

35842 / H/09



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



RSM  
SS.72  
Fan  
S-1  
dary

TUGAS AKHIR RM 1582

# STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PENGUJIAN INDENTASI BRINELL DAN ANALISA ELEMEN HINGGA UNTUK MENDAPATKAN SIFAT MEKANIK PADA BAJA PADUAN AISI 4340

Moh. Afif Fañani  
NRP 2104 100 117

Dosen Pembimbing  
Fahmi Mubarak, ST, MSc

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2009

PERPUSTAKAAN	
T	
no. induk	10-8-2009
no. buku	H
no. induk	412



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT RM 1582

# EXPERIMENTAL STUDY COMPARISON BRINELL INDENTATION TEST AND FINITE ELEMENT ANALYSIS TO GET THE MECHANICAL PROPERTIES FROM ALLOY STEEL AISI 4340

Moh.Afif Fanani  
NRP 2104 100 117

Supervisor  
Fahmi mubarok, ST. MSc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2009



# STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PENGUJIAN INDENTASI BRINELL DAN ANALISA ELEMEN HINGGA UNTUK MENDAPATKAN SIFAT MEKANIK PADA BAJA PADUAN AISI 4340

Nama Mahasiswa : MOH.AFIF FANANI  
NRP : 2104 100 117  
Jurusan : Teknik Mesin FTI - ITS  
Dosen Pembimbing : FAHMI MUBAROK, ST , MSc

## ABSTRAK

*Dalam bidang industri, sifat mekanik material sangat menentukan dalam pembuatan produk. Untuk mengetahui sifat material biasanya dilakukan dengan tensile test. Pengujian ini biasanya memakan waktu, merusak dan membutuhkan persiapan spesimen yang khusus. Disamping itu, apabila ingin mengetahui sifat mekanik dari material yang sudah mencapai proses akhir (finishing) akan kesulitan dengan memakai tensile test. Karena sebab itu dikembangkan suatu metode untuk dapat memperoleh sifat mekanik yang relatif cepat dan tanpa harus merusak benda uji. Pengujian dengan indentasi (penekanan) menjadi salah satu alternatif karena metode ini mudah dilakukan dan membutuhkan spesimen yang tidak terlalu besar.*

*Dalam penelitian ini pengujian yang dipakai adalah pengujian indentasi metode brinell dengan tiga variasi beban yaitu 31,25kgf, 62,5kgf dan 187,5kgf. Hasil pengujian indentasi digunakan untuk verifikasi metode elemen hingga. Hasil yang diperoleh dari pengujian analisa elemen hingga dan pengujian brinell akan dibandingkan dengan hasil pengujian tarik.*

*Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa pengujian indentasi dengan metode brinell dan perhitungan dengan metode elemen hingga menghasilkan karakter sifat mekanik yang relatif sama pada beban 187,5 kgf. Hasil kedua pengujian tersebut juga menghasilkan sifat mekanik yang mendekati sifat mekanik dari pengujian tarik untuk baja paduan AISI 4340.*

**Kata kunci : Sifat mekanik, Pengujian indentasi, Analisa elemen hingga, Pengujian tarik**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
 REPUBLIK INDONESIA  
 DIREKTORAT JENDERAL MANAJEMEN PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH

No. 100/1999	Tentang	Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan
No. 100/1999	Tentang	Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan
No. 100/1999	Tentang	Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan
No. 100/1999	Tentang	Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan

No. 100/1999

Menyatakan bahwa...

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



# EXPERIMENTAL STUDY COMPARISON BRINELL INDENTATION TEST AND FINITE ELEMENT ANALYSIS TO GET THE MECHANICAL PROPERTIES FROM ALLOY STEEL AISI 4340

Name : MOH.AFIF FANANI  
NRP : 2104 100 117  
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS  
Supervisor : FAHMI MUBAROK, ST , MSc

## ABSTRACT

*In the field of industrial, mechanical properties of the material is set in making the product. To find out mechanical Properties of the material is usually performed with tensile test. This is usually time consuming, destructive and require special preparation of specimens. In addition, if you want to know the mechanical properties of the material has reached the final finishing we will find difficulty with the tensile test. Because it was developed for a method to obtain the mechanical material and relatively quickly without having to damage the test object. Indentation test into one of the alternatives because this method easy and requires specimens that are not too large.*

*In this research used Brinell indentation test with three variations of the load is 31,25 Kgf, 62,5 Kgf and 187,5 Kgf. Indentation test results used for the verification finite element analysis. After we obtained the results from finite element analysis and Brinell indentation test it will be compared with the results of the tensile test.*

*From this research we can get the result that Brinell indentation test and finite element analysis to the material mechanical properties of the alloy steel AISI 4340 character relative to the same load of 187,5 Kgf. The result of both test give the mechanical properties that approach the mechanical properties from tensile test for alloy steel AISI 4340*

**Key word:** *Mechanical properties, Indentation test, Finite element analysis, Tensile test*

MECHANICAL PROPERTIES FROM ALLOY STEEL AISI 4340  
TEST AND FINITE ELEMENT ANALYSIS TO GET THE  
EXPERIMENTAL STUDY COMPARISON BRINELL INDENTATION

1. IDENTIFY THE PROBLEM  
2. FIND THE SOLUTION  
3. ANALYZE THE PROBLEM  
4. EVALUATE THE SOLUTION

1. IDENTIFY THE PROBLEM  
2. FIND THE SOLUTION  
3. ANALYZE THE PROBLEM  
4. EVALUATE THE SOLUTION

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



**STUDI EKSPERIMENTAL PENGUJIAN INDENTASI DAN  
ANALISA ELEMEN HINGGA UNTUK MEMPEROLEH SIFAT  
MEKANIK PADA BAJA PADUAN AISI 4340**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :

**MOH.AFIF FANANI**

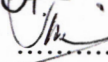
NRP. 2104 100 117

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

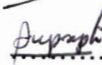
1. Fahmi Mubarak, ST, MSc

.....(Pembimbing)


2. Dr. Ir Soeharto, DEA

.....(Penguji I)

3. Ir. Suprapti

.....(Penguji II)

4. Ir. Hari Subiyanto, MSc

.....(Penguji III)



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai persyaratan akademis untuk mendapat gelar Sarjana Teknik, pada bidang studi Metalurgi, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya bantuan dan kerjasama semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Fahmi mubarak, ST. MSc selaku pembimbing Tugas Akhir yang banyak memberikan bimbingan dan saran.
2. Bapak Dr. Ing. Herman Sasongko selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Prof.Dr. Ir. Wajan Berata, DEA selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dalam pendidikan yang saya tempuh.
4. Ibu dan saudara-saudaraku yang telah banyak memberikan dorongan moril yang besar.
5. Seluruh dosen yang ada di jurusan Teknik Mesin, khususnya bagi dosen bidang studi metalurgi, terima kasih atas bimbingan yang telah diberikan.
6. Karyawan lab Metalurgi terutama buat Pak Budi, Pak Gatot, Pak Ndang, Pak Mantri dan Mas Daviq yang telah membantu dalam penggunaan fasilitas.
7. Rekan-rekan Lab Metalurgi terutama Erik, Vika, Nia, Imam, Pungki, Agus'tukul', Andi 'melon', Gunanto, Hasan, Teguh, John, Daniel, Adiel, yang selalu bisa diajak bertukar pikiran.
8. Teman satu tim dalam pengerjaan Tugas Akhir yaitu Heri priyo utomo terimakasih atas kerjasamanya selama ini.
9. Para penghuni kontrakan bumi marina mas blok F-87 Buyung, Bintang 'como', Bondan, Mahendra, Beni 'umbel', Handoro, Ruli 'darmo, Indra 'kurap' yang telah memberikan kesenangan dan hiburan



10. Semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar Tugas Akhir ini bisa lebih dikembangkan.

Surabaya, Agustus 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

Abstrak .....	i
Lembar Pengesahan .....	v
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Manfaat .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1. Definisi sifat mekanik .....	5
2.1.1. Pengujian Tarik .....	5
2.1.1.1. Kurva Tegangan-Regangan Teknik .....	5
2.1.1.2. Kurva Tegangan-Regangan Sebenarnya.....	7
2.1.2. Pengujian Indentasi .....	9
2.1.2.1. Pengujian Indentasi dengan Metode Brinell .....	9
2.1.2.2. Deformasi Plastik .....	12
2.1.2.3. Pengukuran Sifat Mekanik melalui Variasi Beban yang diberikan .....	13
2.1.2.4. Hubungan diantara Tekanan Rata – rata dan Tegangan .....	15
2.1.2.5. Perhitungan <i>exponent work hardening</i> .....	16
2.1.2.6. Perhitungan <i>koeffisien strain hardening</i> ....	17
2.1.2.7. Hubungan antara Kekuatan dan Kekerasan	18
2.2. Baja .....	19
2.2.1. Baja Nikel Crom Molibdenum .....	19
2.3. Metode Elemen Hingga .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1. Material yang digunakan .....	25
3.2. Diagram Alir Percobaan . .....	26



3.3. Macam-macam Pengujian	27
3.3.1. Pengujian Tarik	27
3.3.2. Pengujian Indentasi	28
3.3.3. Finite Element Modeling	30
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA</b>	<b>33</b>
4.1 Data Pengujian Tarik	33
4.2 Data Pengujian Indentasi	35
4.3 Data Pengujian Finite Elemen	39
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	<b>49</b>
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
<b>Daftar Pustaka</b>	<b>51</b>
<b>Lampiran</b>	<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 KurvaTegangan-regangan.....	6
Gambar 2.2 Kurva tegangan-regangan teknik dan sebenarnya	8
Gambar 2.3 Ilustrasi pengujian pada Brinel .....	10
Gambar 2.4 Kesalahan indentasi Brinell karena terjadinya (a) ridging dan (b) sinking .....	15
Gambar 2.5 Indentasi disekitar logam yang terjadi piling dan sinking .....	15
Gambar 2.6 Deformasi elastik pada permukaan datar, tegangan geser maksimum terjadi dibawah permukaan material yang terdeformasi .....	12
Gambar 2.7 Deformasi plastis pada logam plastis ideal dengan indenter spherical .....	13
Gambar 2.8 Perhitungan tekanan rata – rata diantara spherical indenter dan indentasi .....	14
Gambar 2.9 Hubungan antara Kekerasan dan Kekuatan	18
Gambar 2.9 Plane elemen a)PLANE42 , b)PLANE82.....	22
Gambar 2.10 Elemen untuk masalah kontak a) CONTA175, b) TARGE169 .....	22
Gambar 2.11 Elastoplastic material model with isotropic hardening .....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan .....	26
Gambar 3.2 Spesimen uji tarik .....	27
Gambar 3.3 Contoh spesimen uji tarik. ....	27
Gambar 3.4 Alat Uji Tarik .....	28
Gambar 3.5 Spesimen hardness.....	29
Gambar 3.6 Alat uji indentasi .....	25
Gambar 3.7 Ilustrasi pemodelan untukpengujian indentasi ....	30
Gambar 3.8 Model dari ansys pengujian dengan seperempat model .....	31
Gambar 4.1 Grafik tegangan-regangan sebenarnya pengujian tarik .....	34
Gambar 4.2 Luasan tampak tekan (indentasi) .....	36
Gambar 4.3 Tegangan- regangan hasil pengujian indentasi.....	37

Gambar 4.4 Grafik diameter indentasi hasil pengujian indentasi dan pengujian analisa elemen hingga .....	40
Gambar 4.5 Distribusi tegangan .....	41
Gambar 4.6 Distribusi regangan .....	42
Gambar 4.7 Grafik tegangan-regangan hasil pengujian indentasi dan pengujian elemen hingga .....	44
Gambar 4.8 Grafik tegangan-regangan pengujian tarik, pengujian indentasi dan elemen hingga .....	46



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga $c$ untuk masing – masing logam <i>work hardened</i> .....	15
Tabel 3.1 Komposisi kimia .....	25
Tabel 3.2 Sifat Mekanik.....	25
Tabel 4.1 Data pengujian data uji tarik .....	33
Tabel 4.2 Tegangan hasil pengujian tarik.....	34
Tabel 4.3 Data pengujian indentasi.....	35
Tabel 4.4 Tegangan hasil pengujian tarik dan juga pengujian indentasi .....	37
Tabel 4.5 Diameter indentasi .....	39
Tabel 4.6 Tegangan hasil pengujian indentasi dan pengujian elemen hingga .....	45

## DAFTAR ISI

11	.....
12	.....
13	.....
14	.....
15	.....
16	.....
17	.....
18	.....
19	.....
20	.....

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting yang terdapat pada suatu bahan, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban/gaya/energi. Sifat ini sangat penting diketahui agar perancangan suatu komponen dapat dilakukan dengan tepat dan aman. Untuk mengukur/mengetahui sifat mekanik dari bahan tersebut dapat dilakukan beberapa pengujian.

Pengujian tarik merupakan pengujian yang banyak digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari material. Pengujian tarik biasanya memakan waktu, merusak dan memerlukan persiapan spesimen secara khusus. Karena itu dikembangkan suatu metode untuk dapat memperoleh sifat mekanik yang relatif cepat dan tanpa harus merusak benda uji. Pengujian dengan indentasi (penekanan) menjadi salah satu alternatif karena metode ini mudah dilakukan dan membutuhkan spesimen yang tidak terlalu besar. Hasil pengujian yang berupa nilai kekerasan dapat dikonversikan dengan formula Tabor[1].

Pengujian indentasi dibedakan berdasarkan bentuk dan jenis indentornya, beberapa pengujian indentasi yang sering digunakan antara lain : pengujian Brinell yang menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan, pengujian Rockwell yang menggunakan indentor kerucut dan bola serta pengujian Vicker yang menggunakan indentor berbentuk piramida. Dalam penelitian ini pengujian indentasi yang dipakai adalah pengujian indentasi dengan metode Brinell, karena pengujian ini akan menunjukkan karakter elastik-plastik dari suatu material secara lebih detail karena daerah yang mengalami deformasi dibawah indentor lebih akan meluas, sementara indentor berbentuk piramida yang terdapat pada Vicker test lebih menonjolkan karakter plastik karena daerah deformasi yang terbetuk lebih terpusat pada ujung indentor. Pengujian Brinell juga



menunjukkan hubungan kekerasan dengan kekuatan yang paling linier jika dibandingkan dengan pengujian indentasi lainnya.

Pengujian indentasi dengan metode brinell ini dipakai untuk memverifikasi perhitungan dengan analisa elemen hingga. Pemberian beban antara pengujian indentasi Brinell dan pengujian Brinell yang menggunakan elemen hingga harus sama. Pengujian dengan analisa elemen hingga diharapkan dapat digunakan untuk memperkirakan sifat material sebelum dilakukan pengujian dengan mesin uji kekerasan atau mesin uji tarik.

### 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah mengetahui apakah pengujian indentasi metode brinell dan perhitungan dengan metode elemen hingga mampu menghasilkan karakter mekanik yang mendekati sifat mekanik dari pengujian tarik untuk baja paduan AISI 4340.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan masalah ini tidak terlalu meluas dan penelitian ini dapat mencapai tujuan yang telah ditentukan, maka perlu diberikan batasan masalah yaitu :

1. Material spesimen dianggap homogen.
2. Gesekan (*friction*) pada saat indenter menyentuh permukaan spesimen uji diabaikan.
3. Penyelesaian permasalahan menggunakan kondisi 2D dan beban yang digunakan sesuai dengan pengujian indentasi

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui hubungan antara pengujian indentasi metode brinell dengan pengujian menggunakan metode elemen hingga (ANSYS).
2. Mengetahui apakah pengujian indentasi metode brinell dan perhitungan dengan metode elemen hingga mampu menghasilkan karakter mekanik yang mendekati sifat

mekanik dari pengujian tarik untuk baja paduan AISI 4340.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Diperoleh hubungan antara perhitungan dengan metode elemen hingga (ANSYS) untuk kasus indentasi pada pengujian indentasi dengan metode brinell.
2. Membuktikan bahwa dari hasil pengujian indentasi dengan metode brinell dapat diperoleh sifat mekanik yang sama atau mendekati sifat mekanik yang dihasilkan oleh pengujian tarik untuk material baja paduan AISI 4340.



[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Definisi Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting yang terdapat pada suatu bahan, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban/gaya/energi. Sifat ini sangat penting diketahui agar perancangan suatu komponen dapat dilakukan dengan tepat dan aman. Biasanya pengukuran sifat mekanik meliputi *Modulus Young*, *yield strenght*, *ultimate tensile strenght*, *shear modulus*, *work hardening koefisien* dan *hardness number*. Pengujian Sifat mekanik biasanya dilakukan melalui *tensile test*, *Impact test*, *bending test* dan *indentation test*. Dalam penelitian ini pengujian yang dipakai adalah *tensile test* dan *indentation test*.

#### 2.1.1 Pengujian Tarik (*tensile test*)

Pengujian tarik adalah pengujian yang banyak digunakan untuk mencari sifat mekanik pada material. Dalam test ini spesimen disiapkan khusus untuk menerima beban tarik axial secara terus – menerus. Pertambahan panjang (*elongation*) pada material diukur secara bersamaan (*simultaneously*).

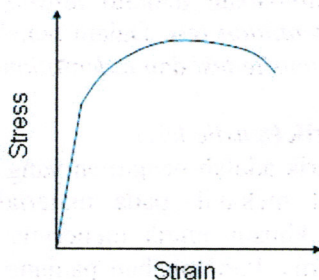
##### 2.1.1.1 Kurva Tegangan-Regangan Teknik

Data yang diperoleh dari mesin tarik biasanya dinyatakan dengan grafik beban – pertambahan panjang (grafik  $P-\Delta l$ ). Grafik ini masih belum banyak digunakan karena hanya menggambarkan kemampuan batang uji (bukan kemampuan bahan) untuk menerima beban. Untuk menggambarkan sifat dari bahan secara umum, maka grafik  $P-\Delta l$  harus dijadikan kurva tegangan-regangan teknik. Tegangan-regangan teknik didapatkan dengan rumus[6]:

$$\sigma_{\text{teknik}} = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_{\text{teknik}} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.2)$$

- Dimana  $\sigma_{\text{teknik}}$  : tegangan teknik  
 $\varepsilon_{\text{teknik}}$  : regangan teknik  
 P : beban yang diberikan  
 $\Delta l$  : perubahan panjang  
 $A_0$  : luas penampang awal dari spesimen  
 $l_0$  : panjang awal spesimen



Gambar 2.1 kurva tegangan-regangan[2].

Pada awal pengujian, material diuji sampai batas elastis yang jika beban dilepas, material akan kembali ke panjang awal. Material dikatakan telah melampaui batas elastis ketika beban cukup untuk memulai deformasi plastik atau deformasi yang tidak dapat kembali lagi. Pada pembebanan selanjutnya, tegangan yang menghasilkan penambahan deformasi plastik secara terus – menerus dengan penambahan regangan plastik. Tegangan mencapai maximum pada *ultimate tensile strength*. Pada titik ini untuk material ulet *necking* dimulai dan tegangan teknik berkurang dengan regangan (*strain*) yang bertambah sampai material patah (*fracture*).

### 2.1.1.2 Kurva Tegangan-Regangan Sebenarnya

Kurva tegangan-regangan teknik kurang memberikan indikasi yang benar untuk karakteristik deformasi pada logam karena kurva tegangan-regangan teknik ini didasarkan pada dimensi awal spesimen, sedangkan dimensi ini berubah secara terus – menerus selama pengujian. Dengan demikian tegangan – regangan haruslah dihitung berdasarkan dimensi yang pada saat itu. Tegangan sebenarnya didefinisikan sebagai ratio beban pada spesimen terhadap luas penampang yang menahan beban itu[6].

$$\sigma_s = \frac{P}{A_s} \quad (2.3a)$$

Dimana  $\sigma_s$  : tegangan sebenarnya  
 $P$  : beban pada spesimen  
 $A_s$  : luas penampang sebenarnya yang menahan beban  $P$

Hubungan tegangan teknik dengan tegangan sebenarnya adalah sebagai berikut [6]: ( asumsi volume konstan )

$$\sigma_s = \frac{P}{A_s} = \frac{P l_0}{A_0 l_0} \quad (2.3b)$$

$$\sigma_s = \frac{P}{A_0} \times \frac{l_0 \cdot \Delta l}{l_0} \quad (2.3c)$$

$$\sigma_s = \sigma_t \cdot (1 + \varepsilon_t) \quad (2.3d)$$

Regangan sebenarnya didefinisikan sebagai integral rasio pada perubahan penambahan panjang terhadap panjang awal speimen.

$$\varepsilon_s = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} \quad (2.4a)$$

Dimana  $l_0$  : panjang awal  
 $L_s$  : panjang saat diberi beban

dari integral persamaan 2.4a diperoleh

$$\varepsilon_s = \ln\left(\frac{l_s}{l_0}\right) \quad (2.4b)$$

Sedangkan hubungan regangan teknik dengan regangan sebenarnya sebagai berikut[6] :

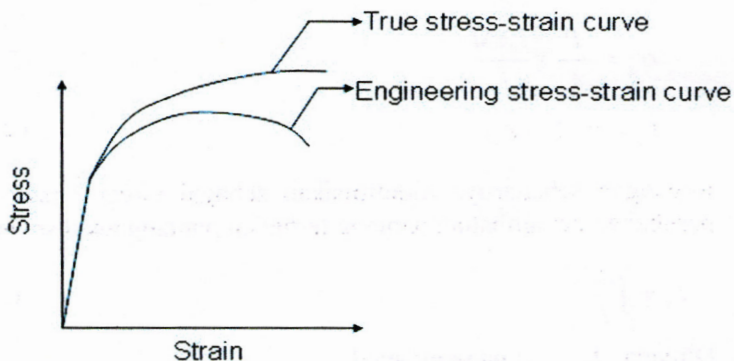
$$\varepsilon_s = \ln\left(\frac{l_s}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0}\right) \quad (2.4c)$$

$$\varepsilon_s = \ln(1 + \varepsilon_t) \quad (2.4d)$$

Selain persamaan 2.3d ada persamaan untuk menyatakan hubungan tegangan – regangan. Persamaan yang dianggap *representative* untuk bahan teknik adalah [6] :

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.5)$$

- Dimana  $\varepsilon$  : regangan sebenarnya  
 $\sigma$  : tegangan sebenarnya  
 $K$  : konstanta work hardening  
 $n$  : exponent work hardening



**Gambar 2.2** kurva tegangan-regangan teknik dan sebenarnya[2].



## 2.1.2 Pengujian Indentasi

Pengujian indentasi adalah pengujian yang biasanya digunakan untuk mencari sifat mekanik. Indentasi Test adalah kemampuan suatu material untuk digores (*scratch*) material lain atau ketahanan terhadap indentasi. Pengujian indentasi dibedakan berdasarkan bentuk dan jenis indentornya, beberapa pengujian indentasi yang sering digunakan antara lain : pengujian Brinell yang menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan, pengujian Rockwell yang menggunakan indenter kerucut dan bola serta pengujian Vicker yang menggunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut  $136^\circ$ .

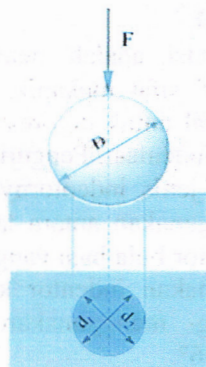
### 2.1.2.1 Pengujian Indentasi dengan Metode Brinell

Pengujian Brinell adalah salah satu cara pengujian indentasi yang banyak digunakan. Pengujian ini menggunakan bola baja yang dikeraskan sebagai indenter. Indenter ini dibebankan ke permukaan logam yang diuji dengan gaya tekan tertentu selama waktu tertentu (10 – 30 detik). Pemberian beban pada permukaan logam tersebut akan terbentuk luas tampak tekan yang berbentuk tembereng bola. Kekerasan Brinell dapat dihitung sebagai berikut[1] :

$$BHN = \frac{\text{gaya tekan}}{\text{luas tapak tekan(indentasi)}} \quad (2.6a)$$

$$BHN = \frac{P}{\pi \frac{D}{2} \left\{ D - \sqrt{D^2 - d^2} \right\}} \quad (2.6b)$$

Dimana : P : gaya tekan  
D : diameter bola indenter  
d : diameter tampak tekan



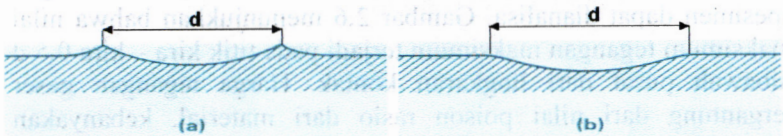
**Gambar 2.3** Ilustrasi pengujian pada Brinell[2]

Brinell standar menggunakan beban ( $P$ ) = 3000 kg, diameter bola indenter ( $d$ ) = 10 mm dan waktu penekanan 10 detik. Permukaan hasil indentasi tidak sepenuhnya berbentuk tembereng bola, akibat deformasi pada saat penekanan dan terjadinya recovery pada spesimen setelah beban dibebaskan. Oleh sebab itu pengujian yang menggunakan beban dan diameter indenter yang berbeda akan menghasilkan geometri tampak tekan yang berbeda. Untuk menghindari geometri tampak tekan yang beragam, pemakaian beban indentasi ( $P$ ) dan diameter indenter ( $D$ ) harus mengikuti ketentuan sebagai berikut [3]:

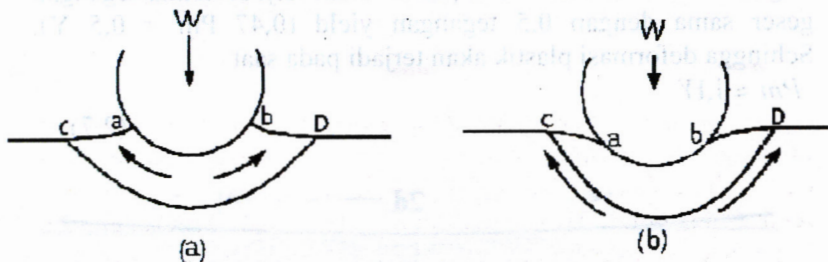
$$\frac{P}{D^2} = \text{konstan (k)}$$

Dimana harga konstanta ( $k$ ) ini untuk baja adalah 30, untuk tembaga/paduan tembaga 10 dan untuk aluminium/paduan aluminium 5. Pada pengujian Brinell dilakukan pengukuran luas permukaan tampak tekan secara manual sehingga akan memakan waktu dan memberi peluang terjadinya kesalahan pengukuran. Agar meminimalisir kesalahan yang terjadi, diameter tampak tekan ( $d$ ) yang dihasilkan haruslah  $0,2D < d < 0,7D$ . Kadang-kadang pengukuran tampak tekan ini tidak mudah, karena ada kemungkinan terjadi *ridging* (*piling*) dan *sinking*. *Sinking* terjadi

pada logam dalam kondisi *annealed* dan *pilling* terjadi pada logam yang terdeformasi dingin. Gambar 2.4 dan gambar 2.5 menunjukkan terjadinya fenomena *pilling* dan *sinking*.



**Gambar 2.4** Geometri indentasi pada pengujian kekerasan Brinell pada : (a) *pilling* dan (b) *sinking* [1]



**Gambar 2.5** (a) indenter disekitar logam yang menghasilkan pilling untuk highly worked metal, (b) perpindahan logam terjadi pada daerah dengan jarak yang kecil dari indenter kemudian terjadi *sinking* untuk logam dalam kondisi *annealed* [1]

*Pilling* terjadi ketika beban diberikan pada spesimen melalui penetrasi pada indenter, logam akan mengalir keluar diantara AC dan BD sehingga daerah ini akan terangkat dari sebelahnyanya. Dengan penambahan diameter indentasi akibat penurunan indenter membuat logam berpindah kesamping yang dekat dengan A dan B. Hal ini terjadi pada logam yang terdeformasi dingin. Sedangkan *sinking* terjadi pada kondisi logam *annealed*, dengan pemberian beban mengakibatkan perpindahan logam terjadi diluar daerah C dan D. Sehingga daerah diantara A dan B cenderung mengalami penurunan dari daerah disekitarnya.

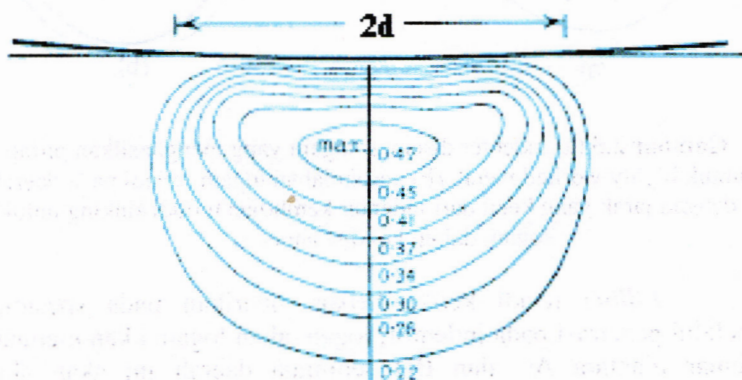


### 2.1.2.2 Deformasi plastik

Dengan mengaplikasikan kriteria *von mises* dan *tresca* untuk pengujian indentasi maka kondisi plastis yang terjadi pada titik tepat dibawah permukaan kontak antara indenter dengan spesimen dapat dianalisa. Gambar 2.6 menunjukkan bahwa nilai maksimum tegangan maksimum terjadi pada titik kira – kira 0,5 d dibawah pusat dari lingkaran kontak. Harga tegangan geser tergantung dari nilai poisson rasio dari material, kebanyakan material mempunyai poisson rasio 0,3 sehingga nilai tegangan gesernya  $0,47 P_m$ , dimana  $P_m$  adalah tekanan rata – rata pada lingkaran kontak. Jadi aliran plastik akan terjadi ketika tegangan geser sama dengan 0,5 tegangan yield ( $0,47 P_m = 0,5 Y$ ). Sehingga deformasi plastik akan terjadi pada saat

$$P_m \approx 1,1Y$$

(2.7)

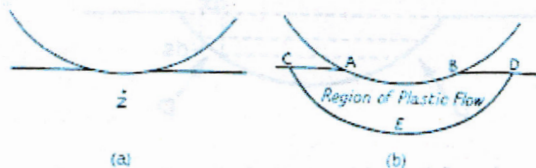


**Gambar 2.6** Deformasi elastik pada permukaan datar, tegangan geser maksimum terjadi dibawah permukaan material yang terdeformasi.[1]

Jika tekanan rata – rata ( $P_m$ ) kurang dari harga  $P_m$  dari rumus diatas, akan terjadi deformasi elastik. Dan pada penarikan beban menyebabkan permukaan dan indenter kembali kebentuknya semula. Meskipun beberapa deformasi plastik terjadi



pada daerah z seperti pada gambar 2.7. Pada saat pemindahan beban jumlah deformasi sisa pada logam sangat kecil. Dengan bertambahnya beban yang diberikan menyebabkan deformasi yang terjadi juga semakin besar dan tekanan rata-rata juga akan naik, sehingga menyebabkan deformasi plastis seperti terlihat pada gambar 2.7b

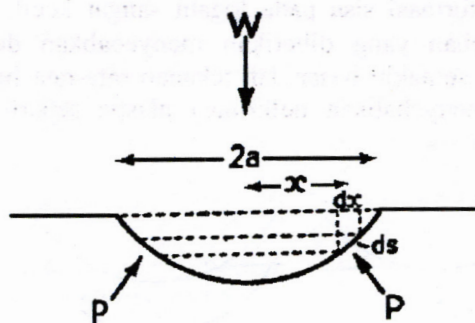


**Gambar 2.7** Deformasi plastis pada logam ideal plastik dengan indenter bola (a) daerah z dimana terjadi pada kondisi  $P_m = 1,1Y$ , (b) kondisi keseluruhan material disekeliling indenter terjadinya aliran plastis.[1]

### 2.1.2.3 Pengukuran sifat mekanik melalui variasi beban yang diberikan

Suatu indentasi dibentuk dengan indenter bola menyebabkan pemindahan indentasi disekeliling material dan penambahan tegangan disekitar indentasi. Gaya ( $W$ ) diberikan pada indenter bola dengan diameter  $D$  sehingga diameter tampak tekan pada saat indentasi menjadi  $d = 2a$ . Pemberian beban tersebut menyebabkan tekanan internal rata-rata dari material yang memberikan tekanan balik sebesar beban yang diberikan, sebesar  $P_m$ . Gesekan yang terjadi diantara permukaan indenter dan spesimen diasumsikan sangat kecil sehingga dapat diabaikan.





**Gambar 2.8** Perhitungan tekanan rata – rata diantara spherical indenter dan indentasi[1]

Gambar 2.8 menunjukkan suatu indentasi yang terbentuk dari indenter bola dan perhitungan tekanan rata – rata ditentukan dengan melihat hubungan radius ( $x$ ) dan lebar ( $ds$ ). Luas tampak tekan (indentasi) di permukaan pada saat diindentasi adalah  $2\pi x ds$  dan gaya yang diterima adalah  $P_m 2\pi x ds$ . Komponen horisontal pada gaya adalah nol ketika komponen vertikal adalah  $P_m 2\pi x dx$ . Penjumlahan semua daerah permukaan pada indentasi, resultan gaya vertikal sama dengan  $W$ , didapatkan melalui[1] :

$$W = \int_0^a P_m 2\pi x dx \quad (2.8a)$$

$$W = P_m \pi a^2 \quad (2.8b)$$

Oleh karena itu, tekanan rata – rata didapatkan :

$$P_m = \frac{W}{\pi a^2} \quad (2.8c)$$

Dimana  $W$  : beban yang diberikan (N)  
 $a$  : radius pada indentasi (m)

### 2.1.2.4 Hubungan diantara tekanan rata – rata dan tegangan

Percobaan indentasi yang dilakukan Tabor bertujuan untuk mengukur tegangan disekitar material yang terdeformasi saat terjadi indentasi. Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh Tabor menunjukkan bahwa tegangan ditepi pada indentasi ternyata dapat digunakan sebagai harga tegangan 'representative' untuk semua material yang terdeformasi disekitar indentasi. Percobaan yang dilakukan Tabor pada beberapa material menyebutkan bahwa tekanan rata –rata adalah berbanding lurus terhadap tegangan dalam indentasi[1].

$$P_m \approx \sigma \quad (2.9a)$$

$$P_m = c\sigma \quad (2.9b)$$

Tabel 2.1 harga c untuk masing – masing logam *work hardened* [1]

Metal ( <i>Work-hardened</i> )	Y (kg./mm. <sup>2</sup> )	P <sub>m</sub> (kg./mm. <sup>2</sup> )	c = P <sub>m</sub> /Y
Tellurium-lead alloy .	2.1	6.1	2.9
Aluminium . . .	12.3	34.5	2.8
Copper . . . . .	31	88	2.8
Mild steel . . . .	65	190	2.8

Dari tabel 2.1 dapat diketahui harga c untuk baja adalah 2.8 sehingga diperoleh persamaan :

$$P_m = 2.8\sigma \quad (2.9c)$$

Dimana P<sub>m</sub> : tekanan rata – rata

σ : tegangan pada indentasi

Selain menganalisa tegangan yang terjadi akibat proses indentasi juga didapatkan regangan sebanding terhadap rasio d/D, dimana d adalah diameter tampak tekan (hasil indentasi) dan

D adalah diameter dari indenter. Sehingga regangan ( $\varepsilon$ ) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \psi \times \left( \frac{d}{D} \right) \quad (2.10a)$$

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan Tabor [1] harga  $\psi$  sebesar 0.2 sehingga persamaannya :

$$\varepsilon = 0.2 \times \left( \frac{d}{D} \right) \quad (2.10b)$$

### 2.1.2.5 Perhitungan *exponent work hardening* (n)

Semua titik pada daerah plastik dalam kurva tegangan – regangan pada material dihubungkan melalui persamaan,  $\sigma_i = K\varepsilon_i^n$ . Dimana n adalah *strain hardening exponent* dan K adalah *koeffisien Strain hardening*. Kemudian didapatkan minimal dua harga yang diperoleh ( $\sigma_1, \varepsilon_1$ ) dan ( $\sigma_2, \varepsilon_2$ ), dari percobaan indentasi. Tegangan dan regangan ini dapat dihubungkan melalui persamaan berikut [2] :

$$\sigma_1 = K \varepsilon_1^n \quad (2.11a)$$

$$\sigma_2 = K \varepsilon_2^n \quad (2.11b)$$

Dari persamaan 2.11a dan 2.11b diperoleh :

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right)^n \quad (2.11c)$$

Untuk mendapatkan nilai n maka dicari dengan fungsi ln sehingga persamaannya :

$$\ln \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) = n \times \ln \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) \quad (2.11d)$$



$$n = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}{\ln\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)} \quad (2.11e)$$

### 2.1.2.6 Perhitungan koefisien strain hardening (K)

Perhitungan koefisien strain hardening pada material, harga  $n$  (yang diperoleh dari beban yang berbeda) yang disebut sebagai  $n_f$ . Kemudian tegangan dan regangan dihubungkan dengan nilai  $n$  dari  $(\sigma_1, \varepsilon_1)$  dan  $(\sigma_2, \varepsilon_2)$ . Harga koefisien strain hardening  $K$  diperoleh dari [2]:

$$1. \quad K_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1^{n_f}} \quad (2.12a)$$

$$2. \quad K_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2^{n_f}} \quad (2.12b)$$

Dimana  $K$  adalah rata-rata pada  $K_1$  dan  $K_2$  sehingga

$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} \quad (2.12c)$$

Kurva tegangan – regangan pada material dalam daerah plastik diplotkan dari persamaan  $\sigma = K\varepsilon^{n_f}$ . Dari hasil pengujian Tabor kemudian dikembangkan oleh Cahoon untuk mendapatkan nilai tegangan luluh dan juga tegangan maksimum pada baja dengan persamaan [8]:

$$\sigma_y = \frac{P_m}{3} (0.1)^n \quad (2.13)$$

$$\sigma_u = \frac{P_m}{2.9} \left( \frac{n}{0.211} \right)^n \quad (2.14)$$

Dimana  $\sigma_y$  : tegangan luluh

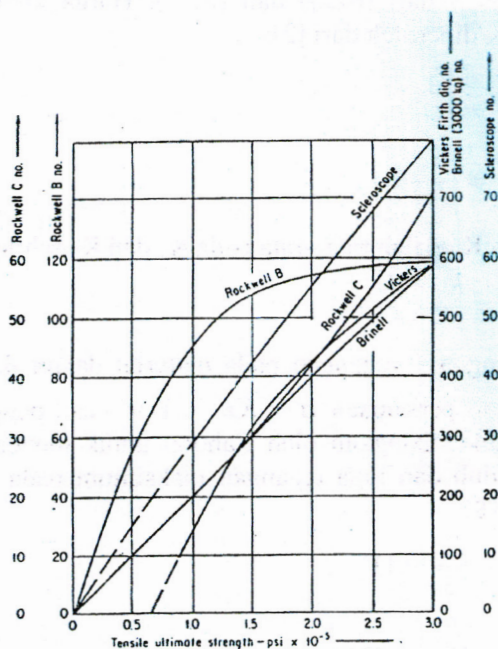
$\sigma_u$  : tegangan maksimum

$P_m$  : Tekanan rata-rata

$n$  : *exponent work hardening*

### 2.1.3 Hubungan antara kekuatan dan kekerasan

Jika suatu logam mempunyai kekerasan yang meningkat maka kekuatan juga akan meningkat tetapi keuletanya akan turun. Hubungan antara kekerasan dan kekuatan juga dapat digambarkan dengan suatu grafik seperti terlihat pada Gambar 2.9. Dari grafik tersebut terlihat angka kekerasan Brinell menunjukkan suatu hubungan yang paling linier. Dengan angka kekerasan yang lain akan terjadi sedikit penyimpangan pada angka kekerasan yang agak tinggi



**Gambar 2.9** Hubungan antara kekerasan dengan dengan kekuatan tarik untuk baja konstruksi[3]

## 2.2 Baja

Baja merupakan paduan yang banyak digunakan/diproduksi sehingga jenis dan bentuk dari baja sangat bermacam-macam. Baja merupakan paduan dari besi, karbon dan elemen-elemen lain, yang kandungan karbonnya kurang dari 2%.

Ada beberapa jenis dari baja karbon berdasarkan kadar karbon, antara lain :

### 1. *Mild (low carbon) steel*

Mempunyai kadar karbon  $< 0.30\%$  C. *Mild steel* mempunyai kekuatan tarik relatif rendah, mudah ditempa (*malleable*), berharga relatif murah, kekerasan permukaan dapat dinaikkan dengan *carburizing*. Umumnya disuplai dalam bentuk produk *flat-rolled (sheet atau strip)*.

### 2. *Medium carbon steel*

Mempunyai kadar karbon antara  $0.30\%$ - $0.59\%$ . *Medium carbon steel* memiliki keseimbangan yang cukup baik antara keuletan dan kekuatan serta memiliki ketahanan aus yang cukup bagus, biasa digunakan untuk komponen otomotif.

### 3. *High carbon steel*

Mempunyai kadar karbon antara  $0.60\%$ - $0.99\%$ . Baja ini sangat kuat dan biasanya digunakan untuk material pegas dan kawat berkekuatan tinggi.

### 4. *Ultra high carbon steel*

Mempunyai kadar karbon antara  $1.0\%$ - $2.0\%$ . Baja ini dapat di-*temper* untuk mendapatkan kekerasan yang bagus. Biasanya digunakan sebagai bahan untuk pembuatan pisau, kapak atau *punches*.

### 2.2.1 Baja Nickel Crom Molybdenum (AISI 4340)

Sifat baja banyak ditentukan oleh kadar karbon dan struktur mikro, disamping juga unsur paduannya. Kekuatan baja karbon akan meningkat dengan bertambahnya kadar karbon, namun kenaikan kadar karbon ini menyebabkan turunnya keuletan dan ketangguhannya. Oleh karena itu, keterbatasan yang ada pada baja karbon biasa, dapat diganti dengan baja paduan



(*alloy steel*). Pada dasarnya, unsur paduan ditambahkan dengan tujuan untuk :

- a). Meningkatkan ketahanan terhadap keausan
- b). Meningkatkan kekuatan pada temperatur tinggi
- c). Meningkatkan ketahanan terhadap korosi

Baja AISI 4340 merupakan material yang banyak dipakai sebagai bahan dasar dari peralatan-peralatan berat atau dapat juga untuk peralatan-peralatan otomotif, seperti untuk roda gigi, poros dan berbagai peralatan berat lainnya, dimana bagian-bagian tersebut membutuhkan sifat tahan aus, kekerasan yang tinggi dan tangguh. Baja AISI 4340 mempunyai kandungan utama yaitu karbon, krom, nikel dan molibdenum, oleh karena itu baja AISI 4340 dapat disebut juga dengan *triple-alloy nickel-chromium-molybdenum steels*.

Unsur nikel akan larut didalam austenit dan ferit sehingga kekuatan dan ketangguhan akan naik. Nickel juga menurunkan kadar karbon di dalam perlit dan perlit terbentuk pada temperatur yang lebih rendah sehingga menyebabkan perlit yang dihasilkan lebih halus. Cromium juga larut di dalam ferit dan austenit, sehingga kekuatan dan ketangguhan akan naik. Selain itu crom dapat membentuk karbida bila terdapat cukup karbon sehingga akan menaikkan sifat tahan aus. Molybdenum merupakan unsur yang cukup mahal, kelarutan didalam austenit maupun ferit sangat terbatas dan berfungsi carbide former yang kuat. Molybdenum ini akan menaikkan hardenability, menaikkan kekerasan dan kekuatan di temperature tinggi.

### 2.3. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Keunggulan dari metode ini adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks.



Dengan metode ini suatu struktur elastik kontinu dibagi-bagi (*discretized*) menjadi beberapa substruktur (*elemen*). Kemudian dengan menggunakan matriks, defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, properti geometrik dan lain-lain. Analisa elemen hingga dilakukan dengan menggunakan software ANSYS. Dalam ANSYS langkah analisa dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu :

- *Preprocessor* dilakukan pemodelan benda yang akan dianalisa, penentuan jenis material, pemilihan tipe elemen, meshing, dan juga aplikasi beban.
- *Solution* permasalahan yang telah didefinisikan akan dihitung.
- *General Postprocessor* hasil perhitungan ditampilkan secara visual dalam bentuk kontur tegangan dan regangan.

### Plane Element

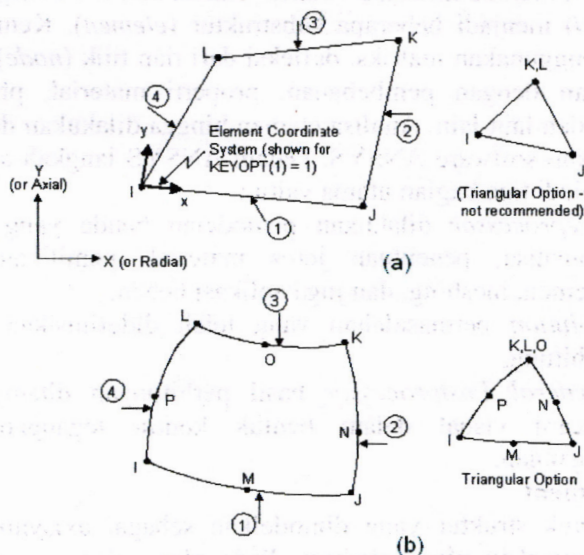
Untuk struktur yang dimodelkan sebagai axisymmetric dapat menggunakan plane element. Pada plane elemen, struktur dimodelkan sebagai dua dimensi. ANSYS telah menyediakan beberapa pilihan untuk elemen plane, antara lain PLANE42 dan PLANE82. Berikut ini penjelasan lebih lanjut untuk PLANE42 dan PLANE82 :

#### 1. PLANE42

Digunakan untuk modeling benda 2-D dengan struktur yang solid. Elemen ini dinyatakan dengan empat node dan memiliki dua derajat kebebasan dari tiap node tersebut yaitu translasi sepanjang sumbu x dan y.

#### 2. PLANE82

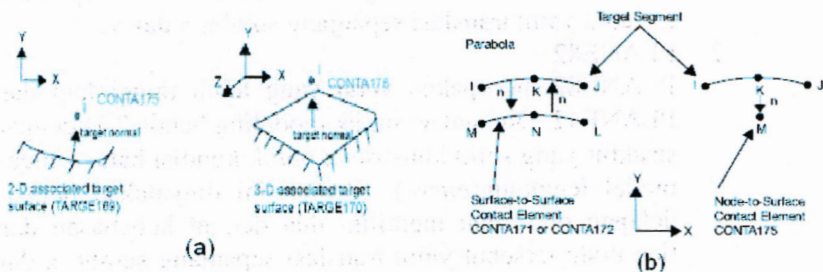
PLANE82 merupakan versi yang lebih tinggi lagi dari PLANE42. Digunakan untuk modeling benda 2-D dengan struktur yang solid khususnya untuk kondisi batas dengan model lengkung (*curve*). Elemen ini dinyatakan dengan delapan node dan memiliki dua derajat kebebasan dari tiap node tersebut yaitu translasi sepanjang sumbu x dan y.



Gambar 2.10 Plane element a) PLANE42, b) PLANE82 [7]

### Contact Element

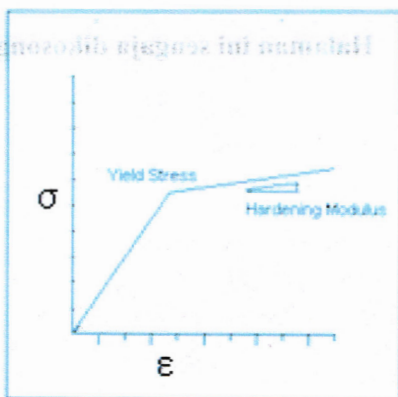
Indentor dimodelkan dengan dengan elemen TARGE169 (2-D) dibuat seperempat lingkaran dengan jari-jari sama dengan jari-jari indentor, maka interaksi antara indentor dengan spesimen dilakukan dengan CONTA 175 (node-to-surface) atau CONTA 172 (surface-to-surface).



Gambar 2.11 Elemen kontak a) TARGE169, b) CONTA175 [7]

### Material modeling

Pada material, faktor yang menyebabkan kekakuan struktur (*structure stiffness*) mengalami perubahan selama menganalisa. Hubungan tegangan – regangan nonlinier pada material *plastic*, *multilinear elastic*, dan *hyperelastic* akan menyebabkan kekakuan struktur mengalami perubahan terhadap perbedaan beban (terutama pada perbedaan temperatur). Beberapa macam sifat pada material dapat dimasukkan kedalam analisa ANSYS jika menggunakan tipe elemen yang sesuai. Beberapa pilihan yang sesuai untuk mendiskripsikan sifat plastis. Model *bilinier isotropic hardening* yang menggunakan dua slope (elastis dan plastis) memberikan karakteristik tegangan – regangan pada material.



**Gambar 2.12** Elastoplastic material model with isotropic hardening[7]





## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Material yang digunakan

Dalam penelitian ini menggunakan material baja paduan AISI 4340 (*prehardened tool steel*) dengan komposisi kimia sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi kimia[5]

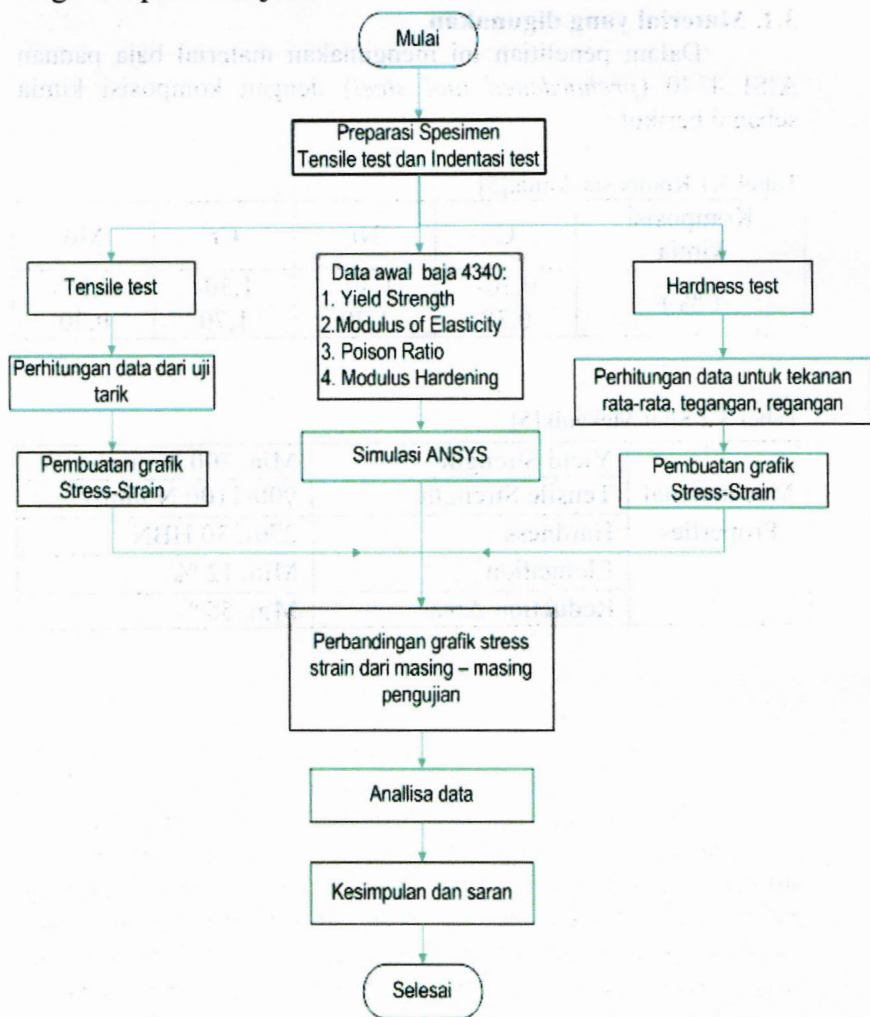
Komposisi kimia (%)	C	Ni	Cr	Mo
		0.30-0,38	1,30-1,70	1,30-1,70

Tabel 3.2 Sifat Mekanik[5]

Mechanical Properties	Yield Strength	Min. 700 N/mm <sup>2</sup>
	Tensile Strength	900-1100 N/mm <sup>2</sup>
	Hardness	270-330 HBN
	Elongation	Min. 12 %
	Reduction Area	Min. 55 %

### 3.2. Diagram Alir Percobaan

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap / langkah seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini :

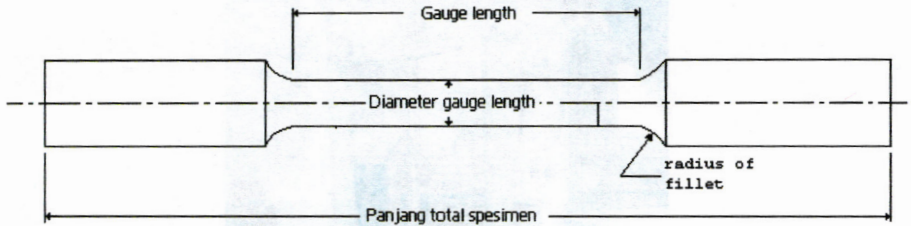


**Gambar 3.1** Diagram Alir Percobaan

### 3.3 Macam-macam Pengujian

#### 3.3.1 Uji Tarik

Dimensi spesimen untuk uji tarik yang dipergunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standart spesimen JIS Z 2201 no 10 untuk uji Tensile sebagai berikut :



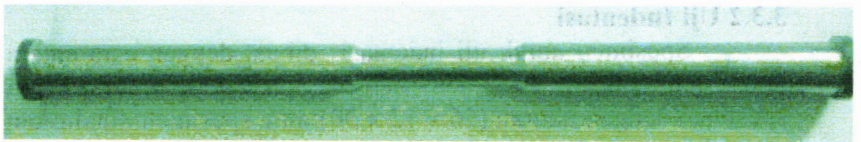
**Gambar 3.2** spesimen Uji Tarik

Dimensi Spesimen :

Panjang total spesimen = 300 mm

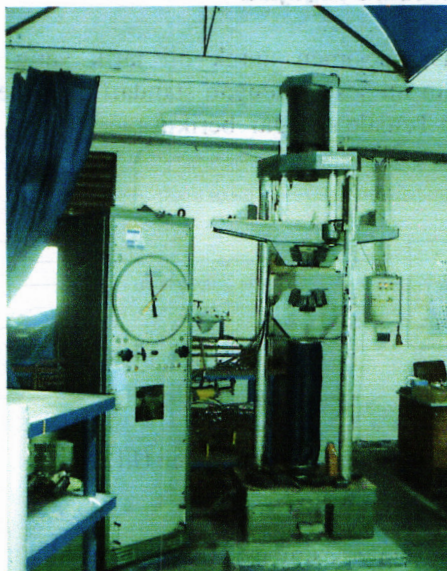
Panjang gauge length = 50 mm

Diameter gauge length = 12,5 mm



**Gambar 3.3** Contoh spesimen Uji Tarik

Uji tarik dilakukan dengan mesin uji tarik *Woolpert Machine* tipe 30 TUZ 750 dengan kapasitas 300 kN di laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS. Spesimen dipasang pada mesin uji tarik, dijepit dan ditarik kearah memanjang secara perlahan. Selama penarikan dicatat dengan grafik pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja dan besarnya pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat dari gaya tarik tersebut. Penarikan dilakukan sampai spesimen uji putus. Mesin uji tarik yang digunakan diperlihatkan pada gambar 3.4



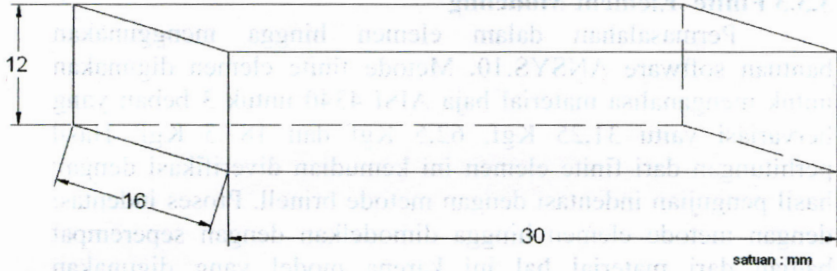
Gambar 3.4. Alat Uji Tarik

### 3.3.2 Uji Indentasi

Spesimen untuk uji indentasi dibuat dengan cara antara lain: pemotongan spesimen dengan gergaji dan dihasilkan spesimen dengan ukuran (16 x 12 x 30) mm, spesimen dihaluskan permukaannya menggunakan kertas gosok (amplas) agar saat pembacaan tampak tekan (indentasi pada material) lebih mudah.

Uji indentasi Brinell menggunakan indenter berupa bola baja yang dikeraskan dengan diameter indenter 2,5 mm. Beban penuh diberikan selama 10 detik, diameter indentasi spesimen diukur dengan mikroskop. Beban yang diberikan sebanyak tiga kali sebesar: 31,2 kg ; 62,5 kg; 187,5 kg. Mesin uji indentasi dengan metode brinell yang digunakan diperlihatkan pada gambar 3.6





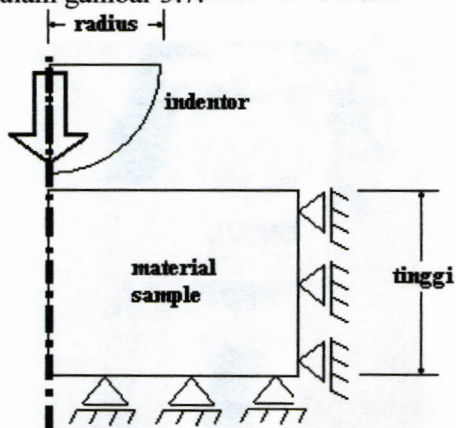
**Gambar 3.5** Spesimen hardness



**Gambar 3.6** Alat uji indentasi

### 3.3.3 Finite Element Modeling

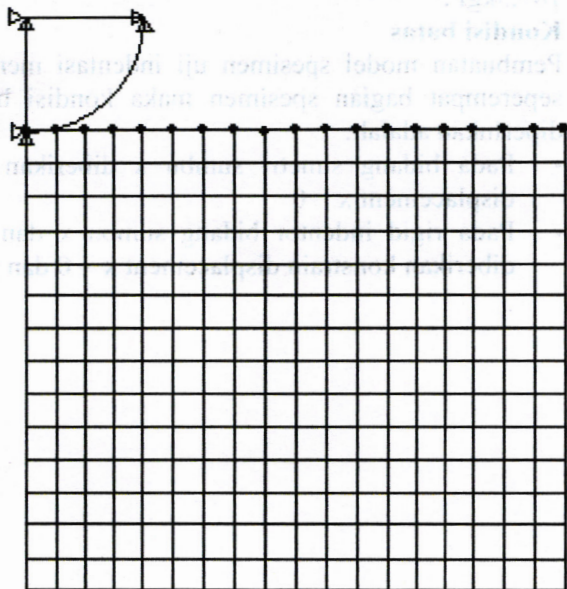
Permasalahan dalam elemen hingga menggunakan bantuan software ANSYS.10. Metode finite elemen digunakan untuk menganalisa material baja AISI 4340 untuk 3 beban yang bervariasi yaitu 31,25 Kgf, 62,5 Kgf dan 187,5 Kgf. Hasil perhitungan dari finite elemen ini kemudian diverifikasi dengan hasil pengujian indentasi dengan metode brinell. Proses indentasi dengan metode elemen hingga dimodelkan dengan seperempat bagian dari material hal ini karena model yang digunakan mempunyai kesimetrian baik terhadap geometri maupun gaya ini ditunjukkan dalam gambar 3.7.



Gambar 3.7 Ilustrasi pemodelan untuk pengujian indentasi

Untuk *material modeling* dimodelkan dengan model *bilinier isotropic hardening* yang menggambarkan sifat elastis-plastis dari material. Pada plane elemen, struktur dimodelkan dengan PLANE 82 karena mempunyai struktur yang lebih detail. Sedangkan untuk Kontak elemen, Indentor dimodelkan dengan elemen TARGE169 (2-D) sehingga interaksi antara indentor dengan spesimen dilakukan dengan CONTA 172 (*surface-to-surface*). Kemudian berdasarkan elemen yang telah dibuat diatas, kemudian dilakukan *meshing* sehingga didapatkan suatu struktur

spesimen pengujian indentasi. Untuk *meshing* elemen pada spesimen untuk pengujian indentasi terdiri dari 289 elemen dan 324 node sepanjang titik kontak sampai tepi dari spesimen uji. Pemodelan untuk pengujian indentasi dengan metode elemen hingga dapat ditunjukkan dengan gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Model dari ANSYS pengujian indentasi dengan  $\frac{1}{4}$  model

Adapun data yang dibutuhkan dalam analisa menggunakan metode elemen hingga antara lain:

1. **Material propertis**, dari spesimen baja AISI 4340, dengan:
  - Modulus elastisitas ( $E$ ) = 225 Gpa
  - Poison rasio ( $\nu$ ) = 0,47
  - Yield Stress ( $\sigma_y$ ) = 830 Mpa
  - Tangent Modulus = 14 Gpa

## 2. Pembebanan

Pembebanan yang dipakai dalam pengujian indentasi dengan metode elemen hingga adalah beban penekanan (indentasi) dengan nilai yang bervariasi disesuaikan dengan pengujian indentasi yaitu 31,2 kgf , 62,5 kgf , 187,5kgf .

## 3. Kondisi batas

Pembuatan model spesimen uji indentasi menggunakan seperempat bagian spesimen maka kondisi batas yang diperlukan adalah:

- Pada bidang simetri sumbu x diberikan konstrain displacement  $x = 0$
- Pada rigid indenter bidang sumbu x dan sumbu y diberikan konstrain displacement  $x = 0$  dan  $y = 0$





## BAB IV DATA DAN ANALISA

### 4. 1 Data Pengujian Tarik

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan pada baja AISI 4340 dengan standart spesimen JIS Z 2201 no 10 diperoleh data-data sebagai berikut :

**Tabel 4. 1** Tabel Data Percobaan Uji Tarik

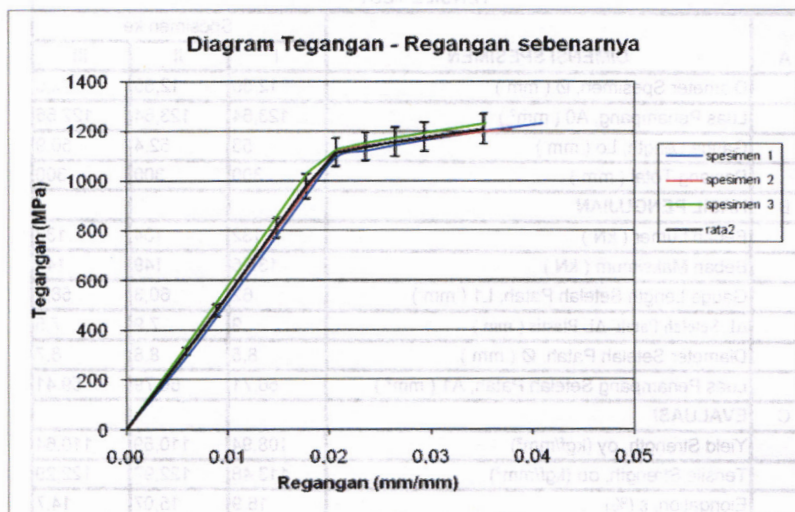
TENSILE TEST				
A	DIMENSI SPESIMEN	Spesimen ke		
		I	II	III
	Diameter Spesimen, $\varnothing$ ( mm )	12,55	12,55	12,5
	Luas Penampang, A0 ( mm <sup>2</sup> )	123,64	123,64	122,66
	Gauge Length, L <sub>0</sub> ( mm )	53	52,4	50,9
	Panjang Total ( mm )	300	300	300
<b>B</b>	<b>HASIL PENGUJIAN</b>			
	Beban Lumer ( kN )	132	134	133
	Beban Maksimum ( kN )	137,5	149	147
	Gauge Length Setelah Patah, L <sub>1</sub> ( mm )	62	60,3	58,4
	$\Delta L$ Setelah Patah/ $\Delta L$ Plastis ( mm )	9	7,9	7,5
	Diameter Setelah Patah, $\varnothing$ ( mm )	8,5	8,8	8,7
	Luas Penampang Setelah Patah, A <sub>1</sub> ( mm <sup>2</sup> )	56,71	60,79	59,41
<b>C</b>	<b>EVALUASI</b>			
	Yield Strength, $\sigma_y$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	108,94	110,59	110,64
	Tensile Strength, $\sigma_u$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	113,48	122,97	122,29
	Elongation, $\epsilon$ (%)	16,9	15,07	14,7

Dari hasil yang diperoleh dan juga grafik beban-pertambahan panjang (grafik P- $\Delta l$ ) kemudian dirubah menjadi grafik tegangan-regangan teknik. Hal ini karena grafik P-  $\Delta l$  hanya menyatakan kemampuan spesimen uji untuk menerima beban. Untuk menggambarkan kemampuan bahan secara umum digunakan grafik tegangan-regangan teknik. Pada saat pengujian tarik, logam akan mengalami ketidakstabilan sehingga menyebabkan pengecilan penampang. Karena pengujian lain tidak mengalami hal tersebut dan juga tegangan dihitung sesuai dengan

keadaan sebenarnya, maka untuk dapat membandingkan hasil dari pengujian tarik dan pengujian lainnya maka grafik tegangan-regangan teknik harus dirubah menjadi grafik tegangan-regangan sebenarnya.

Tabel 4. 2 Tegangan Hasil Pengujian Tarik

	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Rata-rata
Tegangan luluh	1095,51345	1122,05178	1127,79854	1115,12 ± 17,22
Tegangan maksimum	1142,72642	1155,42744	1174,4513	1157,53 ± 18,31



Gambar 4. 1 Grafik Tegangan-Regangan Sebenarnya

Setelah grafik grafik  $P - \Delta l$  dirubah menjadi tegangan regangan sebenarnya, maka didapatkan nilai tegangan luluh dan tegangan maksimum masing-masing spesimen seperti terlihat pada tabel 4.2. Dari ketiga spesimen tersebut didapat nilai rata-rata tegangan luluh ( $\sigma_y$ ) sebesar 1115,12 MPa dan tegangan maksimum ( $\sigma_u$ ) sebesar 1157,53 MPa. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa dari ketiga spesimen uji dihasilkan nilai tegangan luluh dan tegangan maksimum yang tidak jauh berbeda. Hasil

pengujian tarik ini digunakan sebagai pembandingan dengan data sifat mekanik hasil pengujian indentasi dengan indenter brinell dan juga hasil perhitungan dengan metode elemen hingga.

## 4.2 Data Pengujian Indentasi

Dari pengujian indentasi dengan metode brinell yang dilakukan dengan variasi beban, didapatkan data seperti tabel 4.3

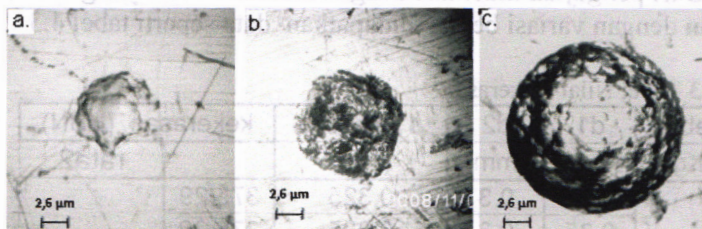
**Tabel 4.3** Tabel Nilai Kekerasan

no	Beban	d1	d2	d rata-rata	kekerasan (HBN)	
	(Kgf)	(mm)	(mm)	(mm)		rata2
1	31,25	0,35	0,3	0,325	375,29	346,145
2		0,35	0,3	0,325	375,29	
3		0,35	0,4	0,375	281,48	
4		0,35	0,35	0,35	323,37	
5		0,3	0,35	0,325	375,29	
6	62,5	0,45	0,5	0,475	349,66	352,02
7		0,5	0,5	0,5	315,25	
8		0,45	0,45	0,45	389,96	
9		0,5	0,5	0,5	315,25	
10		0,45	0,45	0,45	389,96	
11	187,5	0,85	0,85	0,85	320,75	349,94
12		0,8	0,8	0,8	363,40	
13		0,85	0,8	0,825	341,10	
14		0,8	0,85	0,825	341,10	
15		0,8	0,8	0,8	363,40	

Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan diameter indentasi terhadap variasi beban indentasi untuk diameter indenter 2,5 mm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk diameter indenter yang sama akan dihasilkan diameter indentasi yang semakin besar dengan bertambahnya beban. Berdasarkan ketentuan  $0,2 D < d < 0,7 D$ , dimana D adalah diameter indenter dan d adalah diameter indentasi maka dari pengujian indentasi



brinell dengan beban 187,5 kgf didapatkan diameter indentasi sesuai dengan ketentuan. Sedangkan pada beban 62,5 kgf dan 31,5 kgf tidak sesuai dengan ketentuan tersebut, hal ini karena indentasi yang terbentuk kurang sempurna seperti terlihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Luasan Tampak Tekan ( indentasi )

a.) Beban 31,25 kgf b.) Beban 62,5 Kgf c.) Beban 187,5 Kgf

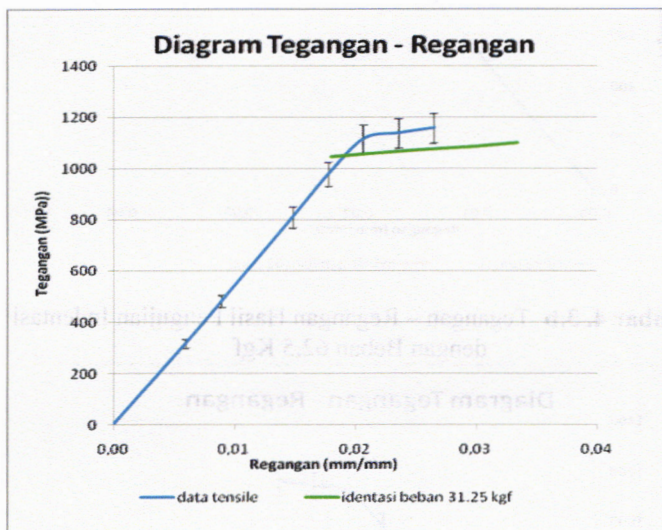
Dari diameter yang didapatkan kemudian dihitung tegangan plastis dengan menggunakan persamaan 2.8 dan persamaan 2.9. Dengan menggunakan persamaan dari Cahoon, nilai tegangan luluh dapat didekati dengan persamaan 2.13 dan tegangan maksimum dengan persamaan 2.14. Table 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka akan menghasilkan tegangan yang semakin besar.

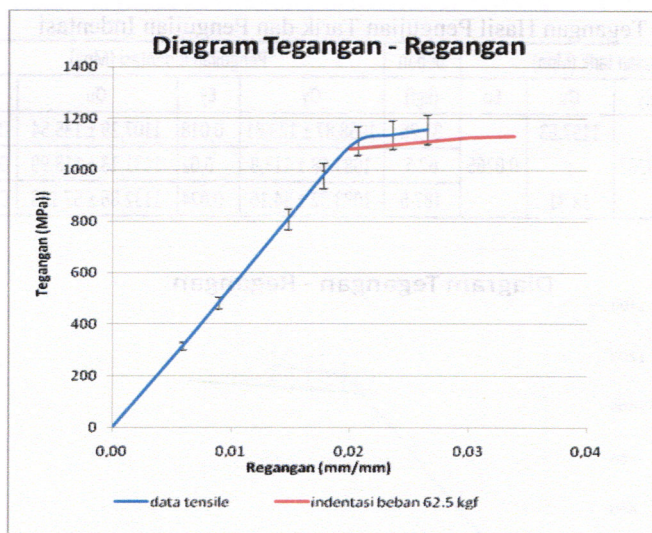
Sedangkan nilai regangan di hitung dengan menggunakan persamaan 2.10. Semakin besar beban yang diberikan maka regangan yang dihasilkan juga akan semakin besar. Kenaikan regangan ini karena diameter indentasi semakin besar sedangkan diameter indenter tetap. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai tegangan hasil pengujian indentasi mendekati nilai dari tegangan yang didapatkan dari pengujian tarik. Karena hasil indentasi pada beban 31,25 Kgf kurang sempurna sehingga menghasilkan tegangan yang diluar standar deviasi dari pengujian tarik. Sedangkan pada beban 62,5 kgf menghasilkan indentasi yang hampir sempurna menyebabkan tegangan yang dihasilkan relatif mendekati dengan pengujian tarik.



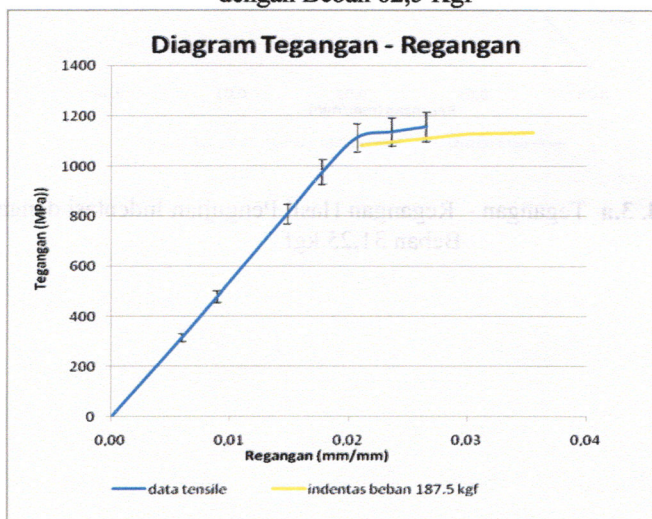
**Tabel 4. 4** Tegangan Hasil Pengujian Tarik dan Pengujian Indentasi

Pengujian tarik (Mpa)				beban (kgf)	Pengujian indentasi (Mpa)				
$\sigma_y$	$\epsilon_y$	$\sigma_u$	$\epsilon_u$		$\sigma_y$	$\epsilon_y$	$\sigma_u$	$\epsilon_u$	
1115,12	± 0,0207	1157,53	± 0,0265	31,25	1058,87 ± 129,61	0,018	1107,29 ± 135,54	0,0334	
					62,5	1081,68 ± 113,8	0,02	1131,13 ± 118,99	0,0338
17,22				18,31		187,5	1083,32 ± 54,16	0,024	1132,86 ± 57,158


**Gambar 4. 3.a** Tegangan – Regangan Hasil Pengujian Indentasi dengan Beban 31,25 kgf



**Gambar 4.3.b** Tegangan – Regangan Hasil Pengujian Indentasi dengan Beban 62,5 Kgf



**Gambar 4.3.c** Tegangan – Regangan Hasil Pengujian Indentasi dengan Beban 187,5 Kgf

### 4.3 Data Pengujian Finite Elemen

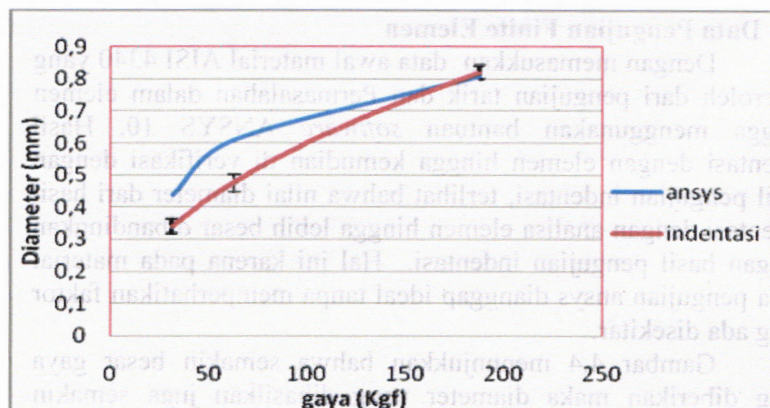
Dengan memasukkan data awal material AISI 4340 yang diperoleh dari pengujian tarik dan Permasalahan dalam elemen hingga menggunakan bantuan *software* ANSYS 10. Hasil indentasi dengan elemen hingga kemudian di verifikasi dengan hasil pengujian indentasi, terlihat bahwa nilai diameter dari hasil indentasi dengan analisa elemen hingga lebih besar dibandingkan dengan hasil pengujian indentasi. Hal ini karena pada material pada pengujian ansys dianggap ideal tanpa memperhatikan faktor yang ada disekitar.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar gaya yang diberikan maka diameter yang dihasilkan juga semakin besar. Dengan bertambahnya beban, diameter hasil dari pengujian dengan elemen hingga akan mendekati nilai diameter hasil pengujian indentasi.

Tabel 4.5 Diameter indentasi

beban Kgf	diameter	
	ansys (mm)	indentasi (mm)
31,25	0,44	0,34±0,022
62,5	0,61	0,475±0,025
187,5	0,81	0,82±0,02



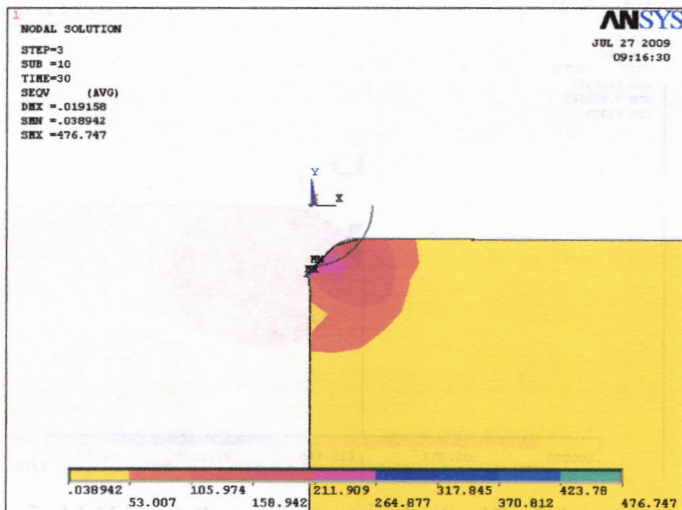


**Gambar 4. 4** Grafik Diameter indentasi Hasil Pengujian Indentasi dan Pengujian elemen hingga.

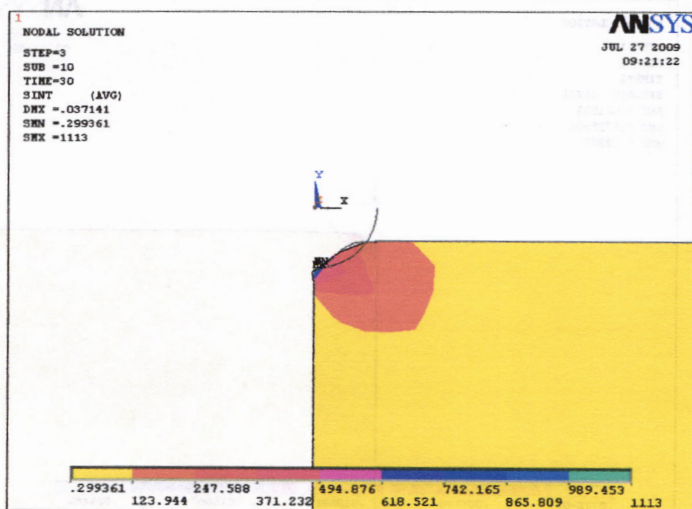
Berdasarkan ketentuan  $0,2 D < d < 0,7D$ , dimana  $D$  adalah diameter indenter dan  $d$  adalah diameter indentasi maka dari kedua pengujian diatas pada beban 62,5 kgf dan 187,5 kgf didapatkan diameter indentasi sesuai dengan ketentuan. Sedangkan pada beban 31,5 kgf tidak sesuai dengan ketentuan tersebut, hal ini karena material yang digunakan keras sedangkan gaya yang diberikan kecil sehingga menghasilkan indentasi yang kecil dan juga mengalami proses *Pilling*. Dengan diameter indenter 2,5 mm maka ketentuan untuk baja  $P/D^2=30$  sehingga pada beban 187,5 menghasilkan luasan indentasi yang relatif sama antara pengujian indentasi dan juga pengujian finite elemen.

Gambar 4.5 – 4.6 menunjukkan tegangan dan distribusi regangan yang terjadi pada pengujian indentasi dengan elemen hingga, dalam hal ini digunakan ANSYS 10. Distribusi tegangan *Von Mises* digunakan untuk memperoleh tegangan luluh dan tegangan maksimum pada pengujian dengan elemen hingga tersebut.. Distribusi regangan digunakan untuk memperoleh regangan luluh dan regangan maksimum pada pengujian dengan elemen hingga tersebut.

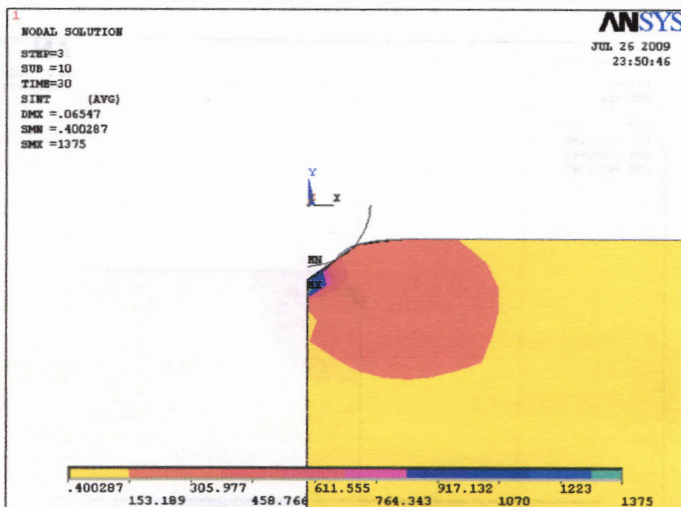




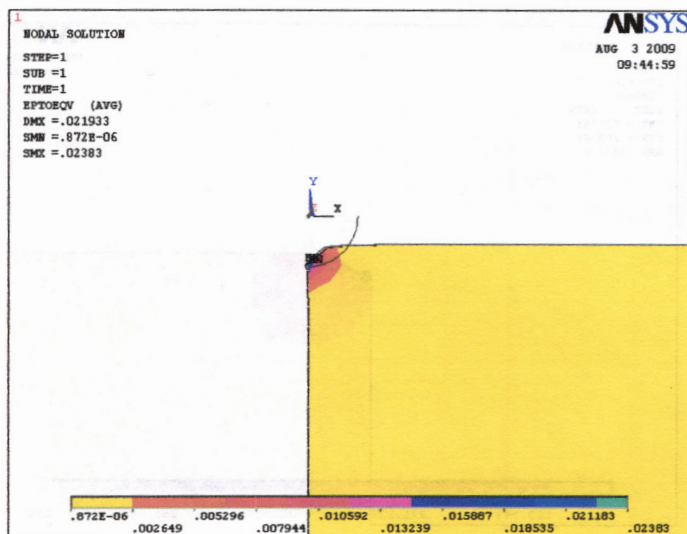
Gambar 4. 5a. Distribusi tegangan dengan Beban 31,25 kgf



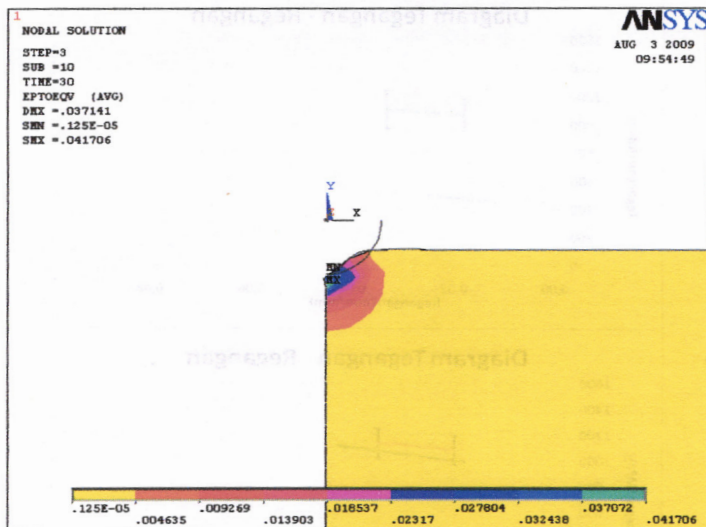
Gambar 4. 5b. Distribusi tegangan dengan Beban 62,5 kgf



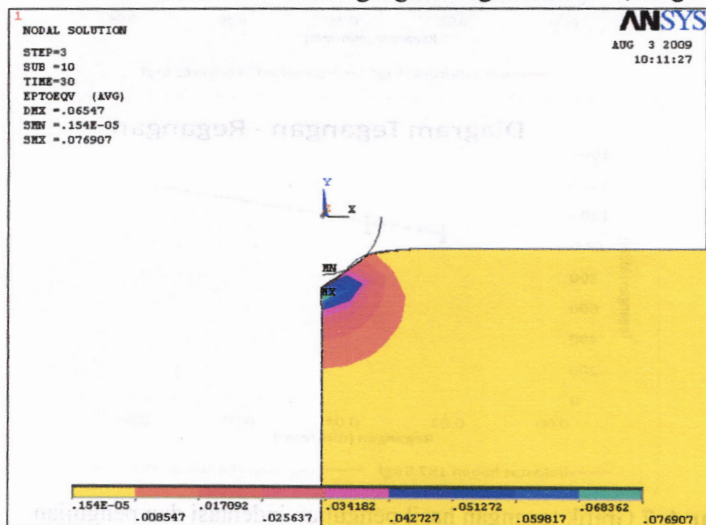
Gambar 4. 5c. Distribusi tegangan dengan Beban 187,5 kgf



Gambar 4. 6a. Distribusi regangan dengan Beban 31,25 Kgf

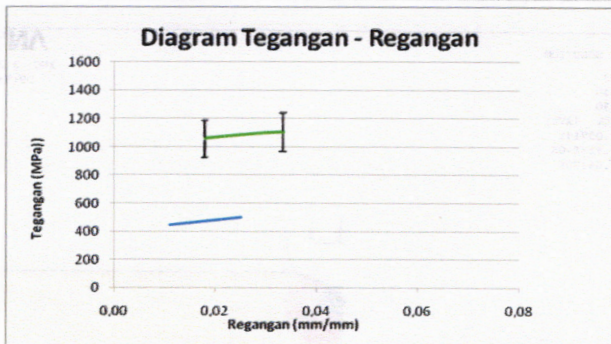


Gambar 4. 6b. Distribusi regangan dengan Beban 62,5 Kgf

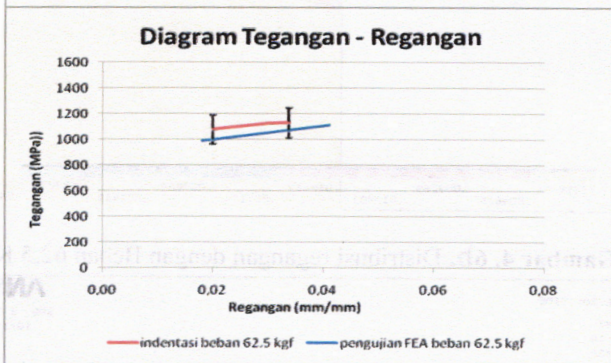


Gambar 4. 6c. Distribusi regangan dengan Beban 187,5 Kgf

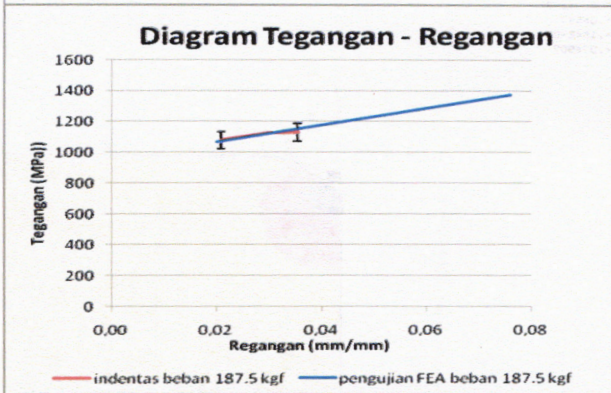
a.)



b.)



c.)



**Gambar 4. 7** Grafik tegangan hasil pengujian indentasi dan pengujian elemen hingga

a.) Beban 31,25 kgf b.) Beban 62,5 Kgf c.) Beban 187,5 Kgf



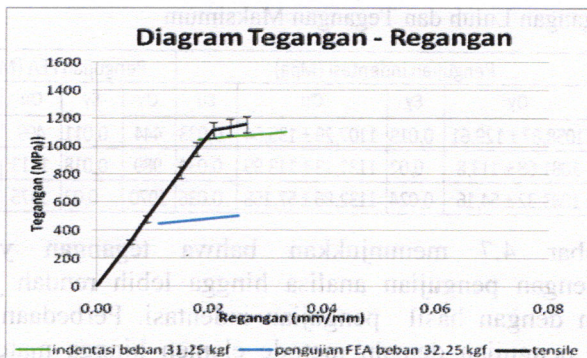
Tabel 4. 6 Tegangan Luluh dan Tegangan Maksimum

type material	beban (N)	Pengujian indentasi (Mpa)				Pengujian FEA (Mpa)			
		$\sigma_y$	$\epsilon_y$	$\sigma_u$	$\epsilon_u$	$\sigma_y$	$\epsilon_y$	$\sigma_u$	$\epsilon_u$
AISI 4340	31,25	1058,87 ± 129,61	0,018	1107,29 ± 135,54	0,033	444	0,011	499	0,025
	62,5	1081,68 ± 113,8	0,02	1131,13 ± 118,99	0,034	989	0,018	1113	0,041
	187,5	1083,32 ± 54,16	0,024	1132,86 ± 57,158	0,036	1070	0,02	1375	0,076

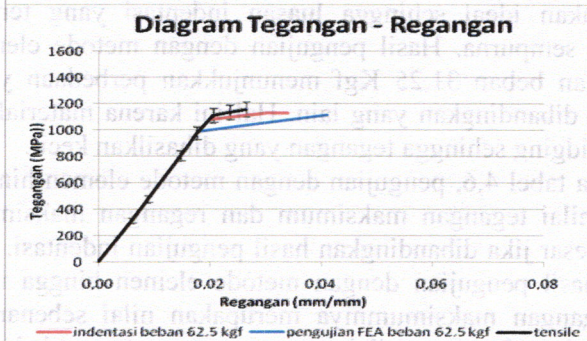
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan dengan pengujian analisa hingga lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengujian indentasi. Perbedaan ini karena pada pengujian dengan metode elemen hingga material yang digunakan ideal sehingga luasan indentasi yang terjadi diasumsikan sempurna. Hasil pengujian dengan metode elemen hingga dengan beban 31,25 Kgf menunjukkan perbedaan yang sangat besar dibandingkan yang lain. Hal ini karena materialnya mengalami ridging sehingga tegangan yang dihasilkan kecil.

Pada tabel 4,6, pengujian dengan metode elemen hingga didapatkan nilai tegangan maksimum dan regangan maksimum yang lebih besar jika dibandingkan hasil pengujian indentasi. Hal ini karena hasil pengujian dengan metode elemen hingga nilai tegangan-regangan maksimumnya merupakan nilai sebenarnya pada material sedangkan nilai tegangan-regangan maksimum hasil pengujian indentasi merupakan nilai pendekatan.

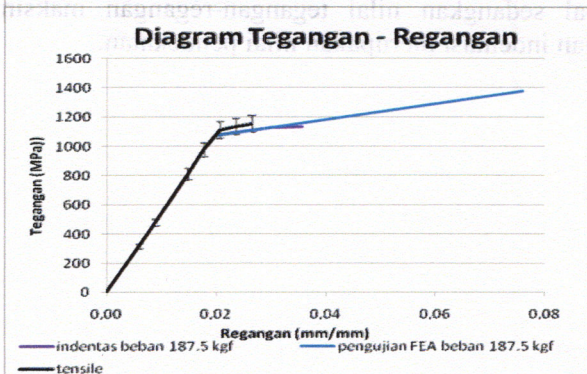
a.)



b.)



c.)



**Gambar 4. 8** Perbandingan tegangan – regangan untuk pengujian tarik dan pengujian elemen hingga dengan diameter indentor 2,5 mm  
 a.) Beban 31,25 kgf b.) Beban 62,5 Kgf c.) Beban 187,5 Kgf

Dari grafik 4.8 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban yang diberikan pada pengujian indentasi dan juga pengujian elemen hingga akan di dapatkan nilai tegangan yang mendekati dengan hasil pengujian tarik. Sehingga hasil dari pengujian indentasi dan juga pengujian elemen hingga pada beban 187,5 kgf nilai tegangan paling mendekati dengan hasil dari pengujian tarik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Dari grafik 4.2 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban yang diberikan pada pengujian indentasi dan juga pengujian elemen hingga akan di dapatkan nilai tegangan yang mendekati dengan hasil pengujian tarik. Sehingga hasil dari pengujian indentasi dan juga pengujian elemen hingga pada beban 187.5 kgf nilai tegangan paling mendekati dengan hasil dari pengujian tarik.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**



## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berjudul “Studi Eksperimental Perbandingan Pengujian Indentasi Brinell dan Analisa Elemen Hingga Untuk Mendapatkan Sifat Mekanik pada Baja Paduan AISI 4340”. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

- 1 pengujian indentasi dengan metode brinell dan perhitungan dengan metode elemen hingga menghasilkan karakter sifat mekanik berupa  $\sigma_y$  dan  $\sigma_u$  yang relatif sama pada pembebanan 187,5 Kgf yaitu sebesar 1083,32 MPa dan 1132,86 MPa .
- 2 Pengujian indentasi dengan metode brinell dan perhitungan dengan metode elemen hingga pada beban 187,5 Kgf menghasilkan  $\sigma_y=1083,32$  MPa dan  $\sigma_u=1132,86$  MPa yang mendekati  $\sigma_y=1115,12$  MPa dan  $\sigma_u= 1157,53$  MPa dari pengujian tarik

### 5.2 Saran

- 1 Dalam pengujian analisa hingga supaya pemodelan menggunakan model 3D sehingga bentuk dan dimensi indentasi dapat terlihat
- 2 Dalam pengujian analisa hingga diharapkan jarak antar node lebih dekat sehingga deformasi dan regangannya lebih akurat

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Tabor, D., 1951, *The Hardness of Metals*, Clarendon Press, Oxford.
- [2]. Janakiraman, Balasubramanian, 2004, "Mechanical Property Measurement by Indentation Techniques", Texas A&M University.
- [3]. Suherman, Ir Wahid, 1987, *Pengetahuan Bahan*, Jurusan Teknik Mesin, Surabaya.
- [4]. "Brinell hardness test"  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Brinell\\_hardness\\_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Brinell_hardness_test)  
diakses 21 juni 2009.
- [5]. Tira Andalan Steel, 2006, "High Quality Machinery Steel", Jakarta.
- [6]. Dieter, George E, 1961, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Inc, New york.
- [7]. Stolarski. T & Nakasone, Y., 2006, *Engineering Analysis with Ansys Software* , Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [8]. Pavlina E.J. dan C.J. Van Tyne, 2008, "Correlation of Yield Strength and Tensile Strength with Hardness for Steels", *Journal of Materials Engineering And Performance*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tabor D., 1951, *The Hardness of Metals*, Clarendon Press, Oxford.
- [2] Insokittam, Batsichmanian, 2004, "Mechanical Property Measurement by Indentation Technology", Texas A&M University.
- [3] Subraman, Ir. W. Sidiq, 1987, "Pengalaman Belajar Jurusan Teknik Mesin Smpdara".
- [4] "Brinell hardness test", [http://www.wiki-medical.org/wiki/Brinell\\_hardness\\_test](http://www.wiki-medical.org/wiki/Brinell_hardness_test), diakses 21 Juni 2009.
- [5] "The Arabian Steel, 2008, High Quality Machinery Steel", Jakarta.
- [6] Dieter, George E., 1981, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill, New York.
- [7] Soekrisno, T. Nakasono, 1998, *Uji Ketahanan Bahan*, edisi ketiga, Jipbar, Elextra, Gunturworo-Heremana, Guntur.
- [8] Pauling E.J., dan C.J. Van Dyne, 2008, "Correlation of Yield Strength and Tensile Strength with Hardness for Steels", *Journal of Materials Engineering And Performance*.

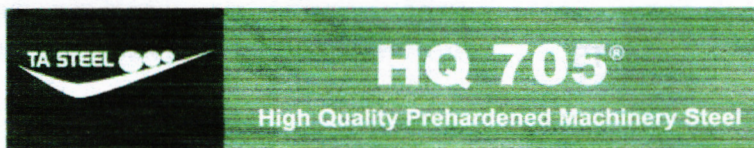
**Halaman ini sengaja dikosongkan**



# LAMPIRAN

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Properti material



CHEMICAL ANALYSIS, %	C	Cr	Ni	Mo
	0.30 - 0.38	1.30 - 1.70	1.30 - 1.70	0.15 - 0.30

COMPARISON TO INTERNATIONAL STANDARDS	AISI/SAE/ASTM	4337, 4340
	Werkstoff	1.6582
	DIN	34 CrNiMo 6
	BS	816 M 40, 817 M 40
	AFNOR	35 NCD 6, 34 CrNiMo 8
	JIS	SNCM 447
	SIS	2541

**CHARACTERISTICS & APPLICATIONS** HQ 705<sup>®</sup> is alloyed high quality prehardened machinery steel with good hardenability also in heavier sizes. It combines high strength with best toughness.

Application includes gear, shaft and other heavy machinery parts.

As standard HQ 705<sup>®</sup> is supplied hardened and tempered (tough hardened) with no further heat treatment required. It can be oil hardened to higher mechanical properties if required.

HQ 705<sup>®</sup> is suitable for induction hardening and can also be nitrided or luftridrid to a surface hardness of 600 - 650 Vickers.

HQ 705<sup>®</sup> is not suitable for welding but it can with certain precautions, be repair welded.

MECHANICAL PROPERTIES AS SUPPLIED*	Yield strength, Rp 0.2	min. 700 N/mm <sup>2</sup> (70 kg/mm <sup>2</sup> )
	Tensile strength, Rm	900 - 1100 N/mm <sup>2</sup> (90 - 110 kg/mm <sup>2</sup> )
	Elongation, A <sub>5</sub>	min. 12%
	Reduction of area, Z	min. 55%
	Impact strength, KU	min. 45 Joules
	Hardness	270 - 330 Brinell

\* For  $\varnothing$  100 -  $\varnothing$  160, properties can be vary according to sizes  
All bars is hardened and tempered to DIN 17200/EN 10083

SIZE RANGE	HQ 705 <sup>®</sup> is available in a number of standard sizes:
$\varnothing$ 16 - 250 mm	Hot rolled bars
> $\varnothing$ 250 mm	Forged and pre-machined bars

#### PT TIRA ANDALAN STEEL

Jl. Pulo Ayang Kav. R1  
Pulogadung Industrial Estate  
Jakarta 13930 - Indonesia  
P.O. Box 1010/JAT - Jakarta 13010

Phone : (021) 4602594 (Hunting)  
Fax : (021) 4602593  
Homepage : <http://www.tiraustenite.com>  
email : [headoffice@tiraustenite.com](mailto:headoffice@tiraustenite.com)

## Lampiran 2.

## Data hasil pengujian tarik


**ITS**  
 Institut  
 Teknologi  
 Sepuluh Nopember

# LABORATORIUM METALURGI FTI - ITS

Lampiran Laporan No. :  
 Nama Barang / Spesimen : AISI 4340  
 Dibuat Untuk : Tugas Akhir  
 Standard Pengujian : JIS S 2241 Standard Spesimen : JIS S 2241 No 10  
 Standard Mutu :

## " TENSILE TEST "

A.	DIMENSI SPESIMEN	SPESIMEN NO :		
		I	II	III
	Diameter Spesimen, $\varnothing$ (mm)	12,55	12,55	12,5
	Tebal, to (mm)	-	-	-
	Lebar, Wo (mm)	-	-	-
	Luas Penampang, Ao (mm <sup>2</sup> )	123,64	123,64	122,60
	Gauge Length, Lo (mm)	53	52,4	50,9
	Panjang Total, Lt (mm)	61,75	63	60,6
B.	HASIL PENGUJIAN			
	Beban Lumer (kN)	142	144	143
	Beban Maksimum (kN)	147,5	149	147
	$\Delta L$ Saat Patah / $\Delta L$ Total (mm)			
	Gauge Length Setelah Patah, L <sub>1</sub> (mm)	62	60,3	58,4
	$\Delta L$ Setelah Patah / $\Delta L$ Plastis (mm)	9	7,9	7,5
	Diameter Setelah Patah, $\varnothing$ (mm)	8,5	8,8	8,7
	Tebal Setelah Patah, t <sub>1</sub> (mm)	-	-	-
	Lebar Setelah Patah, W <sub>1</sub> (mm)	-	-	-
	Luas Setelah Patah, A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	50,71	60,79	59,41
C.	EVALUASI			
	Yield Strength, $\sigma_y$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	117,19	118,84	118,96
	Tensile Strength, $\sigma_u$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	121,31	122,97	122,29
	Elongation, $\epsilon$ (%)	16,9	15,07	14,7
	Reduction of Area, $\delta$ (%)	54,13	50,8	51,56
	Modulus of Elasticity, E (%)			

Surabaya, .....

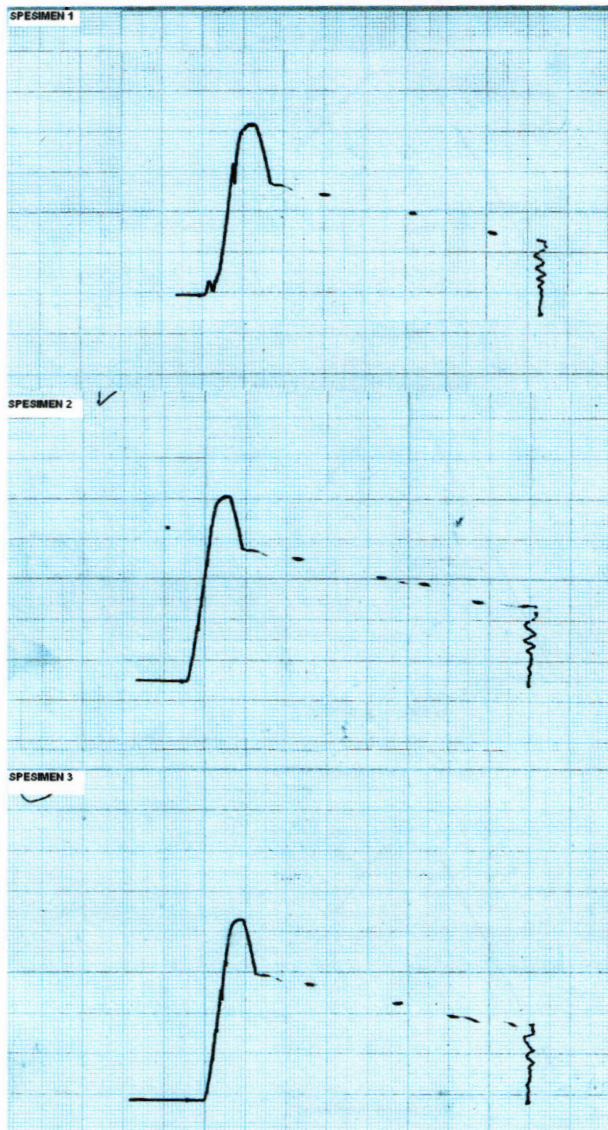
Disetujui,

Mengetahui,

Lab. Metalurgi,

Lampiran 3.

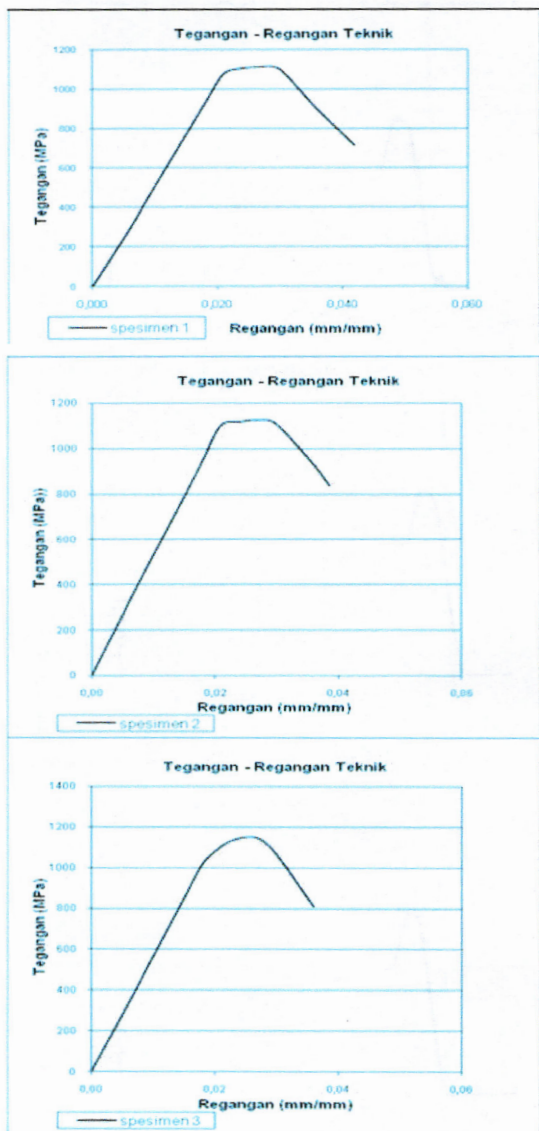
Grafik beban – pertambahan panjang ( $p-\Delta l$ ) hasil pengujian tarik





## Lampiran 4.

## Grafik tegangan-regangan teknik



**Lampiran 5.**
**Tabel perhitungan tegangan dan regangan dari hasil pengujian indentasi brinell**

no	Beban	d1	d2	d rata-rata	kekerasan (HBN)	
	(Kgf)	(mm)	(mm)	(mm)		rata2
1	31,25	0,35	0,3	0,325	375,29	346,145
2	31,25	0,35	0,3	0,325	375,29	
3	31,25	0,35	0,4	0,375	281,48	
4	31,25	0,35	0,35	0,35	323,37	
5	31,25	0,3	0,35	0,325	375,29	
6	62,5	0,45	0,5	0,475	349,66	352,02
7	62,5	0,5	0,5	0,5	315,28	
8	62,5	0,45	0,45	0,45	389,98	
9	62,5	0,5	0,5	0,5	315,28	
10	62,5	0,45	0,45	0,45	389,98	
11	187,5	0,85	0,85	0,85	320,75	345,949
12	187,5	0,8	0,8	0,8	363,40	
13	187,5	0,85	0,8	0,825	341,10	
14	187,5	0,8	0,85	0,825	341,10	
15	187,5	0,8	0,8	0,8	363,40	

no	pm	teg	reg	n	n	k	k	tegangan luluh		tegangan maksimum
	(MPa)	(MPa)	(mm/mm)	n	rata2	k	rata2	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	3696,02	1320,01	0,026	0,064	0,031	1532,42	1375,08	1147,62	1200,09	1107,29
2	3696,02	1320,01	0,026							
3	2776,12	991,47	0,03							
4	3186,87	1138,17	0,028							
5	3696,02	1320,01	0,026							
6	3460,54	1235,91	0,038	0,038	1255,56	1375,08	1074,50	1123,63	1131,14	
7	3123,14	1115,41	0,04							
8	3855,72	1377,04	0,036							
9	3123,14	1115,41	0,04							
10	3855,72	1377,04	0,036							
11	3242,01	1157,36	0,068	0,066	1337,27	1375,08	1197,21	1251,95	1132,86	
12	3659,93	1307,12	0,064							
13	3441,47	1229,10	0,066							
14	3441,47	1229,10	0,066							
15	3659,93	1307,12	0,064							

*Lampiran 6.*

Contoh perhitungan :

Pengujian indentasi dengan metode Brinell dengan diameter indenter (D) 2,5 mm dan beban(W) 187,5 kgf (1838,75 N) didapatkan:

Untuk titik 3

$$d_1 = 0,85 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,8 \text{ mm}$$

$$d_{rata2} = 0,825 \text{ mm}$$

$$a = 0,4125 \text{ mm}$$

$$P_m = \frac{W}{\pi a^2}$$

$$P_m = \frac{1838,75}{\pi(0,4125)^2}$$

$$P_m = 3441,47 \text{ Mpa}$$

Untuk mencari tegangan plastis

$$\sigma_1 = \frac{P_m}{2,8}$$

$$\sigma_1 = \frac{3441,47}{2,8}$$

$$\sigma_1 = 1229,1 \text{ Mpa}$$

Sedangkan regangan plastis

$$\varepsilon_1 = 0,2 \times \left( \frac{d}{D} \right)$$

$$\varepsilon_1 = 0,2 \times \left( \frac{0,825}{2,5} \right)$$

$$\varepsilon_1 = 0,066 \text{ mm/mm}$$

Dengan cara yang sama dilakukan untuk titik yang lain sehingga tegangan rata-rata 1246,06 Mpa dan regangan rata-rata 0,66 mm/mm. Untuk beban 31.25 didapatkan tegangan rata-rata 1217,93 Mpa dan regangan rata-rata 0,64 mm/mm

Dari  $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$  kemudian dicari *exponent work hardening* (n)

$$\sigma_1 = K \varepsilon_1^n$$

$$\sigma_2 = K \varepsilon_2^n$$

Dari persamaan diatas terdapat dua buah konstanta yang belum diketahui maka kedua persamaan diatas disubstitusi menjadi

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right)^n$$

$$\ln \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) = n \times \ln \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right)$$

$$n_1 = \frac{\ln \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)}{\ln \left( \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right)} = \frac{\ln \left( \frac{1246,06}{1217,93} \right)}{\ln \left( \frac{0,066}{0,064} \right)}$$

$$n_1 = 0,026$$

sehingga nilai k

$$K_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1^{n_1}}$$

$$K_1 = \frac{1246}{0,66^{0,026}}$$

$$K_1 = 1337,3$$

Dari ketiga variasi beban sehingga didapat nilai n rata-rata=0,031 dan k rata-rata = 1375,8. Untuk mendapatkan nilai tegangan luluh dan juga tegangan maksimum pada baja:

$$\sigma_y = \frac{P_m}{3} (0.1)^n$$

$$\sigma_y = \frac{3441,47}{3} (0.1)^{0,031}$$

$$\sigma_y = 1068,58 \text{ Mpa}$$



$$\sigma_u = \frac{P_m}{2.9} \left( \frac{n}{0.211} \right)^n$$

$$\sigma_u = \frac{3441,47}{2.9} \left( \frac{0,031}{0.211} \right)^{0,031}$$

$$\sigma_u = 1117,44 \text{ Mpa}$$

**Lampiran 7.****ANSYS Command untuk beban 31,25 Kgf**

```
/PREP7
R=1.25
E_Mod=22.5E4
mu=0.47
s_yield=830
H_Mod=15.5E4

Load=306.5
T_L=10
T_H=20
T_U=30
nstp=10

ET,1,PLANE82
KEYOPT,1,3,1
ET,2,CONTA172
R,2,,,1E1
KEYOPT,2,5,1
KEYOPT,2,9,1

ET,3,TARGE169

MP,EX,1,E_Mod
MP,PRXY,1,mu
TB,BISO,1,1,2,
TBDATA,,S_yield,H_Mod

L1=10
H1=10
X1=0
Y1=-(R+H1)
BLC4,X1,Y1,L1,H1
ESIZE,0.5
```

AMESH, ALL

CSYS, 1

N, 5001, R, -90

N, 5002, R, 0

N, 5003, 0

NSEL, S, NODE, , 5001, 5003

TYPE, 3

REAL, 2

TSHAP, CARC

E, 5001, 5002, 5003

D, ALL, ALL, 0

CSYS, 0

NSEL, ALL

ESEL, S, TYPE, , 1

NSLE

NSEL, R, LOC, Y, -R

TYPE, 2

REAL, 2

ESURF

ALLSEL, ALL

FINISH

/SOL

/GO

NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)

DL, 2, , UX, 0

CP, 1, UY, ALL

NSEL, ALL

/GO

ANTYPE, 0

ANTYPE, 0

NLGEOM, 0

AUTOTS, 0

NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)  
F, ALL, FY, Load  
NSEL, ALL  
TIME, T\_L  
NSUBST, nstp, 0, 0

OUTRES, ALL, 1  
LSWRITE, 1,  
TIME, T\_H  
LSWRITE, 2,

NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)  
FDELE, ALL, ALL  
F, ALL, FY, 0  
NSEL, ALL  
TIME, T\_U  
LSWRITE, 3,

LSSOLVE, 1, 3, 1,  
FINISH



*Lampiran 8.***ANSYS Command untuk beban 62,5 Kgf**

```
/PREP7
R=1.25
E_Mod=22.5E4
mu=0.47
s_yield=830
H_Mod=15.5E4

Load=612,9
T_L=10
T_H=20
T_U=30
nstp=10

ET,1,PLANE82
KEYOPT,1,3,1
ET,2,CONTA172
R,2,,,1E1
KEYOPT,2,5,1
KEYOPT,2,9,1

ET,3,TARGE169

MP,EX,1,E_Mod
MP,PRXY,1,mu
TB,BISO,1,1,2,
TBDATA,,S_yield,H_Mod

L1=10
H1=10
X1=0
Y1=-(R+H1)
BLC4,X1,Y1,L1,H1
ESIZE,0.5
```

AMESH, ALL

CSYS, 1

N, 5001, R, -90

N, 5002, R, 0

N, 5003, 0

NSEL, S, NODE, , 5001, 5003

TYPE, 3

REAL, 2

TSHAP, CARC

E, 5001, 5002, 5003

D, ALL, ALL, 0

CSYS, 0

NSEL, ALL

ESEL, S, TYPE, , 1

NSLE

NSEL, R, LOC, Y, -R

TYPE, 2

REAL, 2

ESURF

ALLSEL, ALL

FINISH

/SOL

/GO

NSEL, S, LOC, Y, -(R+H1)

DL, 2, , UX, 0

CP, 1, UY, ALL

NSEL, ALL

/GO

ANTYPE, 0

ANTYPE, 0

NLGEOM, 0

AUTOTS, 0

NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)

F, ALL, FY, Load

NSEL, ALL

TIME, T\_L

NSUBST, nstp, 0, 0

OUTRES, ALL, 1

LSWRITE, 1,

TIME, T\_H

LSWRITE, 2,

NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)

FDELE, ALL, ALL

F, ALL, FY, 0

NSEL, ALL

TIME, T\_U

LSWRITE, 3,

LSSOLVE, 1, 3, 1,

FINISH

**Lampiran 9.****ANSYS Command untuk beban 187,5 Kgf**

```
/PREP7
R=1.25
E_Mod=22.5E4
mu=0.47
s_yield=830
H_Mod=15.5E4

Load=1838.747
T_L=10
T_H=20
T_U=30
nstp=10

ET,1,PLANE82
KEYOPT,1,3,1
ET,2,CONTA172
R,2,,,1E1
KEYOPT,2,5,1
KEYOPT,2,9,1

ET,3,TARGE169

MP,EX,1,E_Mod
MP,PRXY,1,mu
TB,BISO,1,1,2,
TBDATA,,S_yield,H_Mod

L1=10
H1=10
X1=0
Y1=- (R+H1)
BLC4,X1,Y1,L1,H1
ESIZE,0.5
```



AMESH, ALL

CSYS, 1

N, 5001, R, -90

N, 5002, R, 0

N, 5003, 0

NSEL, S, NODE, , 5001, 5003

TYPE, 3

REAL, 2

TSHAP, CARC

E, 5001, 5002, 5003

D, ALL, ALL, 0

CSYS, 0

NSEL, ALL

ESEL, S, TYPE, , 1

NSLE

NSEL, R, LOC, Y, -R

TYPE, 2

REAL, 2

ESURF

ALLSEL, ALL

FINISH

/SOL

/GO

NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)

DL, 2, , UX, 0

CP, 1, UY, ALL

NSEL, ALL

/GO

ANTYPE, 0

ANTYPE, 0

NLGEOM, 0

AUTOTS, 0

```
NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)  
F, ALL, FY, Load  
NSEL, ALL  
TIME, T_L  
NSUBST, nstp, 0, 0
```

```
OUTRES, ALL, 1  
LSWRITE, 1,  
TIME, T_H  
LSWRITE, 2,
```

```
NSEL, S, LOC, Y, - (R+H1)  
FDELE, ALL, ALL  
F, ALL, FY, 0  
NSEL, ALL  
TIME, T_U  
LSWRITE, 3,
```

```
LSSOLVE, 1, 3, 1,  
FINISH
```

**Lampiran 10.**  
**Luas Indentasi**