

SKRIPSI

**ANALISIS MODEL UJI TARIK PELAT *DOG BONE*
DAN PELAT BERLUBANG DENGAN MATERIAL
ELASTOPLASTIS DAN KRITERIA LELEH VON
MISES MENGGUNAKAN *SCRIPTING* PADA ABAQUS**



**ALVIN TJAHYADI
NPM : 6101901123**

PEMBIMBING: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

KO-PEMBIMBING: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**ANALISIS MODEL UJI TARIK PELAT *DOG BONE*
DAN PELAT BERLUBANG DENGAN MATERIAL
ELASTOPLASTIS DAN KRITERIA LELEH VON
MISES MENGGUNAKAN *SCRIPTING* PADA ABAQUS**



**ALVIN TJAHYADI
NPM : 6101901123**

PEMBIMBING: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

KO-PEMBIMBING: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

UNDERGRADUATE THESIS

**MODEL ANALYSIS OF TENSILE TEST OF
DOGBONE PLATES AND PLATE WITH HOLE WITH
ELASTOPLASTIC MATERIALS AND VON MISES
FAILURE CRITERIA USING SCRIPTING ON
ABAQUS**



**ALVIN TJAHYADI
NPM : 6101901123**

ADVISOR: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

CO-ADVISOR: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK-BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARY 2023**

SKRIPSI

**ANALISIS MODEL UJI TARIK PELAT *DOG BONE*
DAN PELAT BERLUBANG DENGAN MATERIAL
ELASTOPLASTIS DAN KRITERIA LELEH VON
MISES MENGGUNAKAN *SCRIPTING* PADA ABAQUS**



**ALVIN TJAHYADI
NPM : 6101901123**

BANDUNG, 19 Januari 2023

KO-PEMBIMBING:

PEMBIMBING:

Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**ANALISIS MODEL UJI TARIK PELAT *DOG BONE*
DAN PELAT BERLUBANG DENGAN MATERIAL
ELASTOPLASTIS DAN KRITERIA LELEH VON
MISES MENGGUNAKAN *SCRIPTING* PADA ABAQUS**



**ALVIN TJAHYADI
NPM : 6101901123**

PEMBIMBING: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

KO-PEMBIMBING: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

PENGUJI 1: Dr. -Ing. Dina Rubiana Widarda

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Alvin Tjahyadi

NPM : 6101901123

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

Analisis Model Uji Tarik Pelat *Dog Bone* dan Pelat Berlubang dengan Material Elastoplastis dan Kriteria Leleh Von Mises menggunakan *scripting* pada Abaqus

Adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara- cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas katolik Parahyangan.

Bandung, 9 Januari 2023



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alvin'.

Alvin Tjahyadi

ANALISIS MODEL UJI TARIK PELAT *DOG BONE* DAN PELAT BERLUBANG DENGAN MATERIAL ELASTOPLASTIS DAN KRITERIA LELEH VON MISES MENGGUNAKAN *SCRIPTING* PADA ABAQUS

Alvin Tjahyadi
NPM: 6101901123

Pembimbing: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.
Ko-Pembimbing: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRAK

Metode elemen hingga merupakan cara menyelesaikan suatu masalah mekanika pada dunia teknik dengan membagi objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan sederhana. Analisis dalam metode elemen hingga terdiri dari analisis linear dan analisis non-linear. Abaqus merupakan salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk analisis non-linear dan menyediakan *scripting* sebagai fasilitas jika pengguna ingin memasukan model material sebagai *user subroutine*. Studi ini bertujuan untuk membuat konstitutif model elastoplastis dengan kriteria kelelahan Von Mises dengan menggunakan fasilitas *scripting* dan membandingkannya dengan konstitutif model yang tersedia dalam Abaqus untuk memverifikasi hasil konstitutif model yang dibuat pada *scripting*, maka dilakukan analisis uji tarik pada pelat *dog bone* dan pelat berlubang. *Scripting* untuk model material dilakukan dengan menggunakan UMAT yang ditulis menggunakan bahasa pemrograman Fortran. Berdasarkan hasil analisis yang ditulis menggunakan UMAT, pada model pelat *dog bone*, tegangan maksimum Von Mises untuk analisis menggunakan UMAT lebih kecil sebesar 0.027 MPa dibandingkan dengan hasil yang tersedia pada Abaqus. Hasil analisis tegangan lokal lebih kecil sebesar 0.1% dibandingkan dengan hasil yang tersedia pada Abaqus. Tegangan Von Mises dan tegangan bidang untuk model pelat berlubang berbeda jauh dengan hasil yang tersedia pada Abaqus terutama pada daerah plastis. Hasil pada daerah elastis sudah mirip dengan hasil pada Abaqus.

Kata Kunci: Abaqus, *Isotropic hardening*, Kriteria kelelahan Von Mises, *Scripting*, UMAT

MODEL ANALYSIS OF TENSILE TEST OF DOG BONE PLATES AND PLATE WITH HOLE WITH ELASTOPLASTIC MATERIALS AND VON MISES FAILURE CRITERIA USING SCRIPTING ON ABAQUS

Alvin Tjahyadi
NPM: 6101901123

Advisor: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.
Co-Advisor: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK-BAN-PT Number. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARY 2023

ABSTRACT

The finite element method is a way of solving a mechanical problem in the world of engineering by dividing an object into smaller and simpler parts. The analysis in the finite element method consists of linear analysis and non-linear analysis. Abaqus is one of the most widely used software for nonlinear analysis and provides scripting facility if the user wants to input a material model as a user subroutine. The purpose of this study is to make a constitutive elastoplastic model with the Von Mises yield criteria and compare it with some constitutive models provided by Abaqus to verify the results of the constitutive model made in scripting, then a tensile test analysis was carried out on dog bone plates and a plate with holes. Scripting for the material model is conducted using UMAT, which is written in the Fortran programming language. Based on the results of the analysis written using UMAT on the dog bone plate model, the maximum Von Mises stress is 0.027 MPa smaller than using constitutive model provided by Abaqus. The results of the analysis of local stress using UMAT are 0.1% smaller than those using constitutive model provided by Abaqus. The Von Mises stresses and plane stresses for the plate with hole model differ greatly from the results available for Abaqus, especially in the plastic region. The results in the elastic region are similar to those for Abaqus.

Keywords: Abaqus, *Isotropic hardening*, Von Mises Yield Criterion, *Scripting*, UMAT

PRAKATA

Namo Buddhaya, Terpujilan Sanghyang Adi Buddha Tuhan Yang Maha Esa, Sang Tri Ratna, dan Semua Bodhisattva Mahasatva karena cinta kasih dan berkatnya yang tanpa batas dan karma baik sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Model Uji Tarik Pelat *Dog Bone* dan Pelat Berlubang dengan Material Elastoplastis dan Kriteria Leleh Von Mises Menggunakan *Scripting* pada Abaqus” dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademik sekaligus proses belajar yang perlu dilalui untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulisan tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Dukungan tersebut menjadi motivasi sehingga dapat melalui berbagai macam hambatan dan kesulitan yang terjadi dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena itu, dengan rasa hormat pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

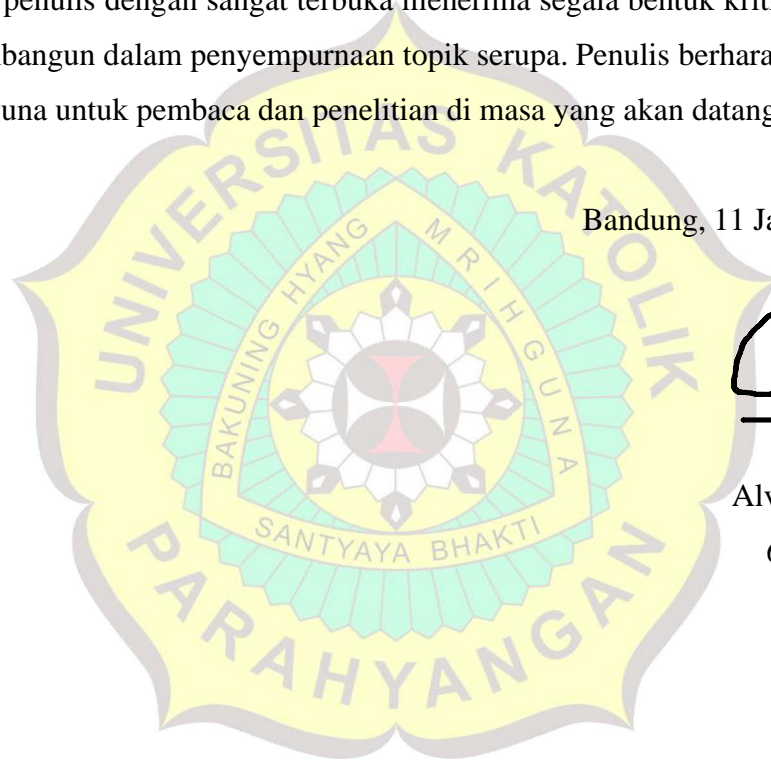
1. Bapak Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak pengetahuan, meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran, serta membimbing penulis dari awal hingga akhir proses penyusunan skripsi ini agar dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Ir. Liyanto Eddy, Ph.D., selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing disetiap waktu, memberikan saran yang membangun, motivasi, bertukar pikiran, arahan, dukungan kepada penulis sejak awal hingga akhir proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D., Ibu Dr. -Ing. Dina Rubiana Widarda, selaku dosen penguji pada saat Seminar Judul, Seminar Isi, dan penguji sidang yang telah memberikan banyak masukan dan kritik yang membangun bagi penulis.
4. Orangtua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi setiap saat.
5. Nicholas Tjandra, Styvean Haley, Yeremia Grant Setiawan, Jason Natanael, Efnus Sinuhaji, Calvin Hindarto, Devin Chay, Levaldi Christansa, Sugiharto

Kartawidjaja, Celia Monica, Vincent Valiant, Marco Martinus selaku sahabat yang telat berjuang Bersama, bekerja keras, dan memberikan semangat bagi penulisan dalam menjalani studi di Universitas Katolik Parahyangan.

6. Segenap keluarga besar Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Angkatan 2019 yang telat bersama sama bekerja keras dalam menyelesaikan studi di Universitas Katolik Parahyangan.
7. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu Namanya yang telah turut memberi masukan, saran, motivasi dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsinya masih jauh dari sempurna. Dengan demikian, penulis dengan sangat terbuka menerima segala bentuk kritik dan saran yang membangun dalam penyempurnaan topik serupa. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna untuk pembaca dan penelitian di masa yang akan datang.

Bandung, 11 Januari 2023



Alvin Tjahyadi
6101901123

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-4
1.5 Metode Penelitian.....	1-5
1.6 Diagram Alir.....	1-6
1.7 Sistematika Penulisan.....	1-7
BAB 2 DASAR TEORI.....	2-1
2.1 Analisis Metode Elemen Hingga.....	2-1
2.2 Jenis-Jenis Analisis Pada Metode Elemen Hingga.....	2-3
2.3 Kriteria Kelelahan pada Material Elastoplastis	2-7
2.4 Kriteria Kelelahan Von Mises	2-11
2.4.1 Perilaku Material Elastoplastis	2-14
2.4.2 Elastoplastis pada 1 Dimensi.....	2-14
2.4.3 <i>J2 Yield Criterion</i>	2-21

2.4.4 Model Elastoplastis 3 Dimensi	2-25
2.4.4.1 <i>Radial Return Mapping</i>	2-25
2.4.4.2 <i>Perfectly Plastic</i>	2-27
2.4.4.3 <i>Isotropic Hardening</i>	2-29
2.5 <i>Scripting</i> Pada Abaqus	2-32
BAB 3 METODE PENELITIAN	3-1
3.1 Model Numerik	3-1
3.2 Geometri Model Numerik	3-1
3.3 Kondisi Batas	3-3
3.4 Penulisan <i>Scripting</i>	3-6
BAB 4 ANALISIS DATA	4-1
4.1 Perbandingan Hasil Uji Tarik Pelat <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Antara Abaqus dan <i>Scripting</i>	4-1
4.1.1 Perbandingan Hasil Uji Tarik <i>Isotropic Hardening</i> Tinjauan Global. 4-1	
4.1.2 Perbandingan Hasil Uji Tarik <i>Isotropic Hardening</i> Tinjauan Lokal .. 4-3	
4.2 Perbandingan Hasil Uji Tarik Pelat Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Antara Abaqus dan <i>Scripting</i>	4-9
4.2.1 Perbandingan Hasil Uji Tarik Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Tinjauan Global	4-10
4.2.2 Perbandingan Hasil Uji Tarik Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Tinjauan Lokal	4-13
4.3 Perbandingan Hasil UMAT dengan UMAT Referensi dan Identifikasi Kesalahan	4-18
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan	5-1
5.2 Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA	xix

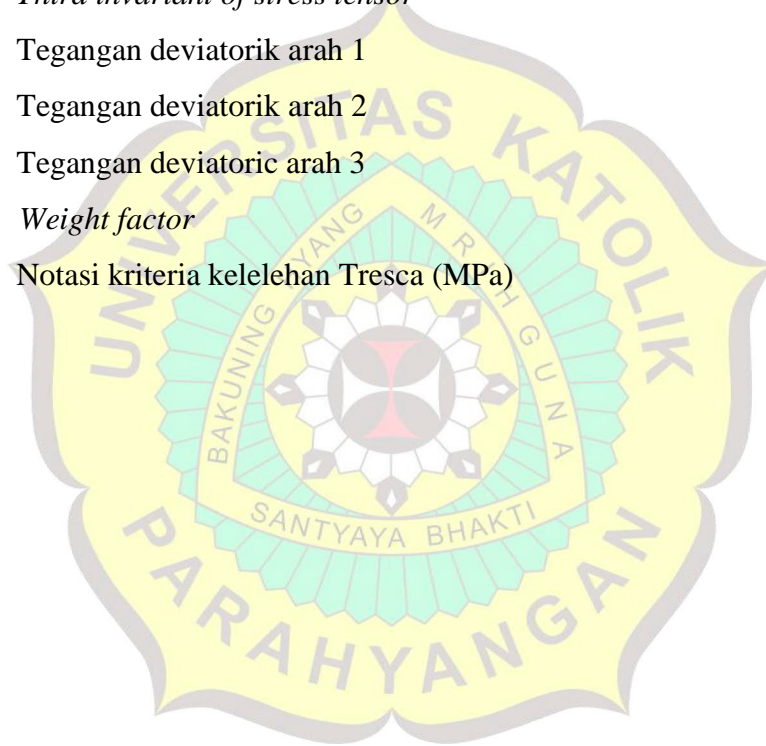
LAMPIRAN 1 *Script Python* untuk Model Pelat *Dog Bone*..... 1-1
LAMPIRAN 2 *Script Python* untuk Model Pelat dengan Lubang2-1
LAMPIRAN 3 *Script UMAT Isotropic Hardening*3-1



DAFTAR NOTASI

$[D]$: Matriks modulus elastisitas
$[\varepsilon]$: matriks regangan
ε	: Regangan total
ε_e	: Regangan elastis
ε_p	: Regangan plastis
ε_p^n	: Histori Regangan plastis yang diketahui
$\Delta\varepsilon_p$: Peningkatan regangan plastis
$\Delta\varepsilon_e$: Peningkatan regangan elastis
$\Delta\varepsilon$: Peningkatan regangan
$\Delta\lambda$: <i>Discrete plastic multiplier</i>
\hat{n}_{n+1}	: <i>Deviatoric tensor</i>
$[\sigma]$: Matriks tegangan
σ_1	: Tegangan utama arah 1 (MPa)
σ_3	: Tegangan utama arah 3 (MPa)
σ_{11}	: Tegangan bidang pada arah sumbu 1-1
σ_{12}	: Tegangan bidang pada arah sumbu 1-2
σ_{22}	: Tegangan bidang pada arah sumbu 2-2
σ_{23}	: Tegangan bidang pada arah sumbu 2-3
σ_{33}	: Tegangan bidang pada arah sumbu 3-3
σ_{31}	: Tegangan bidang pada arah sumbu 3-1
σ_e	: Tegangan ekuivalen (MPa)
σ^{tr}	: Tegangan hasil coba-coba
σ_y	: Tegangan leleh (MPa)
σ_y^0	: Tegangan leleh awal (MPa)
$\Delta\sigma$: Peningkatan Tegangan
$\Delta^{tr}\sigma$: Pertambahan tegangan yang dicoba-coba
$ \sigma^{tr} $: Tegangan ekuivalen hasil coba-coba
σ^{n+1}	: Tegangan awal coba-coba pada permukaan plastis

- $sgn(\sigma^{n+1})$: koefisien untuk mewakili kondisi tekan atau tarik
 C^{alg} : Tensor modulus tangen
 E : Modulus elastisitas
 E_t : Modulus tangen
 f^{tr} : Fungsi pengecekan kegagalan pada tegangan yang dicoba-coba
 f^{n+1} : Fungsi konsistensi kondisi plastis
 H : Modulus plastisitas
 I'_1 : *First invariant of stress tensor*
 J_2 : *Second invariant of stress tensor*
 J_3 : *Third invariant of stress tensor*
 s_1 : Tegangan deviatorik arah 1
 s_2 : Tegangan deviatorik arah 2
 s_3 : Tegangan deviatoric arah 3
 W_i : *Weight factor*
 Y : Notasi kriteria kelelahan Tresca (MPa)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Alir Pekerjaan Elemen hingga	1-1
Gambar 1.2 Grafik Elastoplastis untuk <i>Isotropic Hardening</i>	1-4
Gambar 1.3 Gambar 1. 1 Ilustrasi <i>Meshing C3D20 (20-Node Element)</i>	1-4
Gambar 1.4 Model <i>Dogbone</i> yang Digunakan (Tebal=6 cm)	1-5
Gambar 1.5 Model Pelat Berlubang yang Digunakan	1-5
Gambar 1.6 Diagram Alir Pengerjaan	1-7
Gambar 2.1 Jenis Elemen yang Umum Digunakan (Nam Ho, 2015)	2-1
Gambar 2.2 Ilustrasi Pembagian Elemen dalam Metode Elemen Hingga (Nam Ho, 2015)	2-2
Gambar 2.3 Ilustrasi Metode <i>Gauss Quadrature</i>	2-2
Gambar 2.4 Ilustrasi Metode Gauss dengan 2 Titik Sampel	2-3
Gambar 2.5 Regangan Linear dan Non-linear(Nam Ho,2015)	2-5
Gambar 2.6 Non-linear material pada <i>Spring</i> (a) dan Model Elastoplastis(Nam Ho,2015)	2-6
Gambar 2.7 Kontak pada Silinder Karet terhadap Suatu Dinding <i>Rigid</i>	2-7
Gambar 2.8 Ilustrasi Hubungan Untuk Ketiga Jenis Hubungan Tegangan-Regangan Elastoplastis.....	2-8
Gambar 2.9 Kriteria Kelelahan Tresca (<i>Max Shear Stress Criteria</i>) dan Von Mises (Nam Ho, 2015).....	2-9
Gambar 2.10 Kriteria Kegagalan Drucker-Prager dan Mohr-Coulomb (Antonio Bobet,2012).....	2-10
Gambar 2.11 Ilustrasi Grafik Uji Tarik pada Baja (Kelly,2018).....	2-12
Gambar 2.12 Ilustrasi Hubungan Tegangan-Regangan saat kondisi <i>Loading-Unloading</i>	2-13
Gambar 2.13 Efek Bauschiger dalam model elastoplastis	2-15
Gambar 2.14 Model Elastoplastis dengan <i>Strain-Hardening</i>	2-16

Gambar 2.15 Ilustrasi Grafik Model Elastoplastis dalam 1 Dimensi (Nam Ho, 2018).....	2-19
Gambar 2.16 Analisis yang Dilakukan dalam <i>Uniaxial Tensile Strength</i> (FailureCriteria,2019)	2-24
Gambar 2.17 Analisis yang Dilakukan dalam <i>Shear Strength</i> (FailureCriteria,2019).....	2-24
Gambar 2.18 Ilustrasi Metode <i>Radial Return Mapping</i> Sederhana	2-25
Gambar 2.19 Algoritma <i>Radial Return Mapping</i> Secara General	2-27
Gambar 2.20 Pemanggilan fungsi dan <i>Class</i> dari Abaqus pada Awal <i>Script</i> ...	2-32
Gambar 2.21 Penulisan <i>Script</i> untuk Pembuatan Model	2-33
Gambar 2.22 Penulisan <i>Script</i> untuk Pembuatan <i>Part</i>	2-33
Gambar 2.23 Penulisan <i>Script</i> untuk Penentuan Material.....	2-33
Gambar 2.24 Tampilan GUI untuk Mendefinisikan Material.....	2-34
Gambar 2.25 Jenis-jenis Kategori <i>Section</i> di Abaqus.....	2-34
Gambar 2.26 Penulisan <i>Script</i> untuk Mendefinisikan <i>Section</i>	2-35
Gambar 2.27 Penulisan <i>Script</i> untuk Pembuatan <i>Step</i>	2-35
Gambar 2.28 <i>Step</i> Pada GUI Abaqus.....	2-36
Gambar 2.29 Jendelan untuk Menentukan <i>output</i> dalam GUI Abaqus	2-37
Gambar 2.30 Penulisan <i>Script</i> untuk <i>Field Output</i> pada Abaqus	2-37
Gambar 2.31 Tampilan untuk Menambahkan Kondisi Batas	2-38
Gambar 2.32 Penentuan Kondisi Batas menggunakan GUI Abaqus.....	2-38
Gambar 2.33 Penulisan Kondisi Batas dengan <i>Scripting</i>	2-38
Gambar 2.34 Ilustrasi <i>Structured Mesh</i> pada Abaqus.....	2-39
Gambar 2.35 Ilustrasi Pembuatan <i>Mesh</i> dengan Metode <i>Swept Mesh</i>	2-39
Gambar 2.36 Ilustrasi Metode <i>Free Mesh</i>	2-40
Gambar 2.37 Penulisan <i>Script</i> untuk Pembuatan <i>Mesh</i>	2-40
Gambar 2.38 Perbedaan Metode <i>Reduced-Integration</i> dan Metode Biasa.....	2-41

Gambar 2.39 Penulisan <i>Job</i> dalam <i>Script</i>	2-41
Gambar 2.40 Tampilan Jendela <i>Job</i> pada Abaqus	2-42
Gambar 2.41 Jendela untuk Memasukan <i>User Subroutine</i> pada Abaqus.....	2-42
Gambar 2.42 Penentuan <i>Depvar</i> sebagai Bagian dari Komponen <i>Script</i>	2-43
Gambar 2.43 Penentuan <i>User Material</i> sebagai Variabel pada <i>Script</i>	2-43
Gambar 2.44 Contoh Penjelasan Fungsi <i>Subroutine</i> pada Manual Abaqus.....	2-44
Gambar 2.45 <i>Error</i> saat <i>Script</i> Tidak terbaca atau Belum Dima	2-45
Gambar 3.1 Data <i>Dog Bone</i> yang Digunakan	3-1
Gambar 3.2 Ilustrasi Model <i>Dog Bone</i> Berdasarkan ASTM E8-E8M-2016.....	3-2
Gambar 3.3 Geometri Model Numerik Pelat <i>Dogbone</i>	3-2
Gambar 3.4 Geometri Model Numerik pelat Baja dengan Lubang.....	3-3
Gambar 3.5 Ilustrasi Uji Tarik Pada Model <i>Dog Bone</i>	3-3
Gambar 3.6 Kondisi Batas pada Sisi Atas Model <i>Dog Bone</i>	3-4
Gambar 3.7 Kondisi Batas pada Sisi Bawah Model <i>Dog Bone</i>	3-5
Gambar 3.8 Kondisi Batas pada Sisi Atas Model Pelat dengan Lubang.....	3-5
Gambar 3.9 Kondisi Batas pada Sisi Bawah Model Pelat dengan Lubang.....	3-6
Gambar 3.10 <i>Flow Chart</i> Penulisan UMAT <i>Isotropic Hardening</i> (a)	3-7
Gambar 3.11 <i>Flow Chart</i> Penulisan UMAT <i>Isotropic Hardening</i> (b).....	3-8
Gambar 4.1 Kontur Tegangan Von Mises pada Seluruh Model <i>Dog Bone</i> <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus	4-1
Gambar 4.2 Kontur Tegangan Von Mises pada Seluruh Model Hasil UMAT ..	4-2
Gambar 4.3 Perbandingan Grafik <i>Load-Displacement Dog Bone Isotropic</i> <i>Hardening</i> Antara Hasil Abaqus dan UMAT	4-2
Gambar 4.4 Perbandingan Grafik <i>Stress-Strain Dog Bone Isotropic</i> <i>Hardening</i> Antara Hasil Abaqus dan UMAT.....	4-3
Gambar 4.5 Posisi Tinjauan Secara Lokal untuk Uji Tarik <i>Isotropic Hardening</i>	4-

Gambar 4.6 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 1-1 Pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i>	4-4
Gambar 4.7 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 1-2 Pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i>	4-5
Gambar 4.8 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 1-3 Pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i>	4-5
Gambar 4.9 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 2-2 Pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i>	4-6
Gambar 4.10 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 2-3 Pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i>	4-6
Gambar 4.11 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 2-3 Pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i>	4-7
Gambar 4.12 Kontur Tegangan 1-1 <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus(kiri) dan UMAT (Kanan)	4-8
Gambar 4.13 Kontur Tegangan 2-2 <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus(kiri) dan UMAT (Kanan)	4-8
Gambar 4.14 Kontur Tegangan 3-3 <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus(kiri) dan UMAT (Kanan)	4-8
Gambar 4.15 Kontur Tegangan 1-2 <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus(kiri) dan UMAT (Kanan)	4-9
Gambar 4.16 Kontur Tegangan 1-3 <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus(kiri) dan UMAT (Kanan)	4-9
Gambar 4.17 Kontur Tegangan 2-3 <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (Kanan)	4-9
Gambar 4.18 Kontur Tegangan Von Mises pada Model <i>Dog Bone Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus	4-10
Gambar 4.19 Kontur Tegangan Von Mises pada Model <i>Isotropic Hardening</i> Hasil UMAT	4-11

Gambar 4.20 Perbandingan Grafik <i>Load-Displacement</i> Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Antara Hasil Abaqus dan UMAT.....	4-12
Gambar 4.21 Perbandingan Grafik Tegangan-Regangan Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Antara Hasil Abaqus dan UMAT.....	4-12
Gambar 4.22 Posisi Elemen yang Menjadi Tinjauan Lokal.....	4-13
Gambar 4.23 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 1-1 Pada Model Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i>	4-14
Gambar 4.24 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 1-2 Pada Model Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i>	4-14
Gambar 4.25 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 1-3 Pada Model Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i>	4-15
Gambar 4.26 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 2-2 Pada Model Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i>	4-15
Gambar 4.27 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 2-3 Pada Model Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i>	4-16
Gambar 4.28 Perbandingan Tegangan-Regangan Arah 2-3 Pada Model Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i>	4-16
Gambar 4.29 Kontur Tegangan 1-1 Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (kanan).....	4-17
Gambar 4.30 Kontur Tegangan 2-2 Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (kanan).....	4-17
Gambar 4.31 Kontur Tegangan 3-3 Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (kanan).....	4-17
Gambar 4.32 Kontur Tegangan 1-2 Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (kanan).....	4-18
Gambar 4.33 Kontur Tegangan 1-3 Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (kanan).....	4-18
Gambar 4.34 Kontur Tegangan 2-3 Pelat dengan Lubang <i>Isotropic Hardening</i> Hasil Abaqus (kiri) dan UMAT (kanan).....	4-18

Gambar 4.35 Hasil Perbandingan dengan UMAT Buku pada Pelat *Dogbone* .4-19

Gambar 4.36 Hasil Perbandingan dengan UMAT Buku pada Pelat Berlubang ...4-20

Gambar 4.37 Kontur Daerah Elastis Hasil UMAT pada Pelat *Dogbone*.....4-21

Gambar 4.38 Kontur Daerah Elastis Hasil Abaqus pada Pelat *Dogbone*4-21

Gambar 4.39 Kontur Daerah Elastis Hasil UMAT pada Pelat Berlubang.....4-22

Gambar 4.40 Hasil Kontur Daerah Elastis Hasil Abaqus pada Pelat Belubang ...4-23



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbedaan Hasil Analisis Abaqus dan UMAT pada Tegangan 2-2	4-7
Tabel 4.2 Perbandingan Daerah Elastis Hasil Abaqus dan UMAT pada Pelat <i>Dogbone</i>	4-22
Tabel 4.3 Perbandingan Daerah Elastis pada Pelat Berlubang.....	4-23



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 <i>Script Python</i> untuk Model Pelat <i>Dog Bone</i>	1-1
LAMPIRAN 2 <i>Script Python</i> untuk Model Pelat dengan Lubang	2-1
LAMPIRAN 3 <i>Script UMAT Isotropic Hardening</i>	3-1

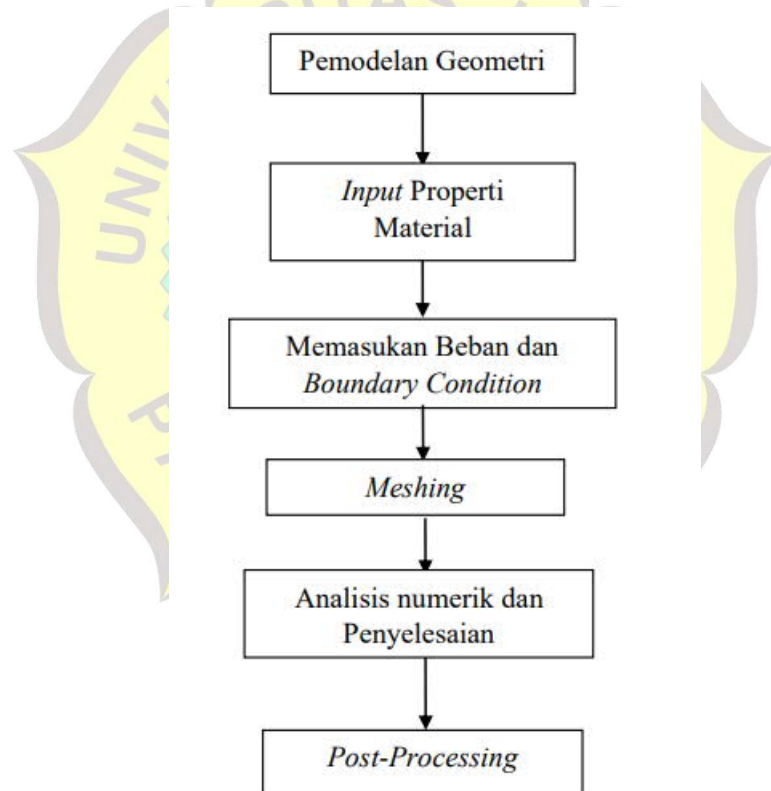


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM) adalah cara menyelesaikan suatu masalah mekanika pada dunia teknik dengan membagi suatu objek menjadi bagian-bagian kecil atau *discretization* dengan jumlah terhingga untuk dianalisis. Analisis elemen hingga biasanya digunakan pada analisis seperti analisis kekuatan struktur suatu benda, analisis transfer panas, dan analisis material baru. Pada analisis elemen hingga, penyelesaian suatu masalah perlu dilakukan dengan langkah-langkah seperti pada Gambar 1.1,



Gambar 1.1 Alir Pekerjaan Elemen hingga

Metode elemen hingga merupakan sebuah analisis yang dibuat dan dikembangkan agar hasil analisis melalui komputer dapat mendekati kenyataan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut banyak dikembangkan agar hasil metode elemen hingga semakin dekat dengan perilaku asli material.

Analisis pada metode elemen hingga terdiri dari dua jenis yaitu analisis linear dan analisis non-linear. Pada analisis linear, hubungan antar variabel merupakan sebuah fungsi linear. Misalkan pada grafik hubungan tegangan regangan, jika regangan bertambah dua kali maka tegangan juga bertambah dua kali. Pada analisis non-linear, hubungan antar variabel bukan merupakan fungsi linear contohnya grafik tegangan regangan pada material elastoplastis. Oleh karena itu, permasalahan pada analisis non-linear tidak dapat diselesaikan secara sederhana seperti analisis linear. Penyelesaian masalah analisis non-linear diperlukan beberapa metode tambahan untuk menyelesaikan masalah hubungan tegangan regangan atau hubungan lain.

Analisis non-linear terdiri dari beberapa jenis analisis yaitu non-linear geometri, non-linear material, non-linear kinematik. Pada saat menyelesaikan analisis tersebut, interpolasi matematika seperti *Newton-Raphson*, *Modified Newton-Raphson*, *Incremental Secant Method*, dan *Incremental Force Method*. Interpolasi tersebut digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linear yang banyak terjadi pada analisis non-linear. Salah satu non-linear material adalah material elastoplastis. Material elastoplastis merupakan material dengan kondisi awal elastis kemudian menjadi plastis.

Beberapa *software* untuk analisis metode elemen hingga sudah dapat melakukan analisis non-linear terutama non-linearitas pada material. Salah satu *software* yang umum digunakan untuk analisis tersebut adalah Abaqus. Pada Abaqus, beberapa jenis material non-linear yang tersedia adalah elastoplastis dengan kriteria kegagalan Von Mises, Drucker-Prager, dan kriteria kegagalan Mohr-Coulomb. Namun, konstitutif model tersebut hanya cocok untuk beberapa material tertentu, misalnya material elastoplastis dengan kriteria kegagalan Von Mises cocok untuk material baja. Jika terdapat konstitutif model material tidak

tersedia, Abaqus menyediakan fasilitas *scripting* untuk memberikan kebebasan bagi pengguna untuk memasukan konstitutif model yang tidak ada.

1.2 Inti Permasalahan

Analisis metode elemen hingga terdiri dari analisis linear dan non-linear. Beberapa *software* sudah mampu untuk melakukan analisis non-linear terutama non-linear material. Abaqus merupakan salah satu *software* yang sudah mampu melakukan analisis non-linear material. Abaqus menyediakan beberapa jenis material non-linear seperti material elastoplastis dengan kriteria kegagalan Von Mises. Namun, konstitutif material tersebut hanya cocok untuk material tertentu.

Oleh karena itu, untuk material yang tidak cocok dengan konstitutif model yang disediakan Abaqus, terdapat fasilitas *scripting* yang memungkinkan pengguna memasukan konstitutif model untuk material yang tidak disediakan oleh Abaqus. Dengan permasalahan tersebut, penulis ingin memanfaatkan fasilitas *scripting* pada Abaqus untuk membuat konstitutif model. Pada skripsi ini, sebagai langkah awal, konstitutif model yang digunakan adalah konstitutif model sederhana yang sudah ada pada Abaqus yaitu konstitutif model elastoplastis dengan kriteria leleh Von Mises yaitu pelat uji baja dan pelat baja dengan lubang seperti pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5.

1.3 Tujuan Penelitian

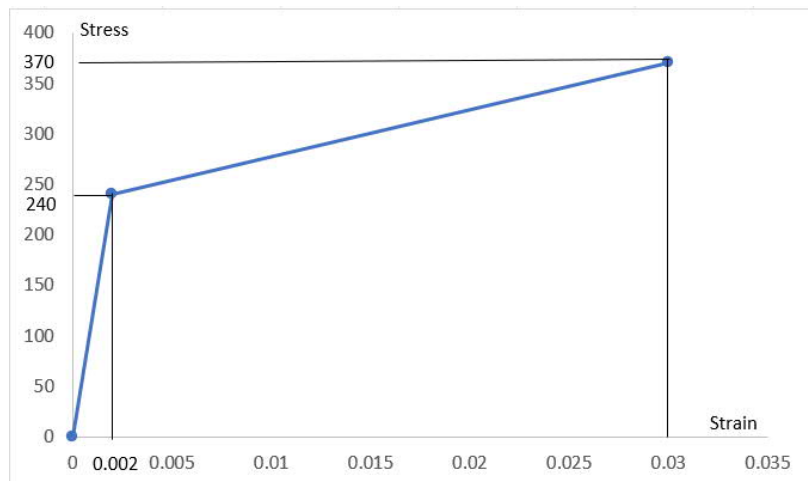
Tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat konstitutif model elastoplastis dengan kriteria leleh Von Mises menggunakan *scripting* pada Abaqus
2. Membandingkan antara hasil analisis dengan *scripting* dengan hasil menggunakan Abaqus

1.4 Pembatasan Masalah

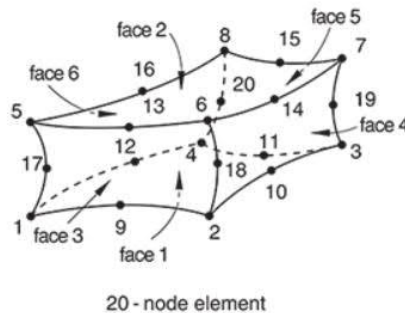
Analisis dalam skripsi ini dibatasi sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah material elastoplastis contohnya adalah baja dengan tipe material *Isotropic hardening* seperti ilustrasi grafik tegangan regangan seperti Gambar 1.2.



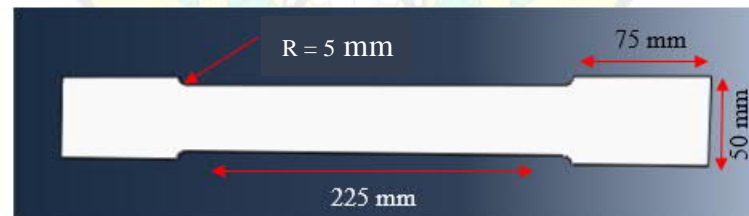
Gambar 1.2 Grafik Elastoplastis untuk *Isotropic Hardening*

2. Kriteria kegagalan yang digunakan adalah *Von Mises Criteria*
3. Material yang digunakan adalah baja dengan mutu BJ-37
4. Material yang dianalisis adalah model pelat *dogbone* dan model pelat baja dengan lubang
5. Analisis yang dilakukan adalah analisis tiga dimensi (3D)
6. Jenis *mesh* yang digunakan adalah C3D20, dengan ilustrasi seperti gambar 1.3

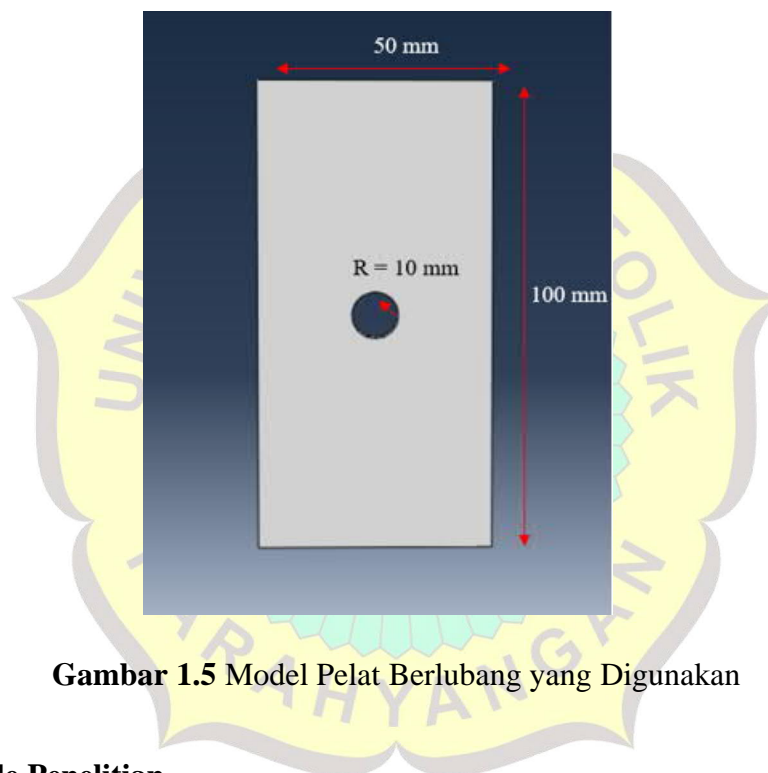


Gambar 1.3 Ilustrasi *Meshing* C3D20 (20-Node Element)

7. Pembebanan yang dilakukan adalah beban peralihan atau *displacement control*
8. Model yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:



Gambar 1.4 Model *Dogbone* yang Digunakan (Tebal=6 cm)



Gambar 1.5 Model Pelat Berlubang yang Digunakan

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

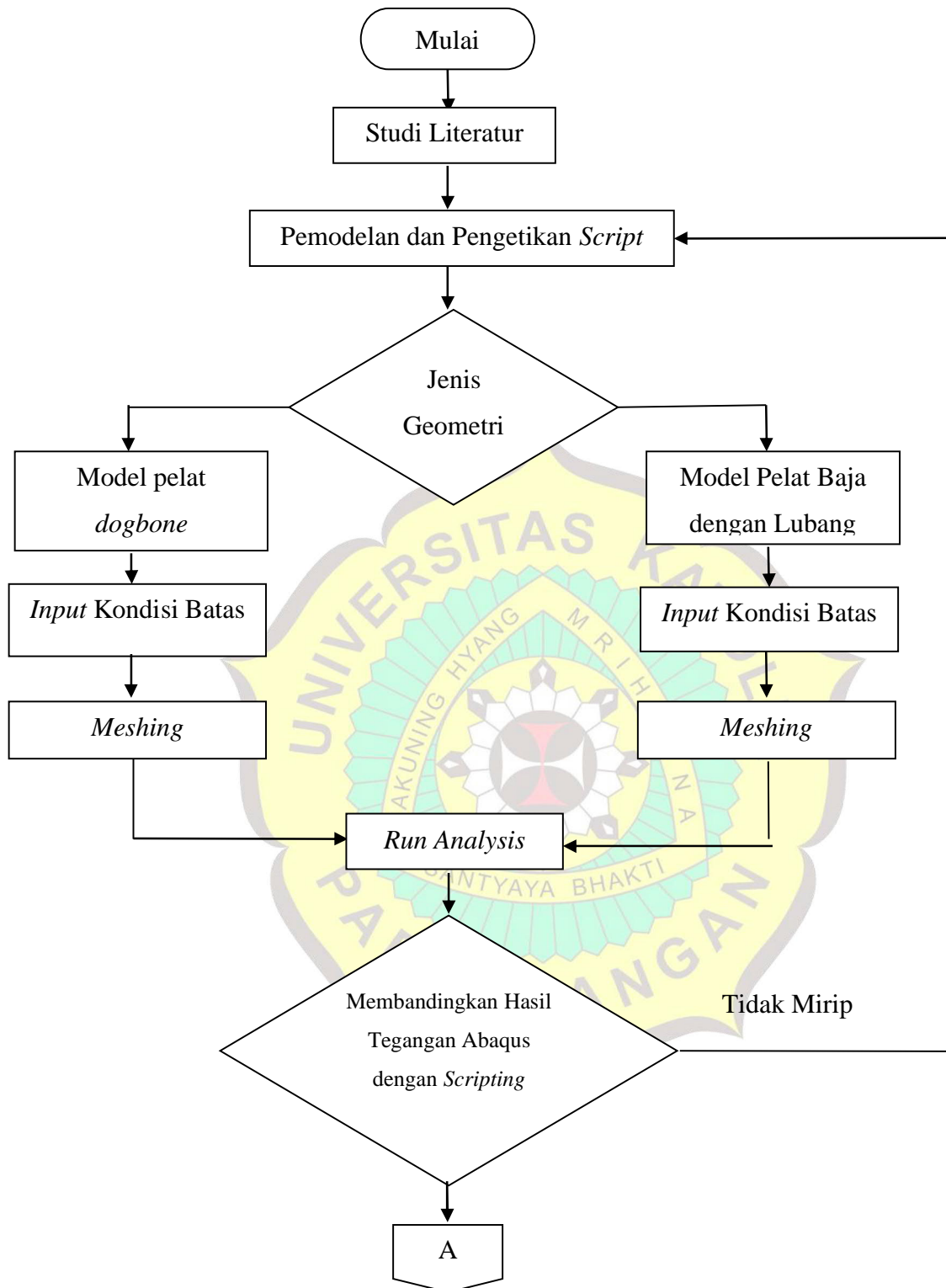
1. Studi Literatur

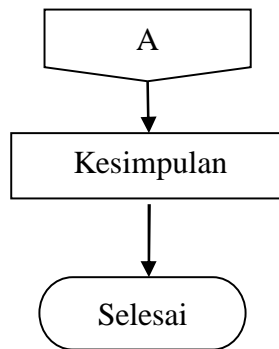
Metode ini merupakan metode dengan mengumpulkan informasi sebagai acuan atau dasar dalam analisis yang akan dilakukan melalui materi perkuliahan, *textbook*, jurnal atau paper dan informasi lain dari internet.

2. Studi Analisis

Model dalam skripsi ini akan didesain dan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak Abaqus.

1.6 Diagram Alir





Gambar 1.6 Diagram Alir Pengerjaan

1.7 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, diagram alir, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan teori - teori yang akan dijadikan pedoman dalam proses desain dan analisis.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi desain model yang akan digunakan sebagai model analisis pada Abaqus dan hasil *scripting*.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil analisis yaitu perbandingan hasil analisis antara menggunakan Abaqus dan menggunakan *scripting* serta perbandingan hasil analisis dengan rumus empirik dan hasil eksperimental.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang hasil kesimpulan akhir yang didapatkan berdasarkan analisis dan saran berdasarkan hasil studi yang dilakukan.