Nomor: 190/H35/KP/2010 Tanggal 1 Maret 2010.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang akan dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pembangunan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, kemudian untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan ditingkat Universitas. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sample penelitian, dan tim pereviu Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, Desember 2010
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang



(Drs. Alwen Bentri M.Pd)
NIP. 19610722 198602 1 002

RINGKASAN

Adanya konsentrasi tegangan pada komponen mesin, mendorong para ahli teknik untuk mendisain dengan meminimalkan konsentrasi tegangan. Pada struktur pelat berlubang, usaha untuk mereduksi konsentrasi tegangan dapat dilakukan dengan menambahkan lubang yang lebih kecil di sekitar lubang utama. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh jarak antar lubang tambahan dan dimensi lubang tambahan terhadap reduksi konsentrasi tegangan dan untuk menganalisis jarak antar lubang dan dimensi lubang tambahan yang optimal.

Penelitian dilakukan dengan membuat model elemen hingga dari pelat dengan satu lubang di tengah, dengan beban tarik aksial. Setelah model ini divalidasi, dilanjutkan dengan menambahkan lubang yang lebih kecil di sekitar lubang utama. Selanjutnya dengan menggunakan *software* Ansys 9, dilakukan analisis elemen hingga dengan bervariasi jarak antar lubang dan dimensi lubang tambahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya lubang tambahan cukup signifikan dalam mereduksi konsentrasi tegangan. Makin besar diameter lubang tambahan, maka reduksi konsentrasi tegangan semakin besar. Harga konsentrasi tegangan terendah diperoleh dengan memberikan lubang tambahan dengan ukuran diameter yang mendekati ukuran diameter lubang utama ($d/D=0.8$ s/d 0.9). Reduksi konsentrasi tegangan juga dipengaruhi oleh lokasi lubang tambahan. Jarak lokasi lubang tambahan yang terlalu dekat atau terlalu jauh dari lubang utama tidak signifikan dalam mereduksi konsentrasi tegangan. Jarak antar lubang yang optimal dalam menurunkan konsentrasi tegangan berkisar pada $d/D=1$ sampai dengan $d/D=1.25$. Dengan menggunakan diameter dan lokasi lubang tambahan yang optimal konsentrasi tegangan dapat direduksi hingga 18%.

Kata kunci : konsentrasi tegangan, analisis elemen hingga, Ansys 9

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	1
HALAMAN IDENTITAS	ii
PENGANTAR	iii
RINGKASAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah	2
D. Tujuan Penelitian	2
E. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Faktor Konsentrasi Tegangan	
B. Metode Elemen Hingga	
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	9
A. Metodologi	9
B. Variabel Penelitian	11
C. Pemodelan Elemen Hingga	12
D. Pengolahan Data	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
A. Hasil	15
B. Pembahasan	17
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	20
A. Kesimpulan	20
B. Saran	20
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Diameter lubang utama, $D = 0.2 \text{ m}$ ($D/b=0.5$)	12

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 1	Diskontinuitas yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan	3
Gambar 2	Konsentrasi tegangan pada pelat berlubang	4
Gambar 3	Faktor konsentrasi tegangan	6
Gambar 4	Membuat fillet radius	6
Gambar 5	Menambah beberapa takik yang lebih kecil	7
Gambar 6	Membuat alur mengurangi tegangan	7
Gambar 7	Metodologi penelitian	10
Gambar 8	Objek penelitian	11
Gambar 9	Hasil analisis elemen hingga pelat dengan $D = 0.2$ m	13
Gambar 10	Grafik K vs a/D untuk $D/b = 0.5$	15
Gambar 11	Grafik K vs a/D untuk $D/b = 0.35$	16
Gambar 12	Grafik K vs a/D untuk $D/b = 0.2$	17
Gambar 13	Distribusi tegangan pelat dengan lubang tambahan	18
Gambar 14	Grafik konsentrasi tegangan (K_t) vs D/b	19

BAB 1

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Konsentrasi tegangan adalah fenomena dimana nilai tegangan yang sebenarnya pada suatu komponen, jauh lebih tinggi dari nilai nominalnya. Hal ini disebabkan adanya diskontinuitas geometri seperti adanya lubang, sudut yang tajam, perubahan penampang, takikan, alur, retak dan sebagainya. Lokasi konsentrasi tegangan adalah di sekitar daerah yang mengalami diskontinuitas geometri tersebut. Tegangan lokal yang tinggi dapat menyebabkan komponen mesin yang mengalami beban fatik, gagal lebih cepat. Hal ini disebabkan karena terjadinya retak biasanya bermula pada daerah konsentrasi tegangan. Oleh karena itu para ahli teknik harus mendisain geometri komponen dengan meminimalkan terjadinya konsentrasi tegangan.

Pada struktur pelat berlubang, usaha untuk mereduksi konsentrasi tegangan, merupakan hal yang sangat penting, mengingat struktur pelat sangat banyak digunakan dalam konstruksi teknik, seperti pada badan dan sayap pesawat terbang, badan mobil, kulit kapal dan lain sebagainya. Salah satu usaha untuk mereduksi tegangan pada pelat berlubang di tengah dengan beban aksial adalah, dengan memberikan lubang tambahan yang lebih kecil di sekitar lubang utama. Besar reduksi konsentrasi tegangan ini bervariasi, tergantung pada lokasi dan dimensi lubang tambahan.

Untuk mengetahui pengaruh lokasi dan diameter lubang tambahan terhadap reduksi konsentrasi tegangan diperlukan suatu analisis yang komprehensif dengan melakukan banyak eksperimen. Karena eksperimen secara fisik cukup mahal dan memakan waktu yang lama, maka eksperimen komputer dengan menggunakan metode elemen hingga menjadi pilihan untuk analisis reduksi tegangan tersebut. Dengan diketahuinya hubungan antara lokasi lubang, yaitu jarak antar lubang dan dimensi lubang tambahan, terhadap reduksi konsentrasi tegangan, diharapkan akan diperoleh lokasi dan dimensi lubang tambahan yang optimal, yang akan menghasilkan nilai tegangan yang paling rendah.

B. PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh lokasi lubang tambahan atau jarak antar lubang terhadap reduksi konsentrasi tegangan pada struktur pelat berlubang?
- b. Bagaimana pengaruh dimensi lubang tambahan terhadap reduksi konsentrasi tegangan pada struktur pelat berlubang?
- c. Berapakah jarak antar lubang dan diameter lubang tambahan yang optimal?

C. BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini analisis reduksi tegangan dilakukan pada pelat terbatas dengan lubang di tengah dengan beban tarik aksial. Analisis reduksi tegangan dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan *software* ANSYS versi 9.

D. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh lokasi lubang atau jarak antar lubang tambahan terhadap reduksi konsentrasi tegangan.
2. Menganalisis pengaruh dimensi lubang tambahan terhadap reduksi konsentrasi tegangan.
3. Menganalisis jarak antar lubang dan dimensi lubang tambahan yang optimal.

E. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

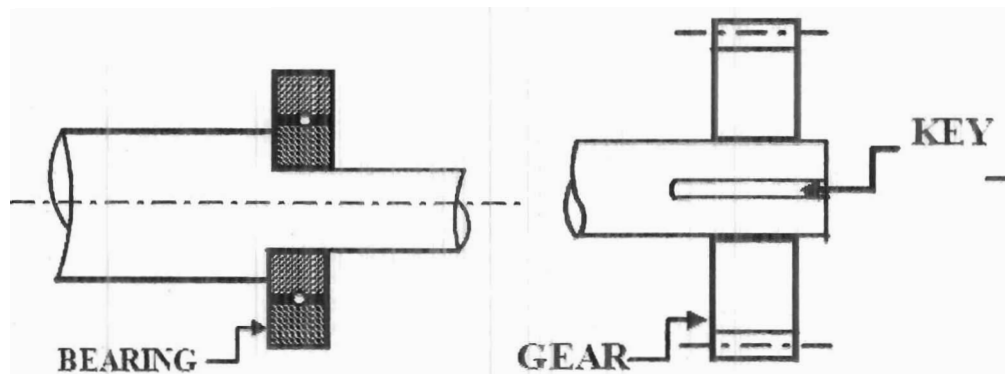
1. Memberikan informasi kepada pihak-pihak yang terkait dengan perancangan teknik terutama yang melibatkan struktur pelat, tentang pengaruh jarak antar lubang dan dimensi lubang tambahan terhadap reduksi konsentrasi tegangan.
2. Memberi contoh penggunaan metode elemen hingga sebagai alternatif dalam melakukan eksperimen, menggantikan eksperimen secara fisik, dalam penelitian yang memerlukan eksperimen secara massal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

A. FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN

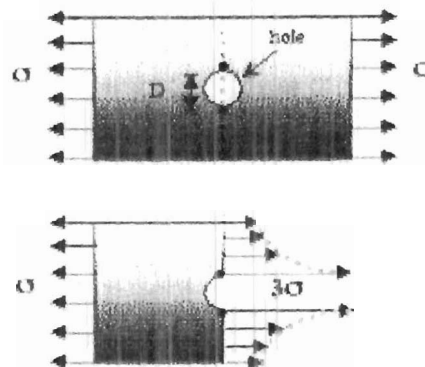
Rumus-rumus yang telah ditinjau untuk menghitung tegangan-tegangan sederhana yang disebabkan oleh gaya tarik, tekan, momen tekuk/lengkung dan momen puntir dapat diterapkan dengan memenuhi persyaratan yang jelas. Salah satu syaratnya adalah bahwa geometri dari batang harus merata pada keseluruhan penampang yang ditinjau. Dalam banyak situasi perancangan suatu mesin, diperlukan geometri-geometri yang tidak kontinu, sehingga komponen-komponen yang dirancang tersebut dapat berfungsi seperti yang diharapkan. Sebagai contoh, poros yang membawa roda gigi, sprocket rantai, atau cakra sabuk biasanya memiliki beberapa diameter yang mempunyai sederetan bahu-bahu untuk mendudukan anggota-anggota transmisi dan bantalan-bantalan penumpu. Alur-alur pada poros dibuat untuk kedudukan pemasangan cincin-cincin penahan. Dudukan pasak pada poros dikerjakan sehingga memungkinkan pasak untuk dapat meneruskan gerakan ke elemen-elemen mesin (Mott, 2009). Contoh diskontinuitas pada poros dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diskontinuitas yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan

Contoh lain dari diskontinuitas adalah lubang pada struktur pelat di pesawat yang digunakan sebagai lubang sambungan keling, baut, jendela dan lain sebagainya. Geometri yang tidak kontinu ini akan menyebabkan tegangan maksimal aktual dalam komponen menjadi lebih tinggi dari hasil perkiraan dengan menggunakan rumus sederhana.

Konsentrasi tegangan pada pelat berlubang, di bawah beban tarik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsentrasi tegangan pada pelat berlubang

Dengan menentukan faktor konsentrasi tegangan sebagai faktor penentu seberapa besar tegangan maksimal aktual melampaui tegangan nominal, σ_{nom} atau τ_{nom} , yang diperkirakan dari persamaan-persamaan sederhana, memungkinkan kita untuk dapat menganalisis situasi tersebut. Faktor konsentrasi tegangan dilambangkan dengan K_t , dan besarnya K_t adalah (Mott, 2009) :

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

atau

$$K_t = \frac{\tau_{max}}{\tau_{nom}} \quad (2)$$

Dimana

K_t = faktor konsentrasi tegangan

σ_{max} = tegangan normal aktual (Pa)

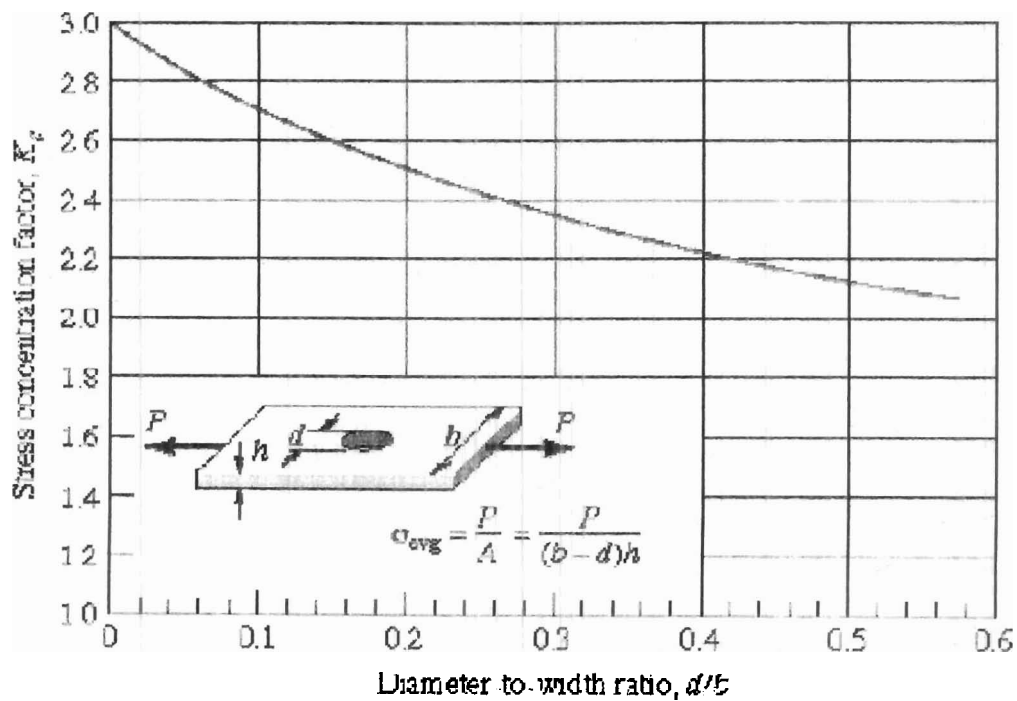
τ_{max} = tegangan geser aktual (Pa)

σ_{nom} = tegangan normal nominal (Pa)

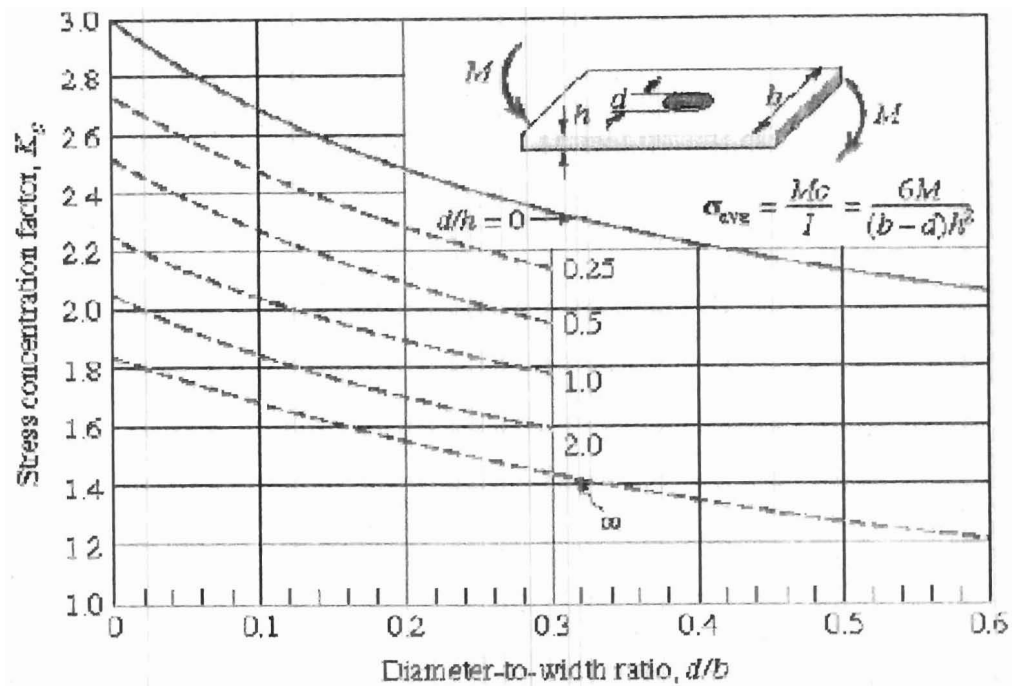
τ_{nom} = tegangan geser nominal (Pa)

Tegangan nominal dihitung dengan menggunakan penampang bersih di sekitar lokasi yang tidak kontinu. Sebagai contoh untuk pelat datar yang mempunyai lubang di

tengahnya, dan dibebani gaya tarik, maka tegangan nominal dihitung sebagai gaya dibagi dengan luas penampang minimal dari penampang yang melintasi lokasi lubang tersebut. Nilai K_t tergantung pada bentuk diskontinuitas, geometri yang spesifik dan jenis tegangan. Nilai faktor konsentrasi tegangan biasanya diperoleh dari eksperimen menggunakan analisis photoelastik, *strain gage* dan sebagainya. Dalam beberapa kasus nilai faktor konsentrasi tegangan juga bisa diperoleh dari analisis matematik atau teori elastisitas. Beberapa diagram yang menunjukkan nilai faktor konsentrasi tegangan untuk pelat berlubang dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)

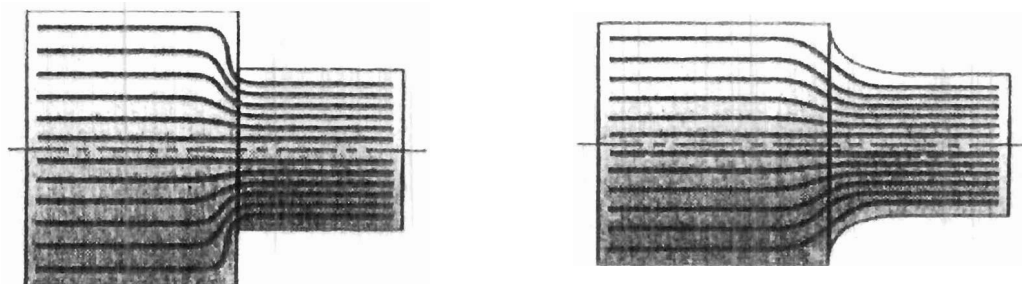


(b)

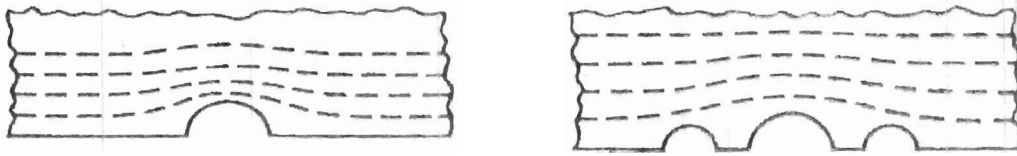
Gambar 3 Faktor konsentrasi tegangan
 a. Faktor konsentrasi tegangan pada pelat berlubang, beban aksial (Collins, 1981)
 b. Faktor konsentrasi tegangan pada pelat berlubang, beban bending (Collins, 1981)

Beberapa metode yang dilakukan untuk mengurangi konsentrasi tegangan adalah sebagai berikut :

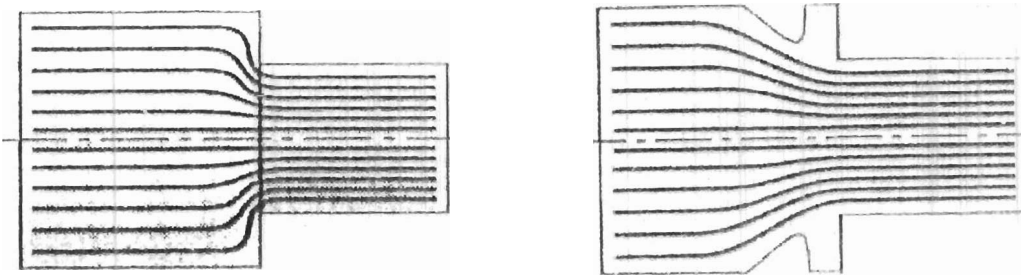
1. Membuat fillet radius sehingga penampang berubah secara bertahap seperti pada Gambar 3.
2. Jika suatu takik tidak bisa dihindarkan, lebih baik menambah beberapa takik yang lebih kecil di sekitarnya seperti pada Gambar 4.
3. Membuat alur untuk mengurangi tegangan seperti pada Gambar 5.



Gambar 4. Membuat fillet radius



Gambar 5. Menambah beberapa takik yang lebih kecil



Gambar 6. Membuat alur mengurangi tegangan

Untuk struktur pelat, mengurangi konsentrasi tegangan di sekitar lubang pada pelat terbatas merupakan suatu pertimbangan penting dalam disain teknik. Salah satu metode untuk mengurangi konsentrasi tegangan pada pelat terbatas dengan beban aksial adalah dengan menambahkan lubang yang lebih kecil di kedua sisi lubang utama dengan tujuan untuk memperhalus aliran lintasan tegangan utama di sekitar lubang.

B. METODE ELEMEN HINGGA

Metode elemen hingga adalah teknik numerik yang memberikan solusi perkiraan terhadap persamaan diferensial yang muncul dalam masalah teknik dan fisika. Dalam metode elemen hingga, masalah yang dianalisa didefinisikan dalam ruang geometri, yang dibagi menjadi sejumlah terbatas daerah yang lebih kecil (*meshing*). Dengan metode elemen hingga, variable yang tidak diketahui, seperti tegangan, temperature, kecepatan, dan lain-lain, diperkirakan dengan suatu fungsi yang sudah diketahui. Fungsi ini dapat berupa fungsi linier atau fungsi ekspansi polinomial tingkat tinggi yang tergantung pada lokasi geometri (*node*) yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk elemen. Persamaan *governing* pada metode elemen hingga diintegrasikan pada tiap-tiap elemen, dan solusi diperoleh dengan penjumlahan untuk semua daerah geometri (*Pepper, 1992*).

Berbagai spesialisasi di bawah payung teknik mesin, seperti ilmu penerbangan, biomekanik dan industri otomotif biasanya menggunakan integrasi metode elemen hingga dalam disain dan pengembangan produk mereka. Dalam simulasi struktur, metode elemen hingga memberikan kontribusi yang sangat signifikan dalam menghasilkan visualisasi kekakuan dan kekuatan, sekaligus dengan meminimalkan berat, material, dan ongkos produksi.

Metode elemen hingga memberikan visualisasi dimana struktur akan mengalami beban tekuk, puntir atau beban lainnya. Dengan metode elemen hingga akan diperoleh distribusi tegangan dan perpindahan dari struktur. *Software* elemen hingga memberikan banyak pilihan simulasi untuk mengontrol kompleksitas model dan analisis system. Dengan metode elemen hingga, memungkinkan untuk mengkonstruksi, memperbaiki dan mengoptimasikan disain sebelum dilakukan proses manufaktur.

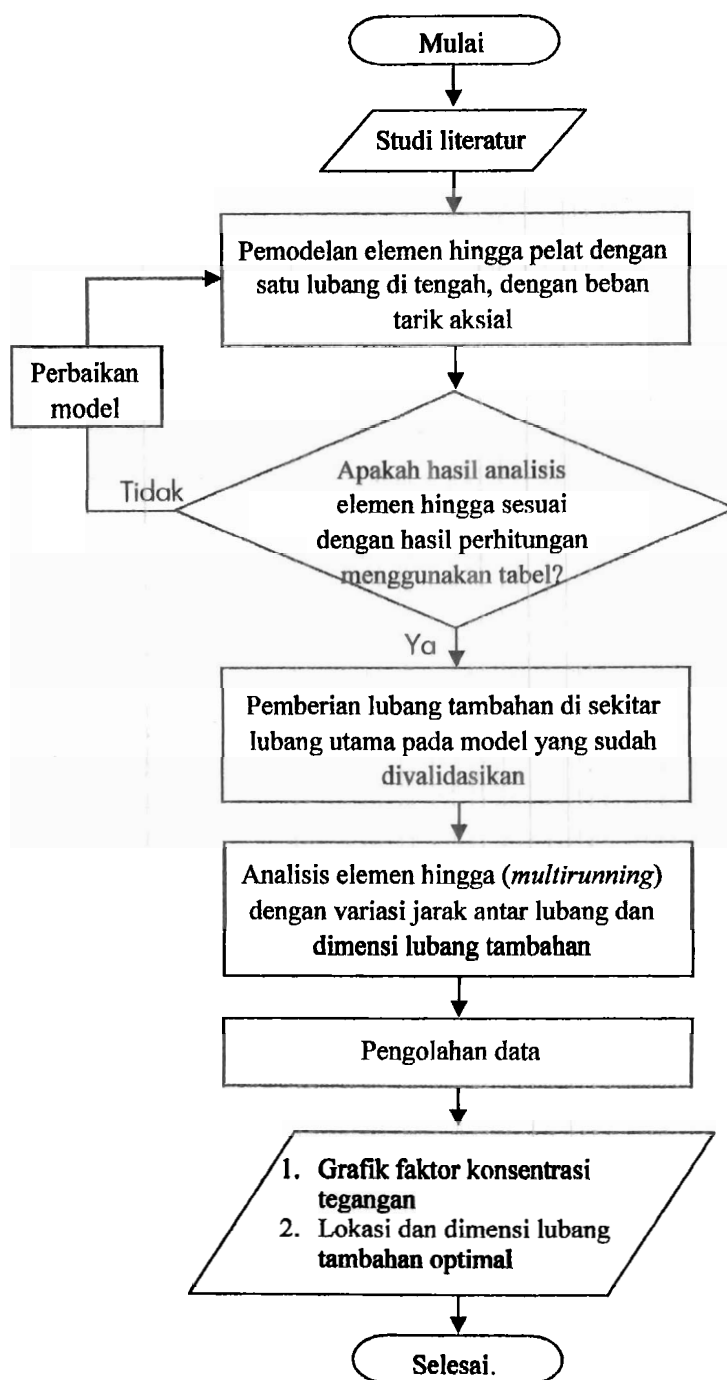
IK PERPUSTAKAAN
J. NEGERI PADANG

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

A. METODOLOGI

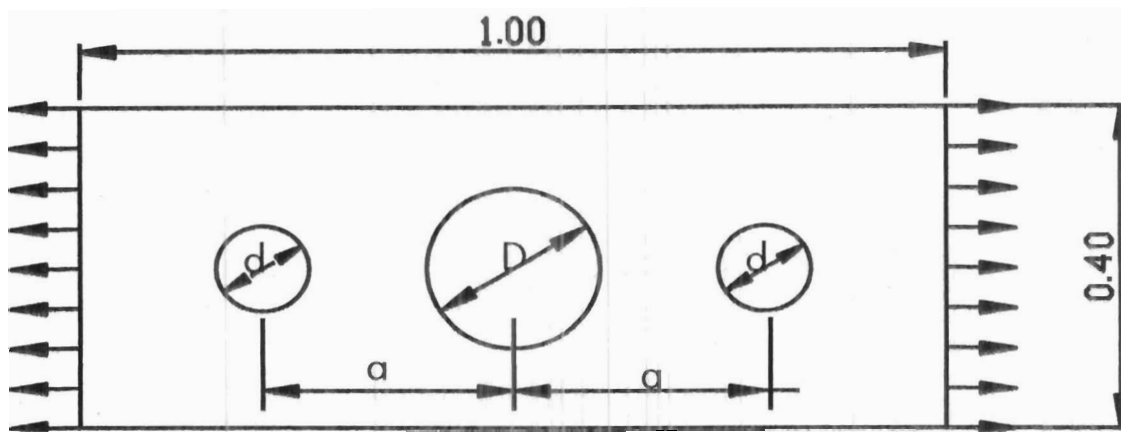
Secara umum metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk analisis elemen hingga, dibuat model pelat terbatas dengan lubang di tengah, dengan beban aksial tarik. Untuk memberikan tingkat keyakinan akan akurasi dari pemodelan numerik, proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis elemen hingga dengan hasil perhitungan menggunakan tabel faktor konsentrasi tegangan untuk kasus pelat berlubang di tengah. Jika hasil analisis elemen hingga sudah sesuai dengan hasil perhitungan menggunakan tabel faktor konsentrasi tegangan, pemodelan dilanjutkan dengan penambahan lubang yang akan divariasikan lokasi dan dimensinya dan model dianalisis untuk mengetahui tegangan maksimum. Hasil analisis kasus untuk tiap variasi akan diolah untuk mendapatkan nilai lokasi lubang dan dimensi lubang tambahan yang optimal dalam mereduksi tegangan.



Gambar 7. Metodologi penelitian

B. VARIABEL PENELITIAN

Model pelat dibuat dengan geometri seperti terlihat pada Gambar 7, yaitu panjang 1 m, lebar (b) 0.4 m dan ketebalan 0.01 m. Pelat terbuat dari baja dengan modulus elastisitas (E) $2.07 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, dan *poison ratio* 0.29. Pelat diberi beban *pressure* sebesar 1 N/m^2 pada sisi pelat. Diameter lubang utama (D) dibuat dalam 3 variasi yaitu 0.08 m, 0.14 m dan 0.2 m.



Gambar 8. Objek penelitian

Dalam hal ini, yang menjadi variabel penelitian adalah :

1. Jarak antar lubang (a)
2. Dimensi lubang tambahan (d)

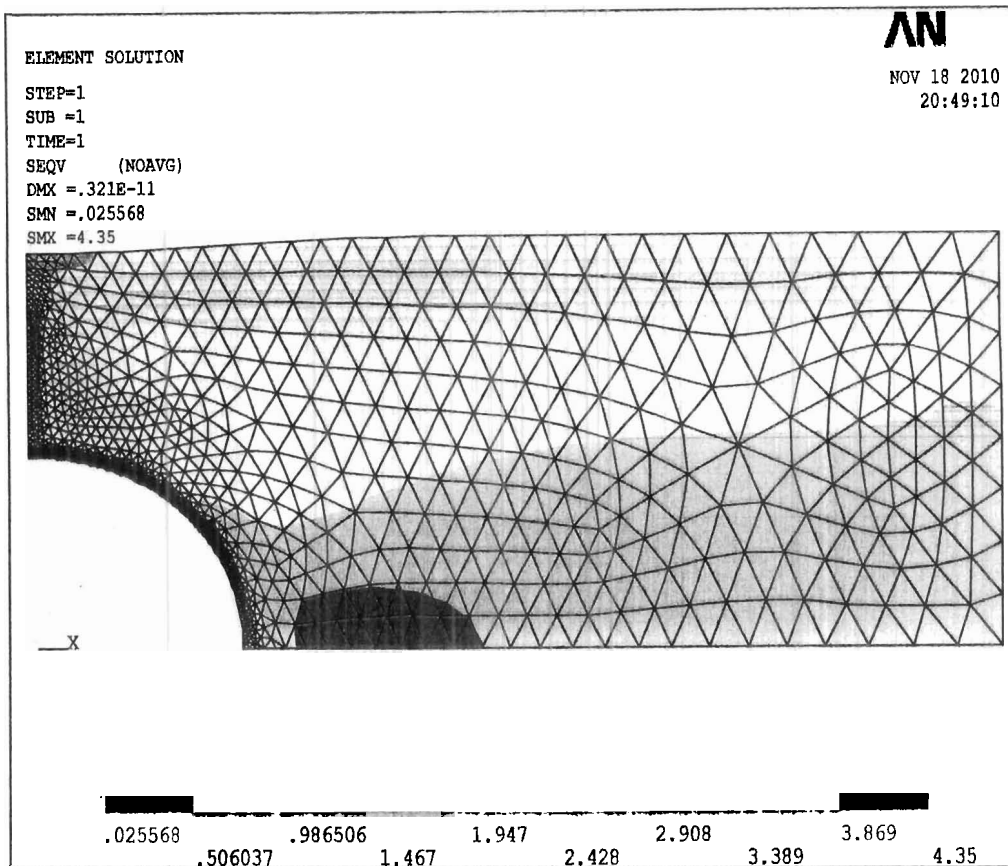
Contoh variasi diameter lubang tambahan dan lokasi lubang tambahan dapat dilihat pada Tabel 1. Tegangan maksimum diperoleh dari analisis elemen hingga menggunakan Ansys 9. Faktor konsentrasi tegangan pada tabel adalah perbandingan antara tegangan maksimum pelat dengan lubang tambahan dengan tegangan maksimum pelat tanpa lubang tambahan.

Tabel 1. Diameter lubang utama, $D = 0.2$ m ($D/b=0.5$)

No	Lubang tambahan				Tegangan max (Pa)	Faktor konsentrasi tegangan(K)
	Diameter, d (m)	d/D	Jarak antar lubang, a (m)	a/D		
1	0.18	0.9	0.2125	1.063		
2	0.18	0.9	0.2125	1.063		
3	0.18	0.9	0.2125	1.063		
4	0.18	0.9	0.225	1.125		
5	0.16	0.8	0.1875	0.938		
6	0.16	0.8	0.2	1.000		
7	0.16	0.8	0.2125	1.063		
8	0.16	0.8	0.225	1.125		
9	0.14	0.7	0.175	0.875		
10	0.14	0.7	0.1875	0.938		
11	0.14	0.7	0.2	1.000		
12	0.14	0.7	0.2125	1.063		
13	0.14	0.7	0.225	1.125		
14	0.12	0.6	0.175	0.875		
15	0.12	0.6	0.1875	0.938		
16	0.12	0.6	0.2	1.000		
17	0.12	0.6	0.2125	1.063		
18	0.12	0.6	0.225	1.125		
19	0.12	0.6	0.275	1.375		
20	0.12	0.6	0.2875	1.438		
21	0.1	0.5	0.175	0.875		
22	0.1	0.5	0.1875	0.938		
23	0.1	0.5	0.2	1.000		
24	0.1	0.5	0.2125	1.063		
25	0.1	0.5	0.225	1.125		

C. PEMODELAN ELEMEN HINGGA

Karena geometri dan pembebanan pelat simetri terhadap terhadap sumbu horizontal dan vertikal, maka kita dapat menggunakan seperempat pelat untuk model elemen hingga. Hasil analisis elemen hingga untuk pelat dengan diameter lubang utama, $D = 0.2$ dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 9. Hasil analisis elemen hingga pelat dengan $D = 0.2$ m

Dari hasil analisis elemen hingga diperoleh tegangan maksimum adalah 4.35 Pa. Jika tegangan maksimum dihitung menggunakan faktor konsentrasi tegangan, diperoleh tegangan maksimum adalah

$$\sigma_{max} = Kt \times \sigma_{nom}$$

Dari Gambar 3, diketahui bahwa untuk diameter lubang, $D = 0.2$ m ($D/b = 0.5$) harga Kt adalah 2.17. Maka nilai tegangan maksimum adalah

$$\sigma_{max} = 2.17 \times \frac{1 \times 0.4 \times 0.01}{(0.4 - 0.2) \times 0.01}$$

$$\sigma_{max} = 4.34 \text{ Pa}$$

Terlihat bahwa hasil analisis elemen hingga tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan menggunakan faktor konsentrasi tegangan, dengan *error* 0.2 %. Dengan demikian model elemen hingga pelat dianggap sudah valid. Selanjutnya dilakukan penambahan lubang yang lebih kecil dengan variasi lokasi dan diameter lubang tambahan.

D. PENGOLAHAN DATA

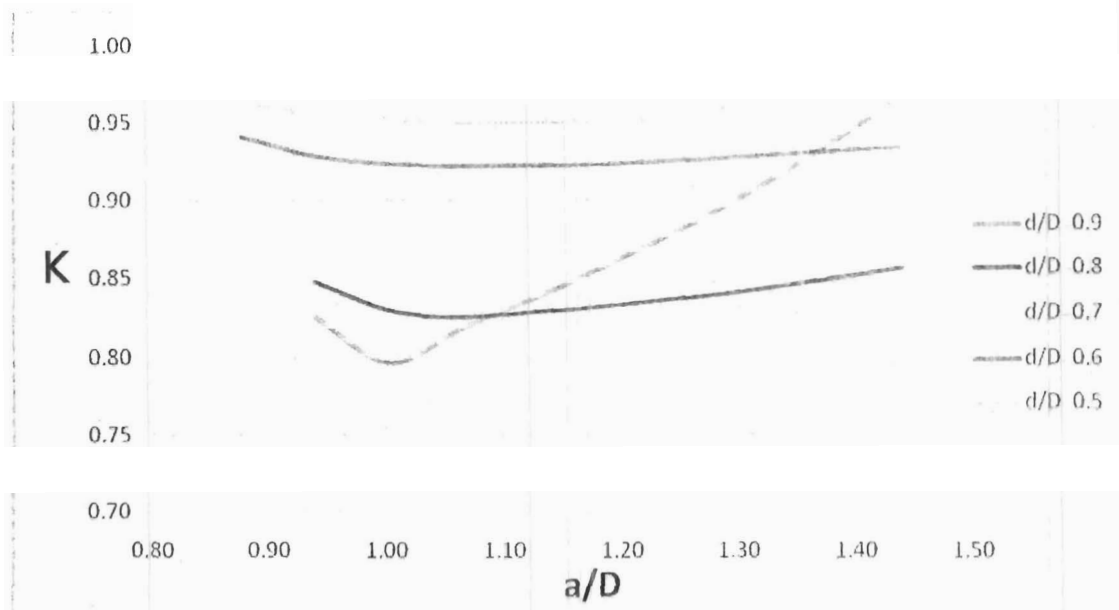
Dari hasil analisis elemen hingga, diperoleh data tegangan maksimum. Tegangan maksimum ini akan diperbandingkan dengan tegangan maksimum pelat tanpa lubang tambahan untuk mengetahui faktor konsentrasi tegangan pelat dengan lubang tambahan. Data-data diolah sehingga diperoleh grafik faktor konsentrasi tegangan sebagai fungsi dari rasio a/D dan diperbandingkan untuk tiap variasi d/D dan D/b yang berbeda. Dengan demikian akan terlihat lokasi dan diameter lubang tambahan yang memberikan konsentrasi tegangan yang terendah.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL

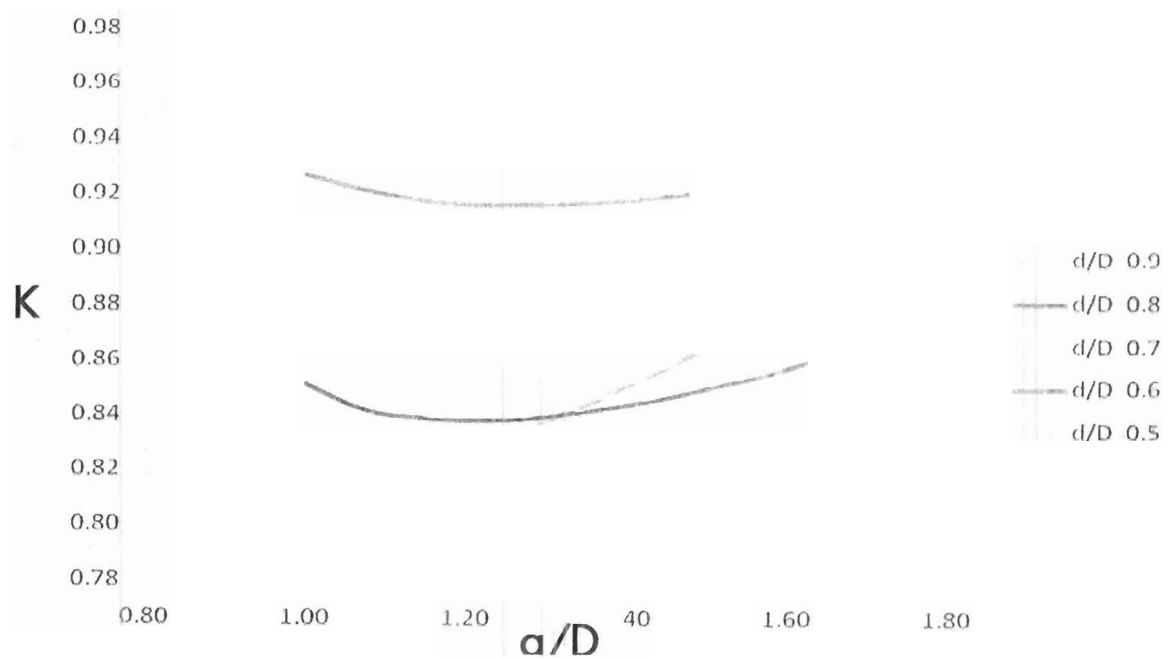
Hasil analisis elemen hingga untuk diameter lubang utama 0.2 m ($D/b = 0.5$), 0.14 m ($D/b = 0.35$) dan 0.08 m ($D/b = 0.2$) dengan variasi lokasi dan dimensi lubang tambahan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran. Lokasi dan diameter lubang tambahan ditampilkan sebagai fungsi dari D , diameter lubang utama. Grafik nilai konsentrasi tegangan sebagai fungsi dari a/D dapat dilihat pada Gambar 9, 10 dan 11.



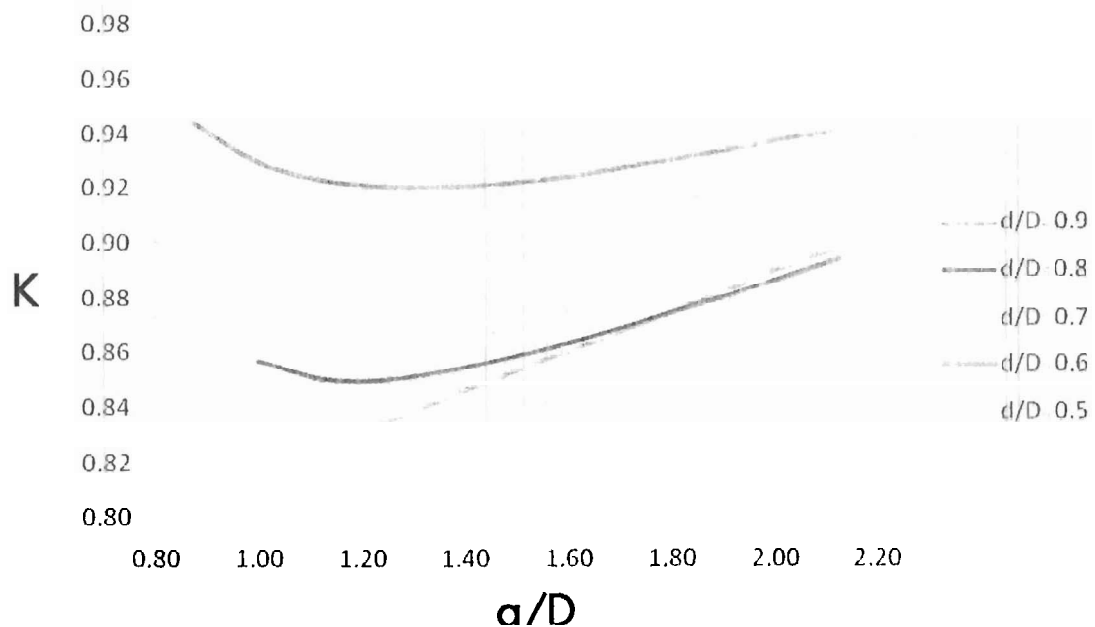
Gambar 10. Grafik K vs a/D untuk $D/b = 0.5$

Pada Gambar 9, untuk beberapa ukuran diameter lubang tambahan ($d/D=0.5$ sampai dengan $d/D=0.9$), secara umum terlihat bahwa terdapat suatu titik a/D tertentu yang memberikan nilai konsentrasi tegangan terendah. Untuk pelat dengan $D/b = 0.5$, konsentrasi tegangan terendah terjadi pada nilai $a/D = 1$. Pada titik ini, harga konsentrasi tegangan terendah diberikan oleh diameter lubang tambahan terbesar, yaitu $d/D=0.9$. Dari grafik juga terlihat bahwa ukuran diameter lubang tambahan yang lebih besar (mendekati ukuran diameter utama) cenderung memberikan harga konsentrasi tegangan yang lebih rendah. Untuk diameter lubang tambahan terbesar ($d/D=0.9$), penambahan jarak antar lubang, memberikan kenaikan konsentrasi tegangan yang lebih tajam dibandingkan lubang tambahan yang lebih kecil.

Hal ini terjadi secara konsisten pada pelat dengan $D/b = 0.35$ dan $D/b = 0.2$. Pada Gambar 10, untuk $D/b = 0.35$, secara umum harga konsentrasi tegangan terendah terjadi pada $a/D = 1.2$. Pada Gambar 11, untuk pelat dengan $D/b = 0.2$, secara umum harga konsentrasi tegangan terendah terjadi pada $a/D = 1.25$. Pada grafik juga terlihat bahwa untuk diameter lubang tambahan terbesar, $d/D = 0.9$, penambahan jarak antar lubang, a/D , menghasilkan kenaikan konsentrasi tegangan yang lebih tajam dibandingkan lubang tambahan yang lebih kecil. Secara konsisten terlihat bahwa ukuran diameter lubang tambahan yang mendekati ukuran diameter lubang utama akan menghasilkan konsentrasi tegangan yang lebih rendah.



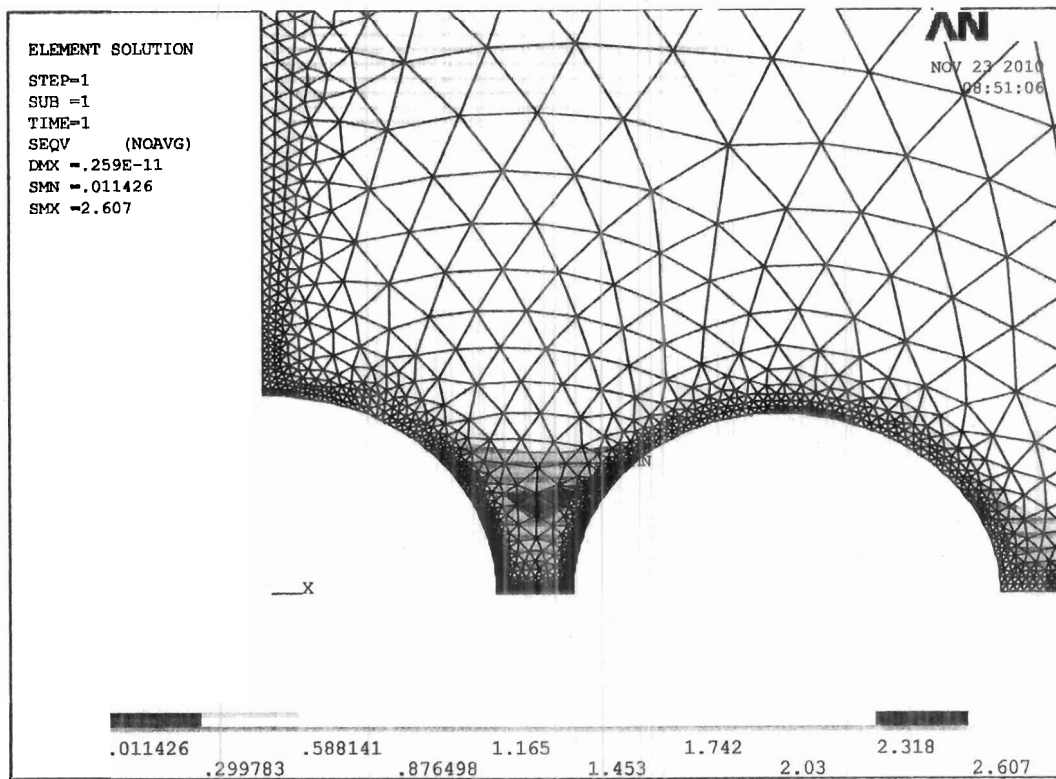
Gambar 11. Grafik K vs a/D untuk $D/b = 0.35$



Gambar 12. Grafik K vs a/D untuk $D/b = 0.2$

B. PEMBAHASAN

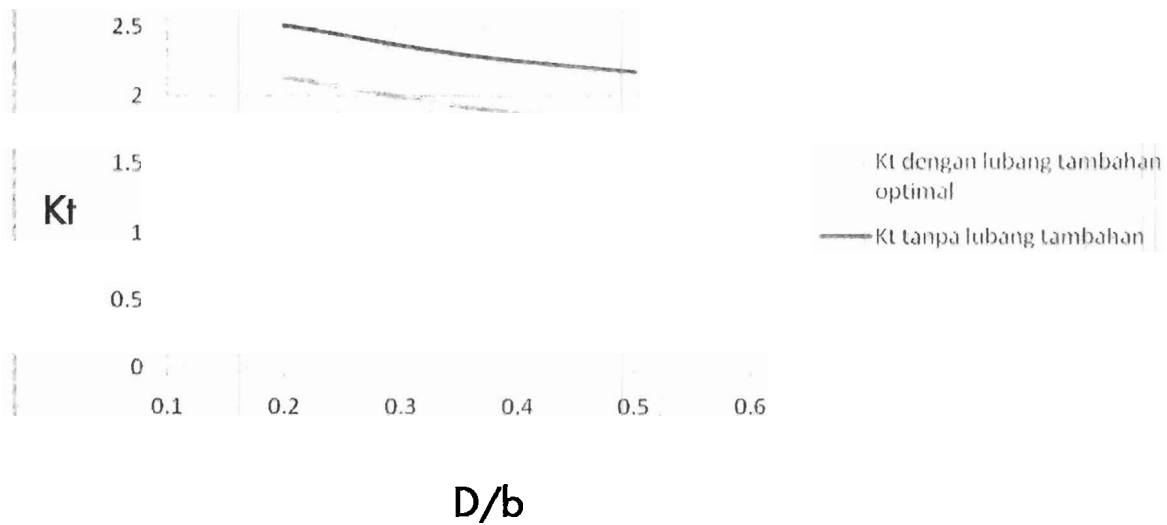
Pada prinsipnya, konsentrasi tegangan terjadi karena perubahan penampang yang secara tiba-tiba menyebabkan aliran lintasan tegangan pada penampang tersebut cukup padat sehingga menyebabkan konsentrasi tegangan yang cukup tinggi. Penambahan lubang yang lebih kecil di sekitar pelat berlubang, akan memperhalus aliran lintasan tegangan tarik utama, sehingga menghasilkan konsentrasi tegangan yang lebih rendah. Penambahan lubang di sekitar lubang utama, menyebabkan konsentrasi tegangan tidak hanya terpusat di sekitar lubang utama, tapi juga terdistribusi di sekitar lubang tambahan, dengan harga tegangan yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi tanpa lubang tambahan. Ini tentunya meningkatkan ketangguhan pelat terutama terhadap beban impak atau beban fatik. Contoh distribusi tegangan pada pelat dengan lubang tambahan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 13. Distribusi tegangan pelat dengan lubang tambahan.

Secara umum, hasil analisis elemen hingga menunjukkan bahwa pemberian lubang tambahan, mampu mereduksi konsentrasi tegangan maksimum sampai 18%. Reduksi konsentrasi tegangan dipengaruhi oleh diameter dan lokasi lubang tambahan. Makin besar diameter lubang tambahan, maka reduksi konsentrasi tegangan semakin besar. Harga konsentrasi tegangan terendah diperoleh dengan memberikan lubang tambahan dengan ukuran diameter yang mendekati ukuran diameter lubang utama ($d/D=0.8$ s/d 0.9). Hasil analisis elemen hingga juga menunjukkan jarak lokasi lubang tambahan yang terlalu dekat atau terlalu jauh dari lubang utama tidak signifikan dalam mereduksi konsentrasi tegangan. Jarak antar lubang yang optimal dalam menurunkan konsentrasi tegangan berkisar pada $d/D=1$ s/d $d/D=1.25$. Untuk rasio D/b yang berbeda, titik optimal a/D juga sedikit berbeda. Ini menunjukkan bahwa jarak antar lubang yang optimal tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang utama, tapi juga dipengaruhi oleh lebar pelat. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh lebar pelat terhadap jarak optimal lubang tambahan. Berikut adalah grafik perbandingan harga konsentrasi tegangan (K_t) untuk kasus tegangan pelat tanpa lubang dengan pelat dengan tegangan pelat lubang

tambahan yang optimal. Faktor konsentrasi tegangan (K_t) disini adalah rasio antara tegangan maksimal dengan tegangan nominal. Terlihat bahwa dengan lokasi dan diameter lubang tambahan yang optimal, dapat mereduksi konsentrasi tegangan hingga 18%.



Gambar 14. Grafik konsentrasi tegangan (K_t) vs D/b .

BAB 4

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Reduksi konsentrasi tegangan dipengaruhi oleh diameter lubang tambahan. Makin besar diameter lubang tambahan, maka reduksi konsentrasi tegangan semakin besar. Harga konsentrasi tegangan terendah diperoleh dengan memberikan lubang tambahan dengan ukuran diameter yang mendekati ukuran diameter lubang utama ($d/D=0.8$ s/d 0.9).
2. Reduksi konsentrasi tegangan juga dipengaruhi oleh lokasi lubang tambahan. Jarak lokasi lubang tambahan yang terlalu dekat atau terlalu jauh dari lubang utama tidak signifikan dalam mereduksi konsentrasi tegangan. Jarak antar lubang yang optimal dalam menurunkan konsentrasi tegangan berkisar pada $d/D=1$ sampai dengan $d/D=1.25$.
3. Dengan menggunakan diameter dan lokasi lubang tambahan yang optimal konsentrasi tegangan dapat direduksi hingga 18%.

B. SARAN

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh lebar pelat terhadap lokasi lubang tambahan yang optimal.
2. Untuk hasil yang lebih akurat, hasil analisis elemen hingga dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen dengan metode photoelastis

DAFTAR PUSTAKA

Mott, L Robert (2009), *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Norton, L Robert (2006), *Machine Design*, Prentice Hall, New Jersey

Pepper W Darrel (1992), *The Finite Element Method*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.

LAMPIRAN

Tabel L-1. Hasil analisis elemen hingga, $D=0.2$ m, $D/b=0.5$

No	Lubang tambahan				Tegangan max (Pa)	Faktor konsentrasi tegangan
	Diameter, d (m)	d/D	Jarak antar lubang, a (m)	a/D		
1	0.18	0.9	0.188	0.938	3.592	0.826
2	0.18	0.9	0.200	1.000	3.465	0.797
3	0.18	0.9	0.213	1.063	3.559	0.818
4	0.18	0.9	0.225	1.125	3.644	0.838
5	0.18	0.9	0.238	1.188	3.735	0.859
6	0.18	0.9	0.250	1.250	3.833	0.881
7	0.18	0.9	0.263	1.313	3.943	0.906
8	0.18	0.9	0.275	1.375	4.065	0.934
9	0.18	0.9	0.288	1.438	4.202	0.966
10	0.16	0.8	0.188	0.938	3.690	0.848
11	0.16	0.8	0.200	1.000	3.610	0.830
12	0.16	0.8	0.213	1.063	3.590	0.825
13	0.16	0.8	0.225	1.125	3.602	0.828
14	0.16	0.8	0.238	1.188	3.619	0.832
15	0.16	0.8	0.250	1.250	3.638	0.836
16	0.16	0.8	0.263	1.313	3.663	0.842
17	0.16	0.8	0.275	1.375	3.692	0.849
18	0.16	0.8	0.288	1.438	3.721	0.855
19	0.14	0.7	0.175	0.875	4.101	0.943
20	0.14	0.7	0.188	0.938	3.880	0.892
21	0.14	0.7	0.200	1.000	3.846	0.884
22	0.14	0.7	0.213	1.063	3.836	0.882
23	0.14	0.7	0.225	1.125	3.839	0.883
24	0.14	0.7	0.238	1.188	3.848	0.885
25	0.14	0.7	0.250	1.250	3.861	0.888
26	0.14	0.7	0.263	1.313	3.879	0.892
27	0.14	0.7	0.275	1.375	3.898	0.896
28	0.14	0.7	0.288	1.438	3.919	0.901
28	0.12	0.6	0.175	0.875	4.094	0.941
29	0.12	0.6	0.188	0.938	4.040	0.929
30	0.12	0.6	0.200	1.000	4.019	0.924
31	0.12	0.6	0.213	1.063	4.012	0.922
32	0.12	0.6	0.225	1.125	4.011	0.922
33	0.12	0.6	0.238	1.188	4.015	0.923
34	0.12	0.6	0.250	1.250	4.024	0.925
35	0.12	0.6	0.263	1.313	4.034	0.927

36	0.12	0.6	0.275	1.375	4.047	0.930
37	0.12	0.6	0.288	1.438	4.061	0.934
38	0.1	0.5	0.175	0.875	4.189	0.963
39	0.1	0.5	0.188	0.938	4.159	0.956
40	0.1	0.5	0.200	1.000	4.145	0.953
41	0.1	0.5	0.213	1.063	4.137	0.951
42	0.1	0.5	0.225	1.125	4.135	0.951
43	0.1	0.5	0.238	1.188	4.138	0.951
44	0.1	0.5	0.250	1.250	4.141	0.952
45	0.1	0.5	0.263	1.313	4.147	0.953
46	0.1	0.5	0.275	1.375	4.155	0.955
47	0.1	0.5	0.288	1.438	4.164	0.957

Tabel L-2. Hasil analisis elemen hingga, $D=0.14$ m, $D/b=0.35$

No	Lubang tambahan				Tegangan max (Pa)	Faktor konsentrasi tegangan
	Diameter, d (m)	d/D	Jarak antar lubang, a (m)	a/D		
1	0.126	0.9	0.140	1.000	2.847	0.804
2	0.126	0.9	0.150	1.071	2.865	0.809
3	0.126	0.9	0.160	1.143	2.898	0.818
4	0.126	0.9	0.170	1.214	2.929	0.827
5	0.126	0.9	0.180	1.286	2.963	0.837
6	0.126	0.9	0.190	1.357	2.994	0.845
7	0.126	0.9	0.200	1.429	3.028	0.855
8	0.126	0.9	0.210	1.500	3.063	0.865
9	0.126	0.9	0.220	1.571	3.097	0.874
10	0.126	0.9	0.230	1.643	3.135	0.885
11	0.112	0.8	0.140	1.000	3.016	0.851
12	0.112	0.8	0.150	1.071	2.984	0.842
13	0.112	0.8	0.160	1.143	2.972	0.839
14	0.112	0.8	0.170	1.214	2.969	0.838
15	0.112	0.8	0.180	1.286	2.972	0.839
16	0.112	0.8	0.190	1.357	2.982	0.842
17	0.112	0.8	0.200	1.429	2.994	0.845
18	0.112	0.8	0.210	1.500	3.010	0.850
19	0.112	0.8	0.220	1.571	3.029	0.855
20	0.112	0.8	0.230	1.643	3.050	0.861
21	0.098	0.7	0.140	1.000	3.164	0.893
22	0.098	0.7	0.150	1.071	3.139	0.886
23	0.098	0.7	0.160	1.143	3.128	0.883
24	0.098	0.7	0.170	1.214	3.122	0.881

~~CONFIDENTIAL~~

25	0.098	0.7	0.180	1.286	3.124	0.882
26	0.098	0.7	0.190	1.357	3.128	0.883
27	0.098	0.7	0.200	1.429	3.136	0.885
28	0.098	0.7	0.210	1.500	3.148	0.889
28	0.098	0.7	0.220	1.571	3.161	0.892
29	0.098	0.7	0.230	1.643	3.177	0.897
30	0.084	0.6	0.140	1.000	3.283	0.927
31	0.084	0.6	0.150	1.071	3.265	0.922
32	0.084	0.6	0.160	1.143	3.252	0.918
33	0.084	0.6	0.170	1.214	3.246	0.916
34	0.084	0.6	0.180	1.286	3.246	0.916
35	0.084	0.6	0.190	1.357	3.248	0.917
36	0.084	0.6	0.200	1.429	3.253	0.918
37	0.084	0.6	0.210	1.500	3.261	0.921
38	0.084	0.6	0.220	1.571	3.270	0.923
39	0.084	0.6	0.230	1.643	3.281	0.926
40	0.07	0.5	0.140	1.000	3.376	0.953
41	0.07	0.5	0.150	1.071	3.360	0.949
42	0.07	0.5	0.160	1.143	3.350	0.946
43	0.07	0.5	0.170	1.214	3.346	0.945
44	0.07	0.5	0.180	1.286	3.343	0.944
45	0.07	0.5	0.190	1.357	3.344	0.944
46	0.07	0.5	0.200	1.429	3.347	0.945
47	0.07	0.5	0.210	1.500	3.351	0.946
48	0.07	0.5	0.220	1.571	3.358	0.948
49	0.07	0.5	0.230	1.643	3.365	0.950

Tabel L-3. Hasil analisis elemen hingga, D=0.08 m, D/b=0.2

No	Lubang tambahan				Tegangan max (Pa)	Faktor konsentrasi tegangan
	Diameter, d (m)	d/D	Jarak antar lubang, a (m)	a/D		
1	0.072	0.9	0.090	1.125	2.607	0.827
2	0.072	0.9	0.100	1.250	2.634	0.835
3	0.072	0.9	0.110	1.375	2.663	0.845
4	0.072	0.9	0.120	1.500	2.691	0.853
5	0.072	0.9	0.130	1.625	2.719	0.862
6	0.072	0.9	0.140	1.750	2.747	0.871
7	0.072	0.9	0.150	1.875	2.776	0.880
8	0.072	0.9	0.160	2.000	2.806	0.890
9	0.072	0.9	0.170	2.125	2.832	0.898
10	0.064	0.8	0.080	1.000	2.702	0.857
11	0.064	0.8	0.090	1.125	2.682	0.851
12	0.064	0.8	0.100	1.250	2.681	0.850

13	0.084	0.8	0.110	1.375	2.892	0.854
14	0.084	0.8	0.120	1.500	2.797	0.859
15	0.084	0.8	0.130	1.625	2.726	0.865
16	0.084	0.8	0.140	1.750	2.748	0.872
17	0.084	0.8	0.150	1.875	2.771	0.879
18	0.084	0.8	0.160	2.000	2.794	0.886
19	0.084	0.8	0.170	2.125	2.818	0.894
20	0.056	0.7	0.080	1.000	2.829	0.897
21	0.056	0.7	0.090	1.125	2.808	0.891
22	0.056	0.7	0.100	1.250	2.801	0.888
23	0.056	0.7	0.110	1.375	2.805	0.890
24	0.056	0.7	0.120	1.500	2.815	0.893
25	0.056	0.7	0.130	1.625	2.828	0.897
26	0.056	0.7	0.140	1.750	2.845	0.902
27	0.056	0.7	0.150	1.875	2.862	0.908
28	0.056	0.7	0.160	2.000	2.880	0.913
28	0.056	0.7	0.170	2.125	2.898	0.919
29	0.048	0.6	0.070	0.875	2.976	0.944
30	0.048	0.6	0.080	1.000	2.931	0.930
31	0.048	0.6	0.090	1.125	2.910	0.923
32	0.048	0.6	0.100	1.250	2.902	0.920
33	0.048	0.6	0.110	1.375	2.902	0.920
34	0.048	0.6	0.120	1.500	2.907	0.922
35	0.048	0.6	0.130	1.625	2.916	0.925
36	0.048	0.6	0.140	1.750	2.928	0.929
37	0.048	0.6	0.150	1.875	2.940	0.932
38	0.048	0.6	0.160	2.000	2.954	0.937
39	0.048	0.6	0.170	2.125	2.967	0.941
40	0.04	0.5	0.070	0.875	3.044	0.965
41	0.04	0.5	0.080	1.000	3.012	0.955
42	0.04	0.5	0.090	1.125	2.992	0.949
43	0.04	0.5	0.100	1.250	2.984	0.946
44	0.04	0.5	0.110	1.375	2.982	0.946
45	0.04	0.5	0.120	1.500	2.984	0.946
46	0.04	0.5	0.130	1.625	2.990	0.948
47	0.04	0.5	0.140	1.750	2.998	0.951
48	0.04	0.5	0.150	1.875	3.007	0.954
49	0.04	0.5	0.160	2.000	3.017	0.957
50	0.04	0.5	0.170	2.125	3.025	0.959

TAKAN
ADANG

N. N.