



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH BENTUK SPESIMEN TERHADAP PEMBENTUKAN  
MEKANISME *PLANE STRAIN* PADA UJI TARIK BAJA C-Mn SS400  
LEMBARAN**

**SKRIPSI**

**R BAGUS HENDERO PRAMONO  
0606075164**

**FAKULTAS TEKNIK METALURGI & MATERIAL  
PROGRAM STUDI S1 REGULER  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH BENTUK SPESIMEN TERHADAP  
PEMBENTUKAN MEKANISME *PLANE STRAIN* PADA UJI  
TARIK BAJA C-Mn SS400 LEMBARAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**R BAGUS HENDERO PRAMONO  
0606075164**

**FAKULTAS TEKNIK METALURGI & MATERIAL  
PROGRAM STUDI S1 REGULER  
DEPOK  
JUNI 2010**



## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : R Bagus Hendero Pramono**

**NPM : 0606075164**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 12 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : R Bagus Hendero Pramono  
NPM : 0606075164  
Program Studi : S1 Reguler Teknik Metalurgi & Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Bentuk Spesimen terhadap  
Pembentukan Mekanisme *Plane Strain* pada Uji Tarik Baja C-Mn SS400  
Lembaran

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Reguler Teknik Metalurgi & Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA ( )

Penguji : Dr. Ir. Myrna Ariati, MS ( )

Penguji : Dr. Ir. Winarto, M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 12 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

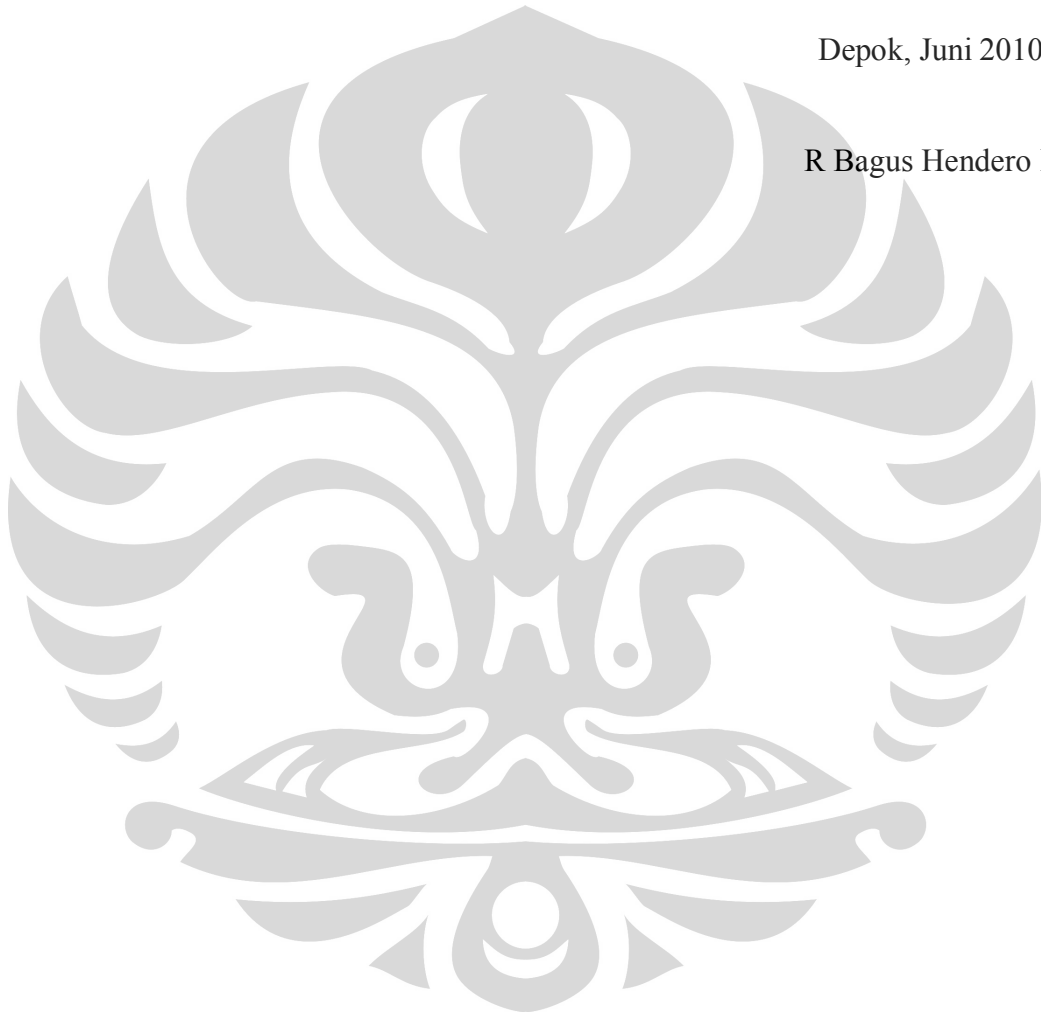
Puji dan syukur penulis sampaikan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, bimbingan dan dorongan baik moral maupun materiil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Dedi Priadi DEA, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, dorongan, serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Sri Harjanto, selaku pembimbing akademis yang telah membantu saya dalam merencanakan dan mengarahkan studi saya selama masa kuliah.
3. Seluruh dosen dan staff pengajar Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI yang telah memberikan pengetahuan dan ilmu yang bermanfaat.
4. Bapak Richard A. M. Napitupulu yang telah menawarkan topik serta bantuan serta saran yang membangun selama penelitian.
5. Rekan 1 Tim Penelitian (Agus Somantri, Anugrah Martua Raja dan Gilang Prabowo). Terima kasih atas kerjasama dan bantuannya selama penelitian, I couldn't have done it without you guys.
6. Ibunda dan Almarhum Ayah, atas cinta, motivasi dan restu yang diberikan.
7. Ibunda dan saudara-saudara sekandung penulis, terima kasih atas do'a serta dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
8. Ibunda dan segenap keluarga besar, atas doa, motivasi dan dukungan akses informasinya yang telah diberikan.

9. Sahabat-sahabat Mahasiswa Departemen Metalurgi dan Material, khususnya angkatan 2006, atas bantuan-bantuannya, baik berupa ide, saran dan kenangan indah yang amat berkesan. Saya banyak belajar dari kalian.
10. Purwa Indah Septi Mahanani, thank you for your unwavering support, you have been such a great little sister for me, ever.
11. Semua pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis, namun tak bisa disebutkan satu persatu.

Depok, Juni 2010

R Bagus Hendero P



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : R Bagus Hendero Pramono  
NPM : 0606075164  
Program Studi : S1 Reguler  
Departemen : Metalurgi & Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Bentuk Spesimen terhadap Pembentukan Mekanisme *Plane Strain* pada Uji Tarik Baja C-Mn SS400 Lembaran**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Juli 2010

Yang menyatakan

(R Bagus Hendero Pramono)

## ABSTRAK

Nama : R Bagus Hendero Pramono  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Bentuk Spesimen terhadap Pembentukan Mekanisme *Plane Strain* pada Uji Tarik Baja C-Mn SS400 Lembaran

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh bentuk spesimen dalam uji tarik uniaksial dengan mekanisme deformasi *plane strain* pada spesimen baja C-Mn lembaran hasil TMP. Penelitian ini menguji dan membandingkan beberapa bentuk spesimen yang telah dikembangkan oleh para peneliti untuk digunakan bersamaan dengan *jig* yang dikembangkan dilaboratorium, untuk mendapatkan bentuk terbaik untuk mengukur mekanisme deformasi *plane strain* yang terjadi. Tiga bentuk spesimen dipilih, spesimen A memiliki *gage length* 2.4 mm dan *root radius* sebesar 4 mm. Spesimen B, dengan *gage length* 2.4 mm dan *fillet* pada *shoulder area* 45° dan spesimen C dengan *gage length* 15.7 mm dan *root radius* 8 mm. Berdasarkan penelitian ini, semua spesimen mampu menunjukkan mekanisme deformasi *plane strain* hingga titik UTS dan spesimen B tidak bisa menampilkan distribusi regangan merata pada bidangnya dan bersamaan dengan spesimen A, keduanya tidak mampu menampilkan patahan ditengah tidak seperti spesimen C, dan didapatkan bahwa desain spesimen yang paling baik hingga yang terburuk adalah desain spesimen C, spesimen A dan spesimen B.

Keywords : regangan bidang, uji tarik uniaksial, bentuk spesimen

## ABSTRACT

Name : R Bagus Hendero Pramono  
Study Program : Metallurgy and Material Engineering  
Title : Influence of Specimen Geometry to the Formation of Plane Strain Mechanism on the Tensile Testing of the SS400 C-Mn Steel Plate.

The main purpose of this research is to study the effect of the specimen geometry on the uniaxial tensile testing of the plane strain deformation mechanism for Carbon Manganese steel as a themomechanical process product. This research test and compare some specimen geometry that has been developed before by another scientist and combined with the jig developed in the labororium to get the best geometry to calculate the plane strain deformation mechanism. Three specimen geometry has been chosen, specimen A, having 2.4 mm gage length and 4 mm root radius. Specimen B, with 2.4 mm gage length and 45° fillet on it's shoulder area and specimen C with 2.4 mm gage length and 8 mm root radius. Based on this research, all the specimen are able to show the plane strain deformation mechanism up to the UTS point but specimen B are unable to give a broad strain distibution along it's plane and along with specimen A, both specimens are unable to show rupture in the middle unlike the specimen C and sorted from the best specimen geometry to the worst one is the specimen C, specimen A and specimen B respectively.

Keywords : plane strain, uniaxial tensile testing, specimen geometry

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Baja .....	5
2.1.1 Baja C-Mn .....	6
2.2 Proses Termomekanik (Thermo-Mechanical Process) .....	7
2.3 Plane Strain .....	8
2.3.1 <i>Formability</i> lembaran baja .....	10
2.4 Pengujian tarik .....	11
2.4.1 Tegangan dan Regangan pada Pengujian Tarik .....	12
2.4.2 Bentuk Geometri Spesimen .....	14
2.5 Mode Perpatahan Material .....	16
2.5.1 Mode Perpatahan Ulet (Ductile) .....	17
2.5.2 Mode Perpatahan Getas .....	18
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.2.1 Alat .....	20
3.2.2 Bahan .....	20
3.3 Prosedur Penelitian .....	21
3.3.1 Proses Pembuatan Sampel .....	21
3.3.2 Pengujian Komposisi .....	24
3.3.3 Pengujian Tarik .....	24
3.3.4 Pengamatan Makrostruktur .....	26
3.3.5 Pengamatan Perubahan Dimensi .....	27



<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1 Pengujian Komposisi Kimia .....	29
4.2 Pengujian Tarik .....	30
4.2.1 Kekuatan Tarik Maksimum .....	30
4.2.2 Pengamatan Perubahan Dimensi .....	31
4.3 Pengamatan Makrostruktur .....	39
4.4 Pengamatan Patahan .....	46
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	50
<b>LAMPIRAN</b> .....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Baja Karbon.....	6
Tabel 3.1. Detail Dimensi Spesimen .....	23
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia .....	29
Tabel 4.2. Komposisi Kimia Baja Karbon .....	29
Tabel 4.3. Tabel hasil perhitungan nilai UTS dan deviasinya .....	31
Tabel 4.4. $\epsilon$ Minor (Horizontal) Spesimen A Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	33
Tabel 4.5. $\epsilon$ Mayor (Vertikal) Spesimen A Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	33
Tabel 4.6. $\epsilon$ Minor (Horizontal) Spesimen B Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	34
Tabel 4.7. $\epsilon$ Mayor (Vertikal) Spesimen B Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	34
Tabel 4.8. $\epsilon$ Minor (Horizontal) Spesimen C Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	34
Tabel 4.9. $\epsilon$ Mayor (Vertikal) Spesimen C Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	35
Tabel 4.10. Nilai FLD Spesimen A Pada Saat 1,15 <i>Yield</i> .....	35
Tabel 4.11. Nilai FLD Spesimen B Pada Saat 1,15 <i>Yield</i> .....	36
Tabel 4.12. Nilai FLD Spesimen C Pada Saat 1,15 <i>Yield</i> .....	36
Tabel 4.13. Transisi Tebal Patahan Spesimen A Bagian Atas .....	39
Tabel 4.14. Transisi Tebal Patahan Spesimen A Bagian Bawah .....	39
Tabel 4.15. Transisi Tebal Patahan Spesimen B Bagian Atas.....	40
Tabel 4.16. Transisi Tebal Patahan Spesimen B Bagian Bawah .....	40
Tabel 4.17. Transisi Tebal Patahan Spesimen C Bagian Atas .....	40
Tabel 4.18. Transisi Tebal Patahan Spesimen C Bagian Bawah .....	41
Tabel 4.19. $\epsilon$ Mayor (Vertikal) Spesimen A Pada Saat Rupture .....	44
Tabel 4.20. $\epsilon$ Mayor (Vertikal) Spesimen B Pada Saat Rupture .....	44
Tabel 4.21. $\epsilon$ Mayor (Vertikal) Spesimen C Pada Saat Rupture.....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Ilustrasi Perubahan Ukuran Butir Selama Proses Termomekanik .....	7
Gambar 2.2.	Ilustrasi Perbandingan Gaya Dan Tegangan Pada Proses Canai Dan Tarik .....	8
Gambar 2.3.	Empat Dasar Pengujian Mekanik .....	9
Gambar 2.4.	Suatu FLD Yang Memperlihatkan Variasi Lintasan Regangan Linear .....	10
Gambar 2.5.	Karakteristik Tegangan-Regangan Dalam Batasan Daerah Elastis .....	13
Gambar 2.6.	Spesimen Pada Uji Tarik Uniaxial Dengan Analisa Regangan Bidang .....	15
Gambar 2.7.	Daerah Pada Spesimen Uji Tarik Yang Mengalami Regangan Bidang .....	15
Gambar 2.8.	Mode Perpatahan Berbagai Jenis Material .....	17
Gambar 2.9.	Tahapan Mode Perpatahan Ulet .....	18
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2.	Geometri Spesimen Uji Tarik Standard .....	21
Gambar 3.3.	Bentuk Spesimen A, B Dan C Hasil Adaptasi Dari Bentuk Spesimen E, F Dan G Berturut-Turut Dalam Penelitian <i>Plane Strain</i> Oleh <i>J.L. Dournaux Et All</i> .....	22
Gambar 3.4.	Spesimen A, B Dan C Yang Sudah Dimodifikasi .....	23
Gambar 3.5.	Grid Pada Spesimen Yang Akan Diuji .....	24
Gambar 3.6.	Spesimen Uji Komposisi .....	24
Gambar 3.7.	Mesin Uji Tarik .....	25
Gambar 3.8.	Digital Video Camera .....	26
Gambar 3.9.	Potongan Spesimen Uji Makrostruktur .....	26
Gambar 3.10.	Alat Nikon Measuring Microscope MM40 .....	27
Gambar 3.11.	Jangka Sorong (Vernier Caliper) .....	28
Gambar 4.1.	Kurva Tegangan-Regangan Dari Tiap Spesimen .....	30
Gambar 4.2.	<i>Grid-Grid</i> Yang Terdapat Pada Spesimen A .....	32
Gambar 4.3.	<i>Grid-Grid</i> Yang Terdapat Pada Spesimen B .....	32
Gambar 4.4.	<i>Grid-Grid</i> Yang Terdapat Pada Spesimen C .....	33
Gambar 4.5.	Spesimen A Pada Saat 1,15 <i>Yield</i> .....	37
Gambar 4.6.	Spesimen B Pada Saat 1,15 <i>Yield</i> .....	37
Gambar 4.7.	Spesimen C Pada Saat 1,15 <i>Yield</i> .....	37
Gambar 4.8.	Kurva Hubungan Antara Regangan Mayor Terhadap Posisi <i>Grid</i> Pada 1,15 <i>Yield</i> .....	38
Gambar 4.9.	Kurva Hubungan Antara Berubahan Dimensi Tebal Dan Jarak Titik Dari Patahan Spesimen Bagian Atas .....	41
Gambar 4.10.	Kurva Hubungan Antara Berubahan Dimensi Tebal Dan Jarak Titik Dari Patahan Spesimen Bagian Bawah .....	42
Gambar 4.11.	Patahan Spesimen A Pada Saat <i>Rupture</i> .....	42
Gambar 4.12.	Patahan Spesimen B Pada Saat <i>Rupture</i> .....	43
Gambar 4.13.	Patahan Spesimen C Pada Saat <i>Rupture</i> .....	43

Gambar 4.14	Gambar Tahap Proses Terjadinya Patahan Pada Spesimen Standard .....	46
Gambar 4.15	Tampak Samping Patahan Pada Spesimen A Pada <i>Grid</i> (2,2)	47
Gambar 4.16	Tampak Samping Patahan Pada Spesimen B Pada <i>Grid</i> (2,2)	47
Gambar 4.17	Tampak Samping Patahan Pada Spesimen C Pada <i>Grid</i> (2,2)	48



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Hasil Laporan Pengujian Komposisi .....	53
Lampiran 2.	Kurva Hasil Pengujian Tarik .....	54
Lampiran 3.	Data Visual Spesimen A .....	56
Lampiran 4.	Pengolahan Data Spesimen A .....	57
Lampiran 5.	Data Visual Spesimen B .....	73
Lampiran 6.	Pengolahan Data Spesimen B .....	74
Lampiran 7.	Data Visual Spesimen C .....	90
Lampiran 8.	Perhitungan Data Spesimen C .....	91
Lampiran 9.	Perhitungan Perubahan Dimensi Spesimen .....	108
Lampiran 10.	Perhitungan Besar Deviasi Nilai UTS Setiap Spesimen .....	111
Lampiran 11.	Perhitungan Nilai <i>Stress</i> Setiap <i>Grid</i> Ketika Rupture .....	112



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan peradaban manusia yang semakin pesat menjadikan semakin tingginya nilai keinginan dan kebutuhan manusia. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cukup pesat saat ini memberikan pengaruh dengan berkembangnya dunia industri di Indonesia, salah satunya industri baja di Indonesia.

Pada saat ini, penggunaan baja sudah sangat luas, mulai dari peralatan rumah tangga hingga komponen industri berteknologi tinggi. Penggunaan baja dapat dijadikan patokan maju suatu negara. Karena dilihat dari penggunaan jumlah bajanya per kapita penduduk. Semakin tinggi penggunaan baja maka dapat dikatakan negara tersebut semakin maju. Oleh karena itu, industri baja di Indonesia mempunyai pengaruh besar terhadap perkembangan kemajuan industri Indonesia.

Baja C-Mn merupakan baja karbon yang dibentuk melalui pembentukan panas (*Hot Forming*), dan telah mampu diproduksi oleh industri baja nasional. Baja ini mempunyai beberapa sifat yang sangat dibutuhkan oleh industri manufaktur seperti mudah dibentuk, sangat ulet, memiliki kekuatan yang tinggi dan mampu las yang baik. Selain itu, karena C-Mn lebih ringan maka lebih ekonomis dan menguntungkan jika dilihat dari segi transportasi dan disain struktur.

Berbagai penelitian dilakukan untuk mendapatkan baja C-Mn hasil proses TMP dengan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi dengan beragam modifikasi komposisi paduan serta modifikasi dan variasi variabel proses. Kebanyakan dari penelitian tersebut menganalisa secara *isothermal* dan sebagian lainnya secara *non-isothermal*. Hampir seluruh variasi proses dan komposisi paduan telah diterapkan untuk mengontrol dan memprediksi serta menjelaskan

mekanisme dan evolusi dari mikrostruktur selama pembentukan baja C-Mn hasil proses TMP dalam kondisi isothermal. Begitu juga pendekatan terhadap model yang dihasilkan dilakukan baik secara matematis maupun empiris. Adapun metode deformasi yang umumnya dilakukan adalah dengan kompresi, torsi dan tekuk.

Sedangkan metode deformasi akibat gaya tarik sulit ditemukan. Maka dari itu, menjadi sebuah tantangan tersendiri untuk bisa mengembangkan metode tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh bentuk dan dimensi spesimen yang sesuai untuk digunakan pada mesin uji tarik uniaksial, sebagai salah satu alternatif pengujian terhadap baja C-Mn untuk bisa menjelaskan mekanisme deformasi *plane strain* pada baja C-Mn hasil proses TMP.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh bentuk spesimen dalam uji tarik uniaksial dengan mekanisme deformasi *plane strain* pada spesimen baja C-Mn lembaran hasil TMP. Pada penelitian ini akan mencoba menguji beberapa bentuk spesimen yang sebelumnya telah dikembangkan oleh para peneliti terdahulu, lalu kemudian saling membandingkannya untuk bisa mendapatkan bentuk yang paling optimum dalam mengukur mekanisme deformasi *plane strain* yang terjadi.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan bentuk spesimen yang sesuai dalam menunjukkan mekanisme deformasi *plane strain* pada uji tarik uniaksial baja C-Mn lembaran hasil proses TMP.
2. Mengembangkan suatu model yang secara praktis dapat digunakan dalam industri baja yang dapat memperlihatkan mekanisme deformasi *plane strain* khususnya dengan deformasi tarik.

Dengan model tersebut diharapkan proses pengukuran mekanisme deformasi *plane strain* pada industri baja nasional dengan menggunakan mesin uji tarik uniaksial dapat dilakukan dengan perhitungan empiris, sehingga dapat mengurangi ketidakpastian kualitas hasil produksi, serta dapat menekan biaya produksi dan secara tidak langsung akan meningkatkan daya saing.

#### 1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini berfokus pada Pengujian Tarik uniaksial terhadap sampel baja C-Mn yang beredar dipasaran, dimana, pada penelitian ini, dilakukan beberapa jenis pengujian, yaitu

1. Pengujian tarik uniaksial, untuk mengetahui kekuatan tarik dari sampel baja C-Mn hasil proses TMP yang digunakan.
2. Pengamatan Makroskopis pada daerah patahan dan daerah sekitar patahan sampel, untuk mengetahui perubahan nilai dimensi dari sampel baja C-Mn yang digunakan dalam kaitannya dengan mekanisme deformasi *plane strain* pada baja C-Mn hasil proses TMP.

#### 1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi dalam beberapa bab yang saling terkait. Adapun urutan dalam penulisan skripsi ini antara lain :

##### **Bab 1 : Pendahuluan**

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

##### **Bab 2 : Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.



**Bab 3 : Metodologi Penelitian**

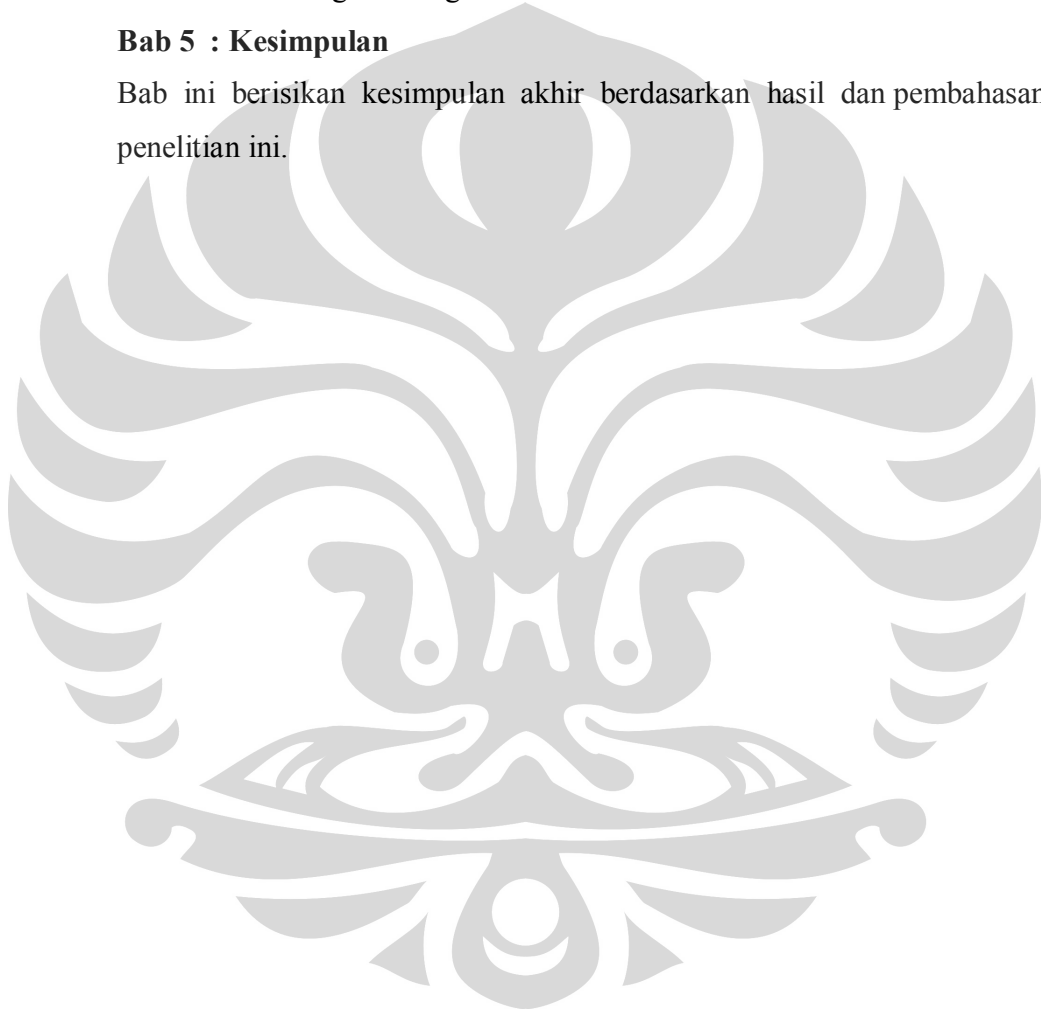
Bab ini berisi mengenai langkah kerja, prosedur penelitian, prinsip pengujian, serta daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

**Bab 4 : Hasil dan Pembahasan**

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut dibandingkan dengan hasil studi literatur.

**Bab 5 : Kesimpulan**

Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Baja

Baja merupakan material yang paling banyak digunakan karena relatif murah dan mudah dibentuk. Baja karbon (*carbon steel*), dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya (terutama komposisi karbon) menjadi tiga jenis baja, yaitu;

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) *machine, machinery* dan *mild steel* dengan komposisi 0,05 % - 0,30% C. Sifatnya mudah ditempa dan mudah di-*machining*. Penggunaannya dalam industri manufaktur yaitu:
  - a. 0,05 % - 0,20 % C : *automobile bodies*, bangunan, pipa, rantai, rivet dan paku ulir (*screws nails*).
  - b. 0,20 % - 0,30 % C : roda gigi, *shafts*, baut, *forgings*, jembatan dan bangunan.
2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) Kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong. Penggunaan dalam industri manufaktur yaitu:
  - a. 0,30 % - 0,40 % C : *connecting rods, crank pins* dan *axles*.
  - b. 0,40 % - 0,50 % C : *car axles, crankshafts, rails, boilers, auger bits* dan *screwdrivers*.
  - c. 0,50 % - 0,60 % C : palu dan gada (*sledges*).
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) termasuk beberapa *tool steel*. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Memiliki kandungan karbon 0,60 % - 1,50 %. Dimana baja ini digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan *screw drivers, blacksmiths hammers, tables knives, screws, hammers, vise jaws, knives* dan *drills*.

### 2.1.1 Baja C-Mn

Baja C-Mn adalah baja hasil canai yang sudah mampu diproduksi oleh industri baja nasional. Baja ini memiliki spesifikasi komposisi kimia yang mendekati spesifikasi baja-baja karbon rendah dan medium.

Dimana persentase dari tiap komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja karbon<sup>[1]</sup>

UNS Number	SAE-AISI Number	Cast or Heat Chemical range and Limits, %			
		C	Mn	P max	S max
G10050	1005	0.06 max	0.35 max	0.040	0.050
G10060	1006	0.08 max	0.25-0.40	0.040	0.50
G10080	1008	0.10 max	0.30-0.50	0.040	0.050
G10100	1010	0.08-1.13	0.30-0.60	0.040	0.050
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050

Pengaruh dari beberapa komposisi unsur diatas terhadap sifat dari baja C-Mn adalah sebagai berikut:

#### 1. Karbon (C)

Karbon meningkatkan jumlah perlit dalam struktur mikro. Makin tinggi komposisi karbon maka akan menurunkan sifat mampu las dan ketangguhan.

#### 2. Mangan (Mn)

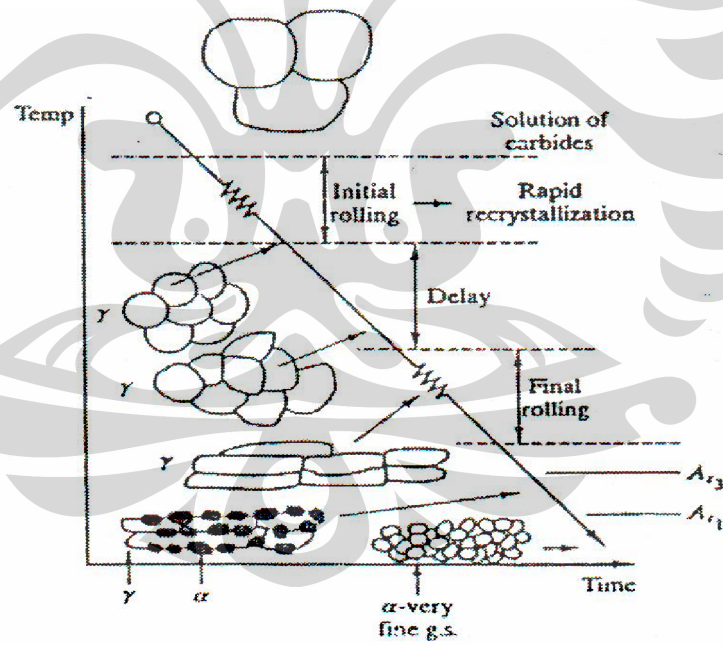
Mangan berfungsi sebagai penguat larutan padat (*solid solution strengthening*) dan juga berfungsi sebagai penstabil austenit dengan menurunkan temperatur transformasi *austenite-ferrite*.

### 3. Fosfor (P)

Fosfor adalah penstabil ferit yang efektif untuk *solid solution strengthening*. Fosfor dapat meningkatkan ketahanan korosi namun menurunkan keuletan.

## 2.2 Proses Termomekanik (Thermo-Mechanical Process)

Proses termomekanik adalah suatu proses yang melibatkan perlakuan mekanis dan panas untuk mengontrol mikrostruktur suatu material selama proses pembentukannya untuk menghasilkan sifat mekanis yang baik. Secara umum proses termomekanik ini terdiri dari proses pemanasan awal (*preheating*), pengerjaan panas (*hot worked*), serta pendinginan (*cooling*). Ilustrasi perubahan mikrostruktur dan ukuran butir selama proses termomekanik dapat dilihat pada Gambar 2.1.

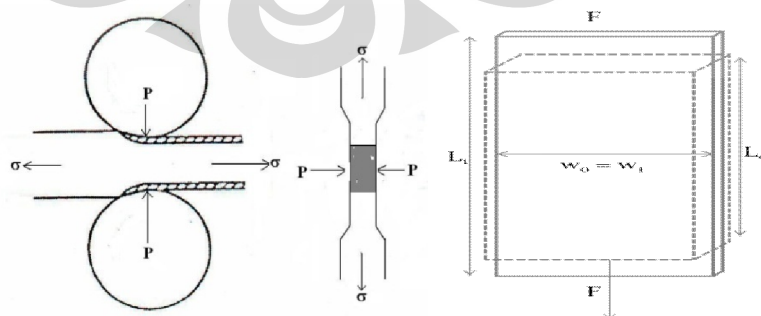


Gambar 2.1. Ilustrasi perubahan ukuran butir selama proses termomekanik<sup>[5]</sup>

Dimana subproses pertama, yaitu pemanasan awal sangat penting dalam menghasilkan sifat mekanis benda hasil TMP, hal ini karena dengan adanya pemanasan awal maka struktur mikro akhir yang terbentuk dapat diprediksi. Untuk menghasilkan butir ferit dengan ukuran yang halus di akhir proses, maka butir austenit harus dibuat menjadi halus terlebih dahulu. Pengontrolan butir austenit ini terjadi pada saat proses pemanasan awal. Hal lain yang juga mempengaruhi pertumbuhan besar butir austenit adalah temperatur *preheating* dan waktu tahan. Seiring dengan kenaikan temperatur pemanasan maka ukuran butir menjadi semakin besar. Begitu juga halnya waktu tahan, makin lama waktu tahan, maka besar butir austenit menjadi semakin besar. Hal ini terjadi karena adanya difusi butir ke butir lainnya yang dipengaruhi oleh besaran temperatur pemanasan dan waktu tahan. Dimana semakin tinggi waktu tahan dan semakin tinggi temperatur, maka kemampuan butir untuk berdifusi ke butir lainnya menjadi semakin besar pula dan juga kesempatan butir untuk tumbuh semakin besar.

### 2.3 Plane Strain

Pada proses canai, pada material akan terjadi adanya tegangan tekan pada permukaan material serta tegangan tarik pada lapisan dalam dari material. Hal ini memperlihatkan mekanisme deformasi yang dialami oleh material bukan hanya dapat dijelaskan dengan mengamati deformasi akibat gaya tekan namun juga dapat diamati dengan melihat mekanisme deformasi akibat gaya tarik.

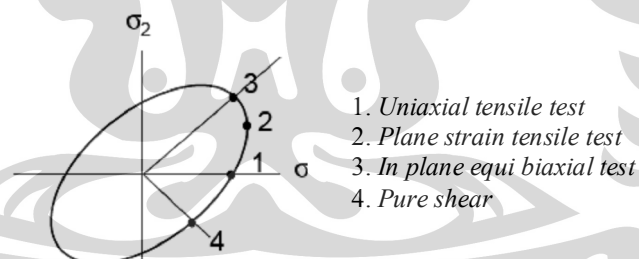


Gambar 2.2. Ilustrasi perbandingan gaya dan tegangan pada proses canai dan tarik.

Selain itu, analisa tegangan regangan yang terjadi pada proses canai panas dapat dihitung dengan metode regangan bidang, dimana hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik dengan analisa *plane strain tension*.

Uji tarik merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi sifat mekanis material, memperoleh informasi plastisitas material dan sifat perpatahan (*fracture*). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Dari pengukuran perpanjangan benda uji kemudian dibuat kurva tegangan regangan<sup>[7]</sup>.

Melalui pengujian mekanik menggunakan mesin uji tarik dapat diukur dan digambarkan kurva tegangan regangan suatu material yang mengalami pembebanan plastis pada empat buah kondisi yaitu *uniaxial tension*, *plane strain tension*, *equi-biaxial tension* dan *pure shear*.



Gambar 2.3 Empat dasar pengujian mekanik<sup>[8]</sup>

Keempat buah kondisi tersebut dapat diuji secara mekanik dengan menggunakan mesin uji tarik dengan melakukan perubahan/modifikasi pada bentuk spesimen maupun bentuk *grip*/pemegang.

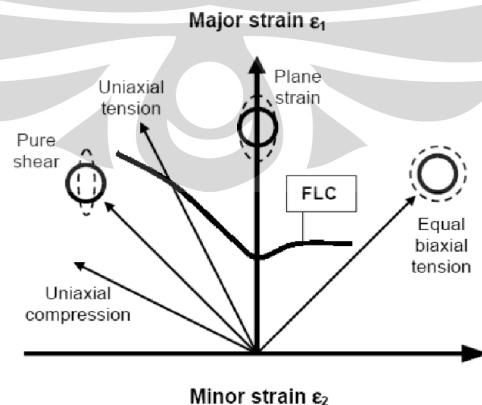
Pada kondisi *plane strain tensile test*, berbagai penelitian telah dilakukan untuk memperoleh kondisi tersebut. Wagoner dan Wang (1979) melakukan penelitian untuk memperlihatkan kondisi *in plain strain tensile*

*test* dengan memodifikasi spesimen uji tarik dengan menggunakan spesimen yang lebar dan tipis<sup>[6]</sup>. Kemudian hasil penelitiannya terus dikembangkan oleh para peneliti untuk melihat karakteristik material yang diuji secara *plane strain tensile test*. Diantaranya Vegter H., et.al., (2003), Kilfoil L.J., (2007), dan J.L. Dournaux., et.al., (2009). Keseluruhan penelitian tersebut umumnya dilakukan dengan bentuk spesimen yang dimodifikasi.

### 2.3.1 *Formability* lembaran baja

Karakteristik *formability* lembaran baja dinyatakan oleh regangan utama yang dihasilkan pada lembaran selama mengalami proses pembentukan. Pendekatan standar yang digunakan untuk memperlihatkan besar dari *formability* tersebut dinyatakan melalui suatu *Forming Limit Diagram* (FLD) yang digambarkan dengan memplot besarnya regangan *major* dengan regangan *minor* dalam bidang regangan dua dimensi. Regangan ini dapat berupa regangan teknik ataupun regangan sebenarnya<sup>[6]</sup>.

FLC pada suatu FLD menyatakan suatu jangkauan yang luas dari batasan regangan pembentukan yang diprediksi ketika suatu lembaran baja di deformasi disepanjang lintasan regangan linear. Lintasan regangan ini mempunyai jangkauan dari *uniaxial tension* ke *plane strain* sampai *equi-biaxial tension*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Suatu FLD yang memperlihatkan variasi lintasan regangan linear<sup>[6]</sup>

Batas regangan dalam suatu FLD membentuk suatu batas ambang yang dikenal dengan nama *forming limit curve* (FLC). FLC menyatakan suatu batasan antara daerah pembentukan aman dan gagal pada suatu FLD.

Lintasan regangan ini dapat dinyatakan sebagai rasio dari regangan minor sebenarnya ( $\varepsilon_2$ ) terhadap regangan major sebenarnya ( $\varepsilon_1$ ) yaitu :

$$\beta = \varepsilon_2 / \varepsilon_1 \quad (2.1)$$

dimana pada  $-0,5 < \beta < 0$  menyatakan proses *drawing* dari lembaran baja,  $\beta \approx 0$  menyatakan suatu kondisi regangan bidang dan  $0 < \beta < 1$  menyatakan suatu tarikan secara *biaxial tension*.

Batasan dari regangan pada FLD dapat ditentukan baik secara analisis matematis ataupun secara eksperimental. Secara eksperimental, suatu FLD dapat ditentukan dari suatu *grid* baik itu berbentuk lingkaran, garis maupun titik yang diletakkan pada permukaan lembaran yang akan diuji. *Grid-grid* ini menyediakan suatu dasar untuk pengukuran dari regangan setempat.

*Grid-grid* yang telah terdeformasi diukur dan kemudian dibandingkan dengan ukuran semula *grid* untuk menyatakan tingkatan regangan utama yang digunakan untuk memperoleh  $\beta$ . Dengan memvariasikan dimensi spesimen dan besar deformasi yang dialami diharapkan akan diperoleh  $\beta \approx 0$ , sehingga analisa regangan bidang pada proses termomekanik dapat dimodelkan dengan menggunakan mesin uji tarik<sup>[6]</sup>.

## 2.4 Pengujian tarik

Pengujian tarik uniaksial adalah pengujian non-simulatif yang sangat penting dalam penelitian tentang proses pengubahan bentuk (*forming*). Terdapat beberapa nilai yang didapatkan dari pengujian tarik uniaksial.

Nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk mengetahui berbagai aspek mampu bentuk logam. Nilai-nilai tersebut antara lain, kekuatan tarik (*tensile strength*), keuletan (*ductility*) dan nilai perpanjangan (*elongation*).



### 2.4.1 Tegangan dan Regangan pada Pengujian Tarik

Parameter utama yang diukur dalam suatu uji tarik adalah tegangan dan regangan. Tegangan adalah sejumlah gaya yang bekerja pada suatu area melintang dari suatu material, didefinisikan sebagai gaya persatuan luas. Tegangan adalah suatu parameter yang utama karena menyatakan suatu kekuatan diantara pengujian yang dilakukan untuk benda uji dengan ukuran dan bentuk yang berbeda-beda<sup>[7]</sup>.

Menurut ASTM E8, regangan didefinisikan sebagai perubahan per unit panjang ( $\Delta L$ ) yang diakibatkan oleh gaya dalam suatu dimensi linear yang sebenarnya. Regangan dapat dinyatakan dalam suatu persamaan matematika, baik itu untuk regangan teknik (nominal),  $e$ , dan regangan sebenarnya ( $\epsilon$ ), dimana :

$$e = \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0 = A_0/A \quad (2.2)$$

dan

$$\epsilon = \int L/L \cdot dl/l = \ln (L/L_0) = \ln A_0/A = 2 \cdot \ln D_0/D \quad (2.3)$$

dimana nilai ekivalen  $\epsilon$  bagi pengerolan lembaran adalah<sup>[22]</sup>:

$$\epsilon = 2/\sqrt{3} \cdot \ln.h_0/h_f = 2/\sqrt{3} \cdot \ln.1/(1-r) \quad (2.4)$$

dan hubungan diantara keduanya dinyatakan sebagai :

$$\epsilon = \ln (1 + e) \quad (2.5)$$

Dalam kaitannya dengan pengujian TMP, besarnya regangan sebenarnya yang terjadi pada proses uji tarik, dapat dikaitkan dengan cara pengujian canai panas yaitu :

$$\epsilon = 1,155 \cdot \ln.1/(1-r) \quad (2.6)$$

dimana  $r$  = reduksi.

Ketika suatu gaya menarik suatu spesimen uji, luas area melintang dari spesimen akan mengecil karena volume keseluruhan dari spesimen adalah tetap.

Oleh sebab luas area melintang semakin mengecil selama pengujian, nilai dari tegangan akan bergantung pada perhitungan yang didasarkan pada luas spesimen sebelum dikenakan gaya (tegangan teknik/nominal/ $s$ ) atau luas spesimen setelah dikenakan sejumlah gaya (tegangan sebenarnya/ $\sigma$ ). Adapun besarnya dapat dinyatakan sebagai :

$$s = F/A_0 \quad (2.7)$$

dan

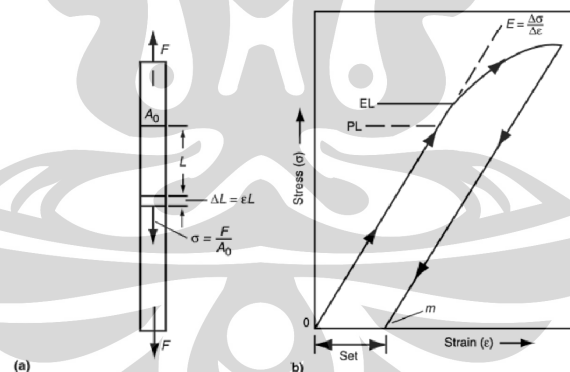
$$\sigma = F/A_i \quad (2.8)$$

Selama proses deformasi, volume dari material adalah konstan ( $A_i L_i = A_0 L_0$ ), sehingga hubungan antara luas area permukaan sebelum dan sesudah dikenakan gaya dapat dinyatakan dengan :

$$A = A_0 \exp \{-\epsilon\} = A_0 / (1 + e) \quad (2.9)$$

sehingga hubungan antara tegangan nominal dan tegangan sebenarnya dapat dinyatakan sebagai :

$$\sigma = s \exp \{\epsilon\} = s (1 + e) \quad (2.10)$$



Gambar 2.5. Karakteristik tegangan-regangan dalam batasan daerah elastis (a). Definisi dari  $\sigma$  dan  $\epsilon$  dalam bentuk panjang awal spesimen uji,  $L$ , and luas area awal,  $A_0$ , sebelum diterapkan suatu gaya tarik,  $F$ . (b) Regangan yang kecil dalam batasan limit elastisitas (EL)<sup>[7]</sup>.

Persamaan (2.2) sampai Persamaan (2.10) diatas berlaku untuk deformasi yang homogen yaitu sebelum beban mencapai nilai maksimum.

Hal ini juga sesuai dengan TMP yang menginginkan terjadinya deformasi *homogen* selama proses pembentukan material.

Dalam kondisi tersebut, untuk material *isotropic* berbentuk plat, reduksi yang terjadi pada material dapat diukur dalam satu arah saja dimana  $b/b_0 = t/t_0$ , sehingga luas permukaan yang mengalami uji tarik *axial* dapat dinyatakan dengan:

$$A = b^2 \cdot t_0 / b_0 \quad (2.11)$$

Sampai batas beban maksimum, regangan yang terjadi masih seragam, sehingga regangan sebenarnya dapat dinyatakan sebagai :

$$\varepsilon = \ln(b_0/b \cdot t_0/t) = 2 \ln(b_0/b) \quad (2.12)$$

dimana  $b$  menyatakan lebar dan  $t$  menyatakan tebal spesimen. Kurva aliran dari sebagian besar logam pada daerah deformasi seragam dapat dinyatakan dengan cara perpangkatan sederhana yaitu :

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.13)$$

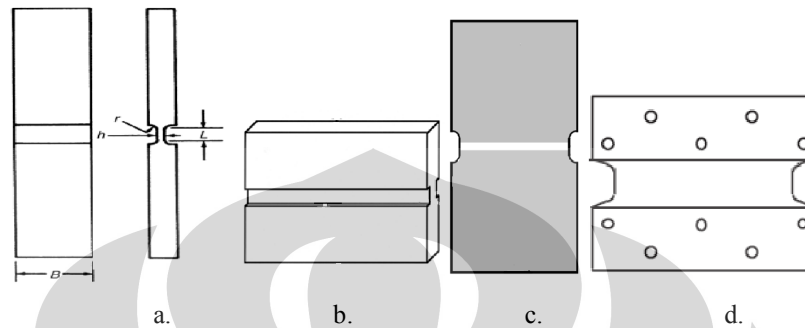
dimana  $n$  adalah eksponen pengerasan regangan dan  $K$  adalah koefisien kekuatan.

#### 2.4.2 Bentuk Geometri Spesimen

Beberapa peneliti telah meneliti bentuk dari spesimen uji tarik yang dapat memperlihatkan berlakunya teori Von Mises dari regangan yang dialami oleh permukaan spesimen.

Beragam bentuk dengan berbagai kombinasi ukuran dari setiap bentuk yang dikemukakan tersebut diharapkan dapat menunjukkan seperti apa mekanisme deformasi *plane strain*.

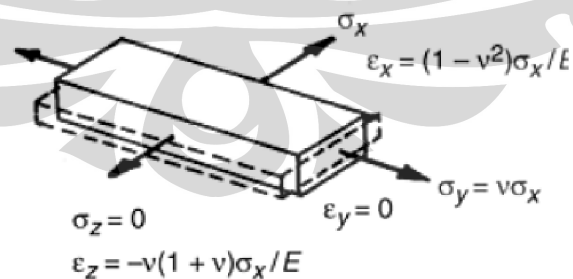
Berikut beberapa bentuk spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6. Spesimen pada Uji Tarik Uniaxial dengan analisa regangan bidang<sup>[7]</sup>.

Pada uji tarik uniaxial untuk specimen-specimen diatas, nilai tegangan,  $\sigma_x = F/(t.b)$ . dimana pada tegangan ini, material pada luas permukaan melintang akan mengalami kontraksi dalam arah tebal (sumbu z) dan arah lebar (sumbu y).

Disebabkan tidak ada yang menghalangi material untuk berkontraksi dalam arah tebal, maka nilai  $\sigma_z = 0$ . Pada arah lebar, material pada tepi alur (dimana nilai lebar jauh lebih besar dari tebal,  $T \gg t$ ) akan terhalangi untuk mengalami kontraksi, sehingga  $\varepsilon_y = 0$ , seperti pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7. Daerah pada spesimen uji tarik yang mengalami regangan bidang<sup>[7]</sup>.

Untuk analisa tegangan tiga dimensi yang terjadi pada satu titik di permukaan dari material dinyatakan dengan persamaan :

$$[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\tau_{xy}^2 + 6\tau_{yz}^2 + 6\tau_{zx}^2]^{1/2} / \sqrt{2} = \sigma_0^2 \quad (2.14)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai pada Gambar 2.7. diatas diperoleh :

$$(\sigma_x - \nu\sigma_x)^2 + (\nu\sigma_x)^2 + (-\sigma_x)^2 = 2\sigma_0^2 \quad (2.15)$$

atau

$$\sigma_x = \sigma_0 / (1 - \nu + \nu^2)^{1/2} \quad (2.16)$$

Dengan memasukkan nilai poisson rasio  $\nu = 0,5$  untuk material agar mengalami deformasi plastic, maka diperoleh :

$$\sigma_x = 1,15\sigma_0 \quad (2.17)$$

Hal inilah yang menjadi penghalang bagi material untuk mengalami kontraksi dalam arah y, seperti terlihat pada Gambar 2.7 dimana tegangan yang dibutuhkan material untuk mengalami *yield* lebih besar 15% dibandingkan dengan tegangan *axial* yang dibutuhkan agar material mengalami *yield* pada *simple tension*<sup>[7]</sup>.

## 2.5 Mode Perpatahan Material

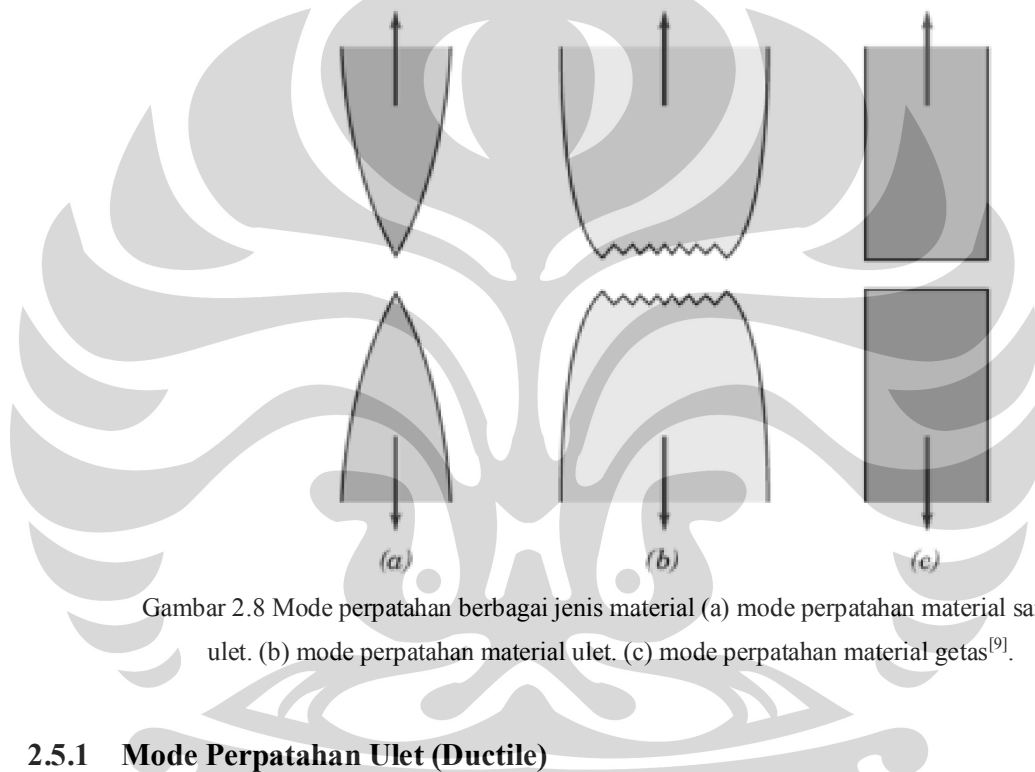
Secara bahasa, perpatahan adalah proses pemisahan sebuah material menjadi dua bagian atau lebih sebagai respon dari tegangan yang diterima. Tegangan yang diberikan dapat berupa tegangan tarik (*tensile*), tegangan tekan (*compressive*), tegangan geser (*shear*), atau tegangan puntir (*torsion*).

Secara umum mode perpatahan material dibagi menjadi 2 (dua) yaitu perpatahan ulet (*ductile*) dan perpatahan getas (*brittle*). Pembagian mode perpatahan tersebut berdasarkan dari kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis.

Material ulet menunjukkan kemampuan untuk mengalami deformasi plastis yang tinggi sebelum material tersebut patah. Sedangkan material getas hanya sedikit atau bahkan tidak sama sekali mengalami deformasi plastis sebelum material tersebut patah. Setiap mode perpatahan memiliki ciri dan

karakteristik tersendiri sehingga setiap material dapat dibedakan berdasarkan karakteristik perpatahannya.

Material yang bersifat ulet (*ductile*) akan mengalami penciutan (*necking*) sebelum material tersebut patah, sedangkan material yang bersifat getas (*brittle*) tidak akan mengalami penciutan (*necking*) karena material getas tidak mengalami deformasi plastis. Perbedaan antara perpatahan pada material ulet dengan perpatahan pada material getas dapat dilihat pada Gambar 2.8.

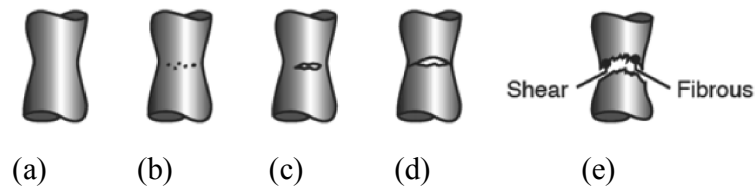


Gambar 2.8 Mode perpatahan berbagai jenis material (a) mode perpatahan material sangat ulet. (b) mode perpatahan material ulet. (c) mode perpatahan material getas<sup>[9]</sup>.

### 2.5.1 Mode Perpatahan Ulet (Ductile)

Perpatahan ulet memiliki karakteristik berserabut (*fibrous*) dan gelap (*dull*)<sup>[9]</sup>. Perpatahan ulet umumnya lebih disukai karena material ulet biasanya lebih tangguh dan memberikan peringatan lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan dengan memperlihatkan mekanisme penciutan (*necking*). Secara umum perpatahan ulet akan mengalami beberapa tahapan, yaitu penciutan awal, terbentuknya rongga-rongga kecil (*cavities*), *cavity-cavity* tersebut lalu berkumpul dan menyatu dan menimbulkan retak (*crack*), penjaralan retak

(*crack propagation*), dan selanjutnya mengalami perpatahan. Tahapan tersebut secara skematis dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tahapan mode perpatahan ulet<sup>[11]</sup>. (a) terbentuknya penciutan. (b) pembentukan rongga-rongga kecil. (c) pembentukan retakan. (d) penjarangan retakan. (e) perpatahan<sup>[11]</sup>.

### 2.5.2 Mode Perpatahan Getas

Perpatahan getas memiliki ciri-ciri berbeda dengan perpatahan ulet, dimana pada bagian permukaan patahan, terlihat berbutir (*granular*) dan terang (*bright*). Dari bentuk patahannya, sedikit sekali atau bahkan sedikit sekali deformasi plastis yang terjadi. Retak atau perpatahan merambat sepanjang bidang-bidang kristalin membelah atom-atom material (*transgranular*).

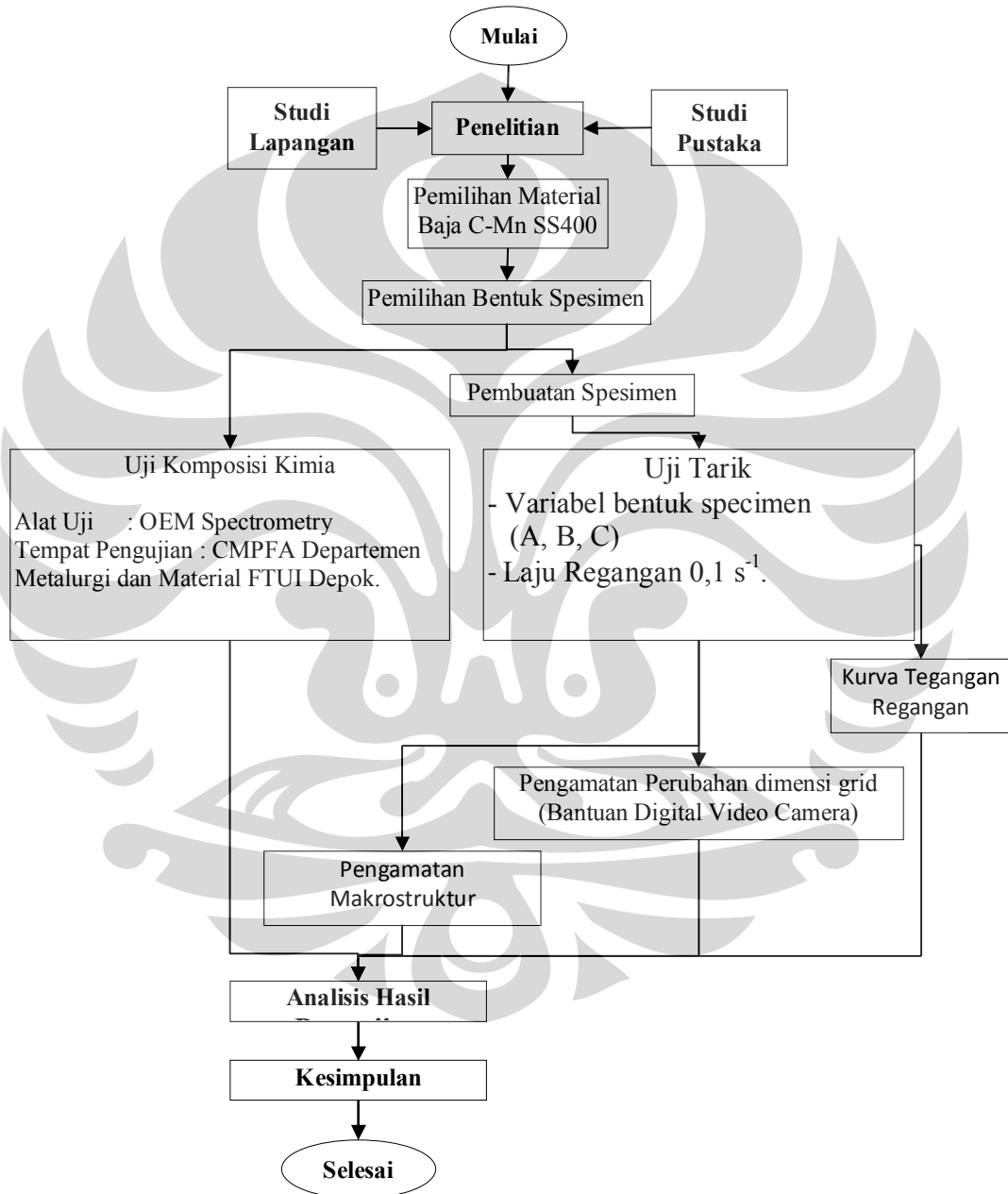
Pada material lunak dengan butir kasar (*coarse-grain*) dapat dilihat pola-pola yang dinamakan *chevrons* atau *fan-like pattern* yang berkembang keluar dari daerah awal kegagalan atau retakan.

Material keras dengan butir halus (*fine-grain*) tidak memiliki pola-pola yang mudah dibedakan. Material amorphous (seperti gelas dan keramik) memiliki permukaan patahan yang bercahaya dan mulus.

# BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat

1. *Universal Tensile Machine*–Merk Shimadzu, kapasitas 20 kN.
2. *Digital Video Camera* .
3. *Video Capture Software*.
4. Gergaji logam.
5. Spectrometer.
6. Cetakan mounting
7. Mesin amplas.
8. Mesin poles.
9. Mikroskop optik.
10. Jangka sorong.
11. Mikroskop ukur.
12. Lain-lain : kantong plastik, label, spidol, tang penjepit, palu, penggaris, sarung tangan, kunci torsi.

### 3.2.2 Bahan

1. Baja C-Mn Lembaran SS400.
2. Resin
3. Hardener
4. Kertas amplas grid #200, #400, #600, #800, #1000, #1200, dan #1500
5. Alumina ( $Al_2O_3$ )
6. Kain poles / beludru
7. 1 roll film
8. Kertas foto

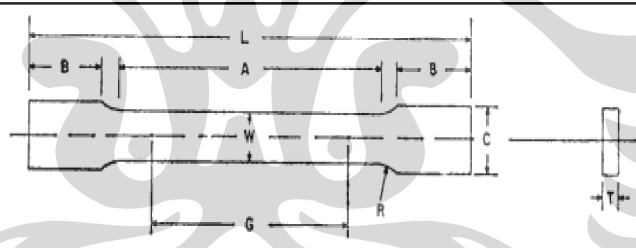
### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengujian *plane strain* pada mesin uji tarik uniaksial. Semua penelitian dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja C-Mn SS400 berbentuk pelat yang telah mampu diproduksi oleh PT Krakatau Steel.

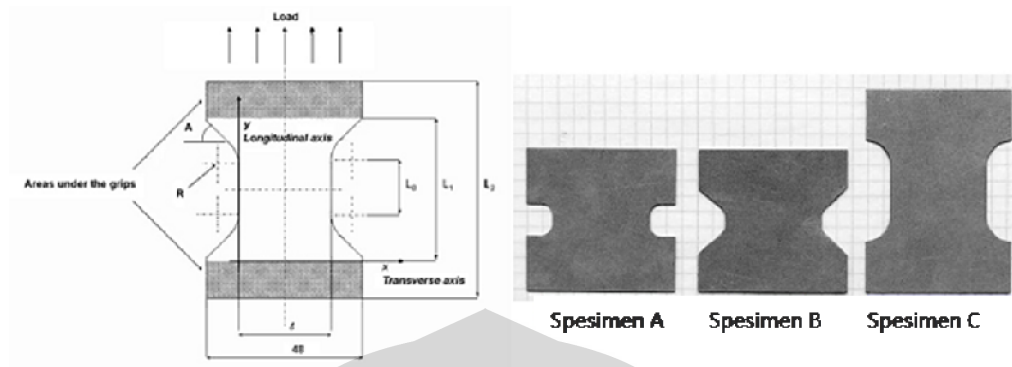
#### 3.3.1 Proses Pembuatan Sampel

Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan alat potong pelat baja dan mesin gerinda. Bentuk spesimen yang dibuat ada 4 jenis, yang pertama bentuk spesimen sesuai standard ASTM E8 dan 3 bentuk lain mengambil desain dari hasil penelitian pengujian *plane strain* oleh oleh *J.L. Dournaux, S. Bouvier, A. Aouafi dan P. Vacher*.



Dimensions, mm			
Nominal Width	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm	6 mm
G— Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W— Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T— Thickness (Note 5)		thickness of material	
R— Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5	6
L— Overall length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	450	200	100
A— Length of reduced section, min	225	57	32
B— Length of grip section, (Note 8)	75	50	30
C— Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50	20	10

Gambar 3.2 Geometri spesimen uji tarik standard<sup>[10]</sup>.



Gambar 3.3 Bentuk spesimen A, B dan C hasil adaptasi dari bentuk spesimen E, F dan G berturut-turut dalam penelitian *plane strain* oleh J.L. Dournaux et al<sup>[2]</sup>.

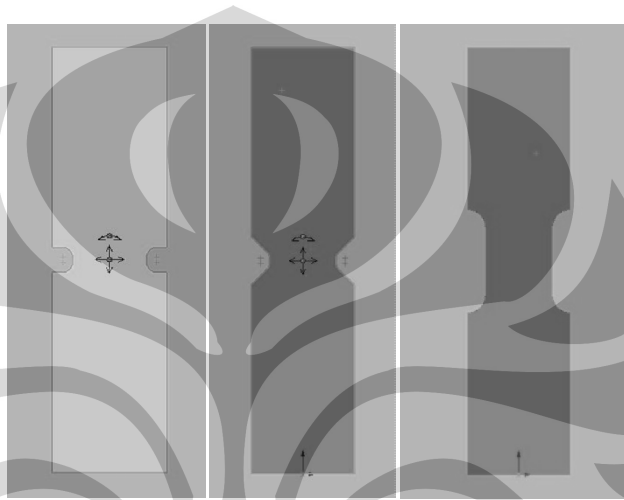
Yang menjadi alasan pemilihan bentuk-bentuk ini, adalah karena dari sembilan bentuk yang diuji dalam penelitian yang dilakukan oleh Dournaux, ketiga bentuk ini yang mampu menunjukkan mekanisme deformasi *plane strain*. Tetapi yang membedakan spesimen pada penelitian ini dengan spesimen yang dibuat oleh Dournaux et.al adalah pada ukuran  $L_2$ , dimana pada penelitian ini, semua spesimen memiliki nilai  $L_2$  yang seragam, yaitu 200 mm. Modifikasi ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan alat penjepit (*grip*) yang digunakan.

Dimana pada pra-penelitian yang dilakukan untuk melihat kesesuaian antara spesimen dan alat penjepit spesimen, untuk melihat kinerja alat penjepit (untuk menjepit dengan sempurna pada *area under grip* dari tiap spesimen dan untuk menyalurkan beban tarik kepada bagian *gage section* sehingga dapat menunjukkan hasil pengujian yang *valid*) terjadi beberapa kali kegagalan pada saat pengujian tarik, kegagalan tersebut yaitu spesimen mengalami *rupture* pada bagian diluar *gage section* dan selama proses pengujian tarik spesimen terlepas dari alat penjepit.

Dengan asumsi, meningkatnya luas area under grip dapat menurunkan potensi kegagalan pada saat pengujian tarik, karena semakin besar daerah yang dijepit, maka semakin besar tahanan yang bisa mencegah spesimen *slip*

dari alat penjepit, dengan begitu beban dapat tersalurkan dengan baik ke *gage section*.

Dipilih ukuran sebesar 200 mm, tidak lain karena nilai ini adalah nilai batas terpanjang dari bagian penjepit dari alat penjepit. Gambar spesimen yang sudah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.4.

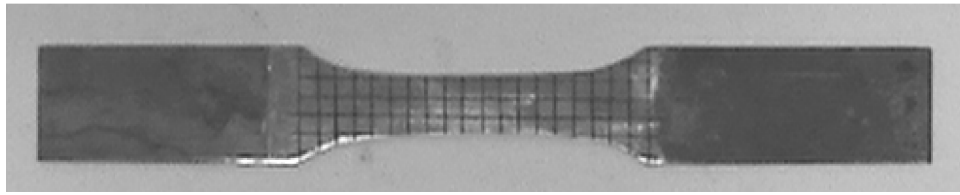


Gambar 3.4 Spesimen A, B dan C yang sudah dimodifikasi.

Tabel 3.1. Detail dimensi spesimen.

Desain Spesimen	Ukuran (mm)					Sudut ( $A^{\circ}$ )
	$\updownarrow$	$L_0$	$L_1$	$L_2$	R	A
A	31,2	2,4	20	200	4	0
B	31,2	2,4	16	200	4	45
C	31,2	15,7	35	200	8,5	0

Spesimen yang sudah dibentuk menjadi 3 bentuk spesimen A, B dan C kemudian diberi kotak-kotak (*grids*) berukuran 4 mm x 4 mm pada bagian permukaan *gage length* seperti pada Gambar 3.5. Hal ini bertujuan untuk memudahkan pengamatan perubahan dimensi dari tiap spesimen yang diamati.



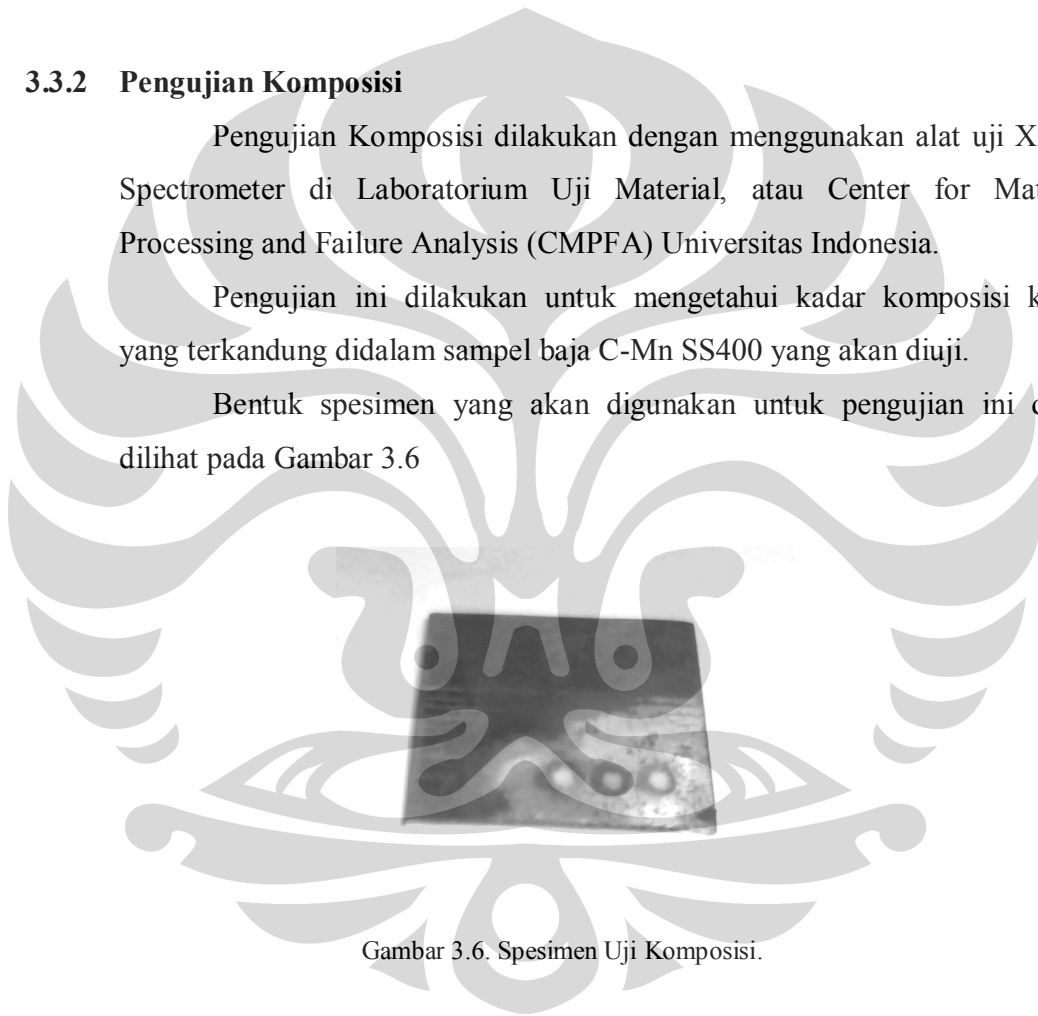
Gambar 3.5 Grid pada spesimen yang akan diuji.

### 3.3.2 Pengujian Komposisi

Pengujian Komposisi dilakukan dengan menggunakan alat uji X-Ray Spectrometer di Laboratorium Uji Material, atau Center for Material Processing and Failure Analysis (CMPFA) Universitas Indonesia.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar komposisi kimia yang terkandung didalam sampel baja C-Mn SS400 yang akan diuji.

Bentuk spesimen yang akan digunakan untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6. Spesimen Uji Komposisi.

### 3.3.3 Pengujian Tarik

Pada penelitian ini dilakukan 2 jenis pengujian tarik. Yang pertama adalah pengujian tarik standard yang bertujuan untuk mendapatkan nilai UTS dari spesimen baja C-Mn SS400 yang digunakan. Pengujian tarik yang kedua

adalah pengujian *plane strain* yang bertujuan untuk mengamati terjadinya fenomena *plane strain* pada spesimen A, B dan C dalam penelitian ini.

Pengujian ini menggunakan Mesin Uji Tarik UTS merk Shimadzu Kapasitas 20 kN yang terlihat pada Gambar 3.7. Pengujian tarik *plane strain* pada penelitian ini mengacu pada 1 arah lembaran, yaitu arah sejajar canai ( $0^\circ$ ). Hal ini karena mekanisme *plane strain* yang terjadi pada proses canai adalah sejajar arah canai.



Gambar 3.7. Mesin Uji Tarik.

Selama proses pengujian tarik, dilakukan proses pengambilan data deformasi spesimen dengan cara merekam setiap proses pengujian tarik yang dilakukan. Data video ini nantinya akan digunakan untuk menghitung perubahan dimensi dari tiap *grid* yang ada pada spesimen.

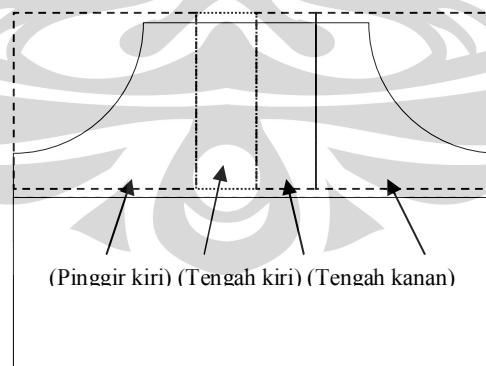
Proses perekaman ini menggunakan alat Digital Video Camera Sony Handycam DCR-DVD650 merk Sony dengan kemampuan rekam 25 fps, seperti terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Digital Video Camera.

### 3.3.4 Pengamatan Makrostruktur

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui perubahan dimensi arah tebal dari spesimen yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan cara memotong spesimen hasil pengujian tarik sejajar arah tarikan menjadi 4 bagian, yaitu bagian tengah kiri, tengah kanan, pinggir kiri dan pinggir kanan seperti pada Gambar 3.9. Lalu kemudian di ukur tebal dari setiap bagian tersebut untuk mengetahui perubahan ukuran tebal yang terjadi pada saat pengujian dibandingkan dengan ketebalan awal.



Gambar 3.9 Potongan spesimen uji makrostruktur.

Alat yang digunakan untuk mengukur perubahan dimensi tebal dari setiap spesimen adalah *Measuring Microscope* MM40 merk Nikon seperti terlihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Alat Nikon Measuring Microscope MM40.

### 3.3.5 Pengamatan Perubahan Dimensi

Pengamatan perubahan dimensi ini dilakukan dengan melakukan perhitungan perubahan dimensi spesimen yang berhasil direkam oleh alat *digital video camera*.

Diambil 8 bagian video pengujian, yaitu pada saat awal, saat *yield*, saat *plane strain*, sesaat sebelum UTS, saat UTS, sesaat setelah UTS, sesaat sebelum *rupture* dan pada saat *rupture*.

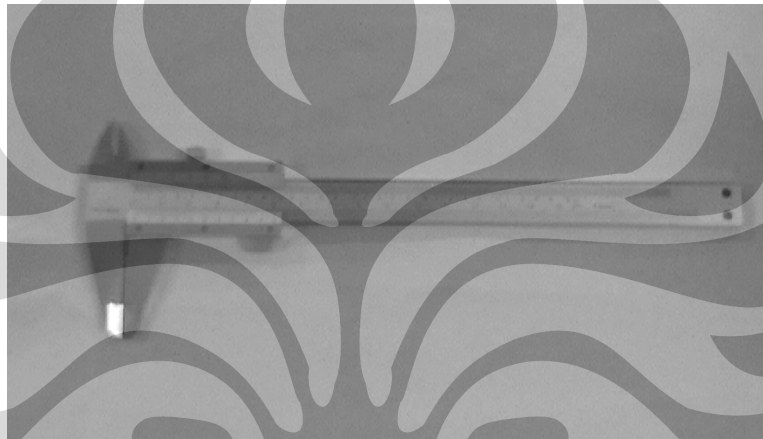
Pengambilan 8 bagian dari video rekaman pengujian ini dengan menggunakan kemampuan *trimming video* menggunakan *software Sony Picture Motion Browser* (Sony PMB) bawaan dari *digital video camera* dan atau *software open source Media Player Classic-Home Cinema* (MPC-Home Cinema). Pengambilan 8 gambar ini menghasilkan data berupa gambar (*frame*) penampakan spesimen pada posisi-posisi yang telah ditentukan tadi.

Universitas Indonesia



Dari 8 bagian tersebut dihitung perubahan kotak-kotak (*grids*) yang ada pada spesimen. Penghitungan ini dilakukan dengan cara mencetak gambar kedelapan bagian tersebut dalam sebuah kertas lalu mengukur dimensi kotak yang tercetak menggunakan jangka sorong (*vernier caliper*) merk Tricle Brand seperti terlihat pada Gambar 3.11.

Data yang didapat tadi diolah menjadi data strain dari tiap-tiap *grid* yang ada pada spesimen.



Gambar 3.11. Jangka Sorong (Vernier caliper).

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil pengujian komposisi terhadap spesimen baja C-Mn SS400 didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kimia

Unsur terkandung	Persen berat unsur terkandung (%)
Fe	98.783
C	0.085
Mn	0.502
P	0.019
S	0.004
Si	0.036
Ni	0.061
Cr	0.156
Mo	0.020
Ti	< 0.002
Cu	0.271
Nb	< 0.002
V	< 0.002
Al	0.019

Tabel 4.2. Komposisi Kimia Baja Karbon<sup>[1]</sup>

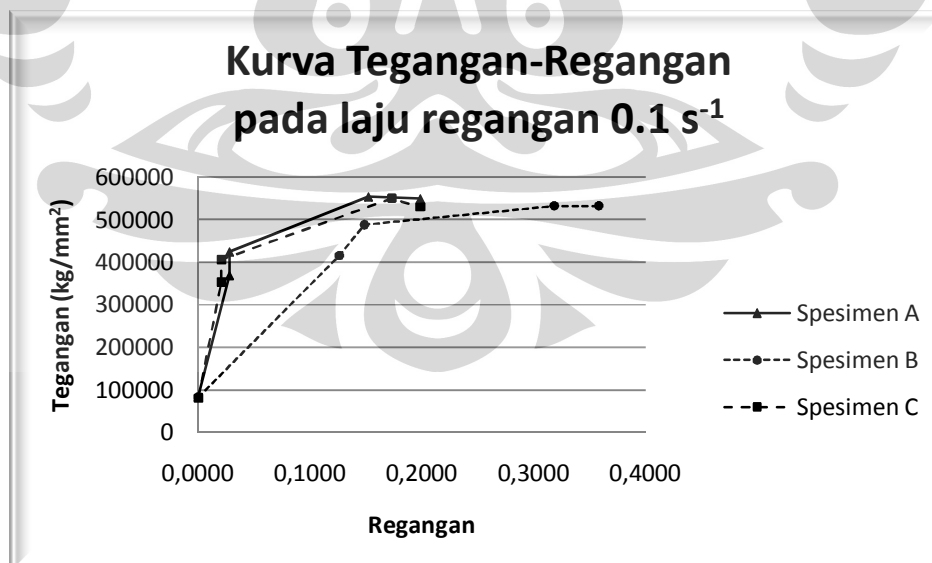
Steel	Chemical Composition, %				Minimum yield strength		Minimum tensile strength		Minimum Ductility (elongation in 50 mm)%
	C (max)	Mn	Si	Other	MPa	ksi	Mpa	ksi	
Low Carbon steel	0.29	0.60-1.35	0.15-0.40	...	170-250	25-36	310-415	45-60	23-30
As-ht rolled C-Mn steel	0.40	1.00-1.65	0.15-0.40	...	250-400	36-58	415-690	60-100	15-20
HSLA	0.08	1.30	0.15-0.40	0.20 Nb or 0.05 V	175-450	40-65	415-550	60-80	18-24

## 4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai UTS dari tiap model spesimen dan untuk melihat terjadinya mekanisme deformasi *plane strain* pada tiap desain spesimen yang digunakan.

### 4.2.1 Kekuatan Tarik Maksimum

Untuk spesimen standard, nilai UTS yang didapatkan sebesar 466.3 MPa. Sedangkan untuk spesimen A, spesimen B dan spesimen C, nilai UTS masing-masing adalah 485.5 MPa, 475.4 MPa, 472.7 MPa secara berturut-turut. Perbedaan nilai kekuatan ini disebabkan karena perbedaan dimensi dan geometri dari tiap spesimen. Dimana pada spesimen A, spesimen B dan spesimen C nilai dimensi  $A_0$  aktualnya adalah  $58.7 \text{ mm}^2$ ,  $58.89 \text{ mm}^2$  dan  $60.82 \text{ mm}^2$ . Dimana semakin besar nilai dari  $A_0$  maka semakin kecil beban yang tersebar merata pada spesimen, karena semakin besar luas penampang awal, jika diberi sejumlah beban yang sama maka beban akan menyebar secara seragam diseluruh penampang yang tersedia, hal ini sesuai dengan dasar persamaan (2.7).



Gambar 4.1 Kurva tegangan-regangan dari tiap spesimen.

Namun demikian, perbedaan tersebut masih termasuk dalam jangkauan nilai yang diperbolehkan, dimana nilai baja SS400 minimal memiliki nilai UTS sebesar 400 MPa, dimana perbedaan nilai UTS dari tiap spesimen memiliki nilai deviasi 16.6% untuk spesimen standard. Sedangkan pada spesimen A, spesimen B dan spesimen C memiliki nilai UTS lebih besar, sebesar 21.4%, 18.9% dan 18.2% secara berturut-turut.

Tabel 4.3 Tabel hasil perhitungan nilai UTS dan deviasinya

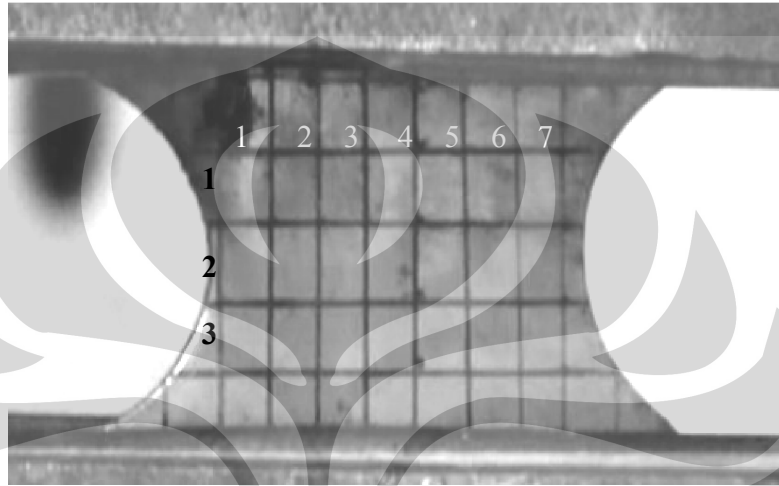
Nama Spesimen	Nilai UTS (Mpa)	Deviasi Nilai UTS (%)
Standard ASTM E8	466.3	16.575
Spesimen A	485.5	21.375
Spesimen B	475.4	18.85
Spesimen C	472.7	18.175

#### 4.2.2 Pengamatan Perubahan Dimensi

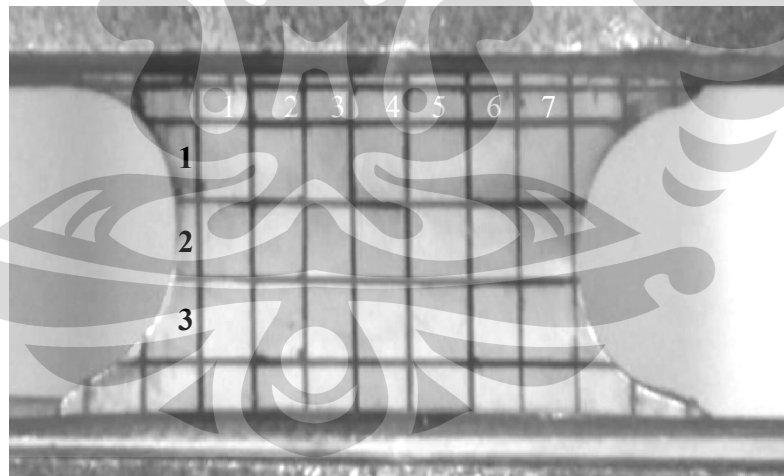
Pengamatan perubahan dimensi ini dilakukan sebagai tahap pengamatan analitis terhadap terbentuknya mekanisme plane strain pada spesimen yang diuji. Pengamatan ini dilakukan dengan memfokuskan pada perubahan dimensi dari tiap *grid* spesimen untuk mengukur nilai elongasi pada arah vertikal dan horizontal.

Dimana pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan nilai FLD (*Forming Limit Diagram*) pada 7 titik proses uji tarik (dari titik *yield* hingga *rupture*) dan untuk mengetahui apakah benar nilai FLD mendekati nol pada saat *yield* hingga UTS. Untuk lebih jelasnya, diambil contoh pada bagian 1,15 *yield*.

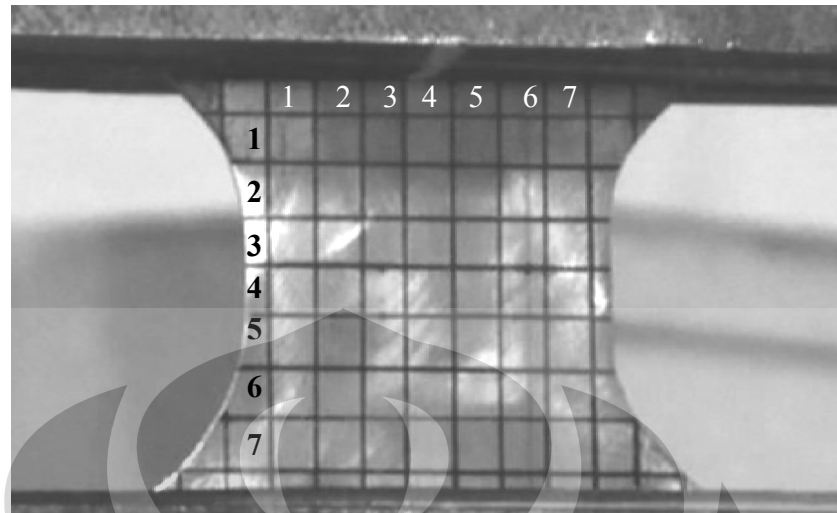
Gambar dari setiap *grid* di tiap spesimen dapat dilihat dari Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. dimana pada setiap gambar terdapat angka-angka. Angka putih menunjukkan posisi *grid* berdasarkan kolom dan angka berwarna hitam menunjukkan posisi *grid* berdasarkan baris.



Gambar 4.2 *Grid-grid* yang terdapat pada spesimen A.



Gambar 4.3 *Grid-grid* yang terdapat pada spesimen B.



Gambar 4.4 *Grid-grid* yang terdapat pada spesimen C.

Pada titik  $1,15 \text{ yield}$ , dimana diasumsikan terjadinya mekanisme deformasi *plane strain*, dihitung nilai regangan mayor dan minor pada setiap *grid* yang dibuat pada setiap spesimen. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 hingga Tabel 4.9.

Tabel 4.4  $\epsilon$  Minor (Horizontal) spesimen A pada  $1,15 \text{ yield}$ .

BARIS	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	$\epsilon 3$	$\epsilon 4$	$\epsilon 5$	$\epsilon 6$	$\epsilon 7$	$\epsilon_{\text{avarege}}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\epsilon_{\text{avarege}}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabel 4.5  $\epsilon$  Mayor (Vertikal) spesimen A pada  $1,15 \text{ yield}$ .

BARIS	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	$\epsilon 3$	$\epsilon 4$	$\epsilon 5$	$\epsilon 6$	$\epsilon 7$	$\epsilon_{\text{avarege}}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\epsilon_{\text{avarege}}$	0,0284	0,0284	0,0284	0,0284	0,0284	0,0284	0,0284	0,0284

Tabel 4.6  $\epsilon$  Minor (Horizontal) spesimen B pada 1,15 *yield*.

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\epsilon_{avarege}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabel 4.7  $\epsilon$  Mayor (Vertikal) spesimen B pada 1,15 *yield*.

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,2103	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2103	0,0601
2	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103
3	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103
$\epsilon_{avarege}$	0,2103	0,1402	0,1402	0,1402	0,1402	0,1402	0,2103	0,1602

Tabel 4.8  $\epsilon$  Minor (Horizontal) spesimen C pada 1,15 *yield*.

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\epsilon_{avarege}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabel 4.9  $\epsilon$  Mayor (Vertikal) spesimen C pada 1,15 *yield*.

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
4	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
5	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0452
6	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
7	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
$\epsilon_{avarege}$	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0211

Dengan didapatkan nilai regangan mayor dan minor diatas, dengan menggunakan persamaan (2.1), maka didapatkan nilai FLD dari setiap *grid*. Nilai FLD ( $\beta$ ) bernilai setara dengan nol jika mekanisme deformasi *plane strain* terjadi pada suatu material. Nilai FLD dari setiap *grid* ini bisa dilihat pada Tabel 4.10 hingga Tabel 4.12.

Tabel 4.10 Nilai FLD spesimen A pada saat 1,15 *yield*.

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\beta_{avarege}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



Tabel 4.11 Nilai FLD spesimen B pada saat 1,15 *yield*.

<b>Kolom</b> <b>Baris</b>	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\beta_{avarege}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabel 4.12 Nilai FLD spesimen C pada saat 1,15 *yield*.

<b>Kolom</b> <b>Baris</b>	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$\beta_{avarege}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Dari tabel diatas, didapatkan nilai FLD yang memiliki nilai setara dengan nol. Hal ini menunjukkan bahwa pada setiap spesimen terjadi mekanisme deformasi *plane strain* pada titik 1,15 *yield*.

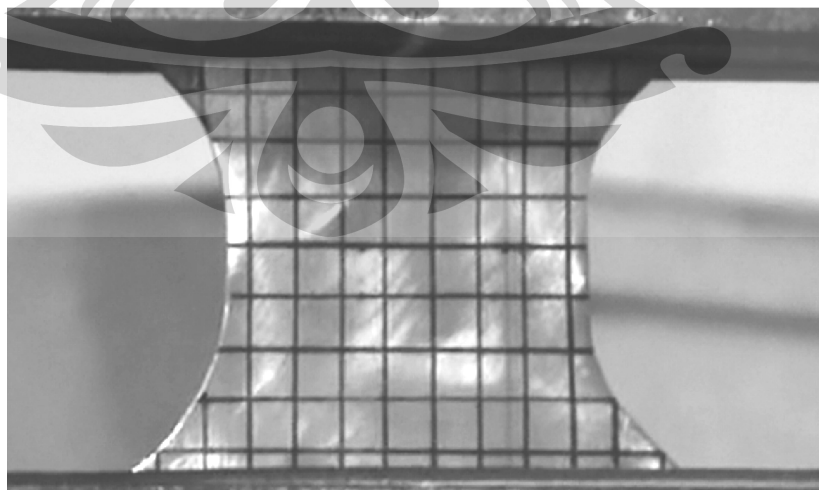
Hal ini didukung dengan tidak terbentuknya penyusutan lebar (penyusutan *gage width*) pada saat posisi 1,15 *yield* seperti terlihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dibawah ini yang bisa dibandingkan dengan Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 secara berturut-turut.



Gambar 4.5 spesimen A pada saat 1,15 *yield*.



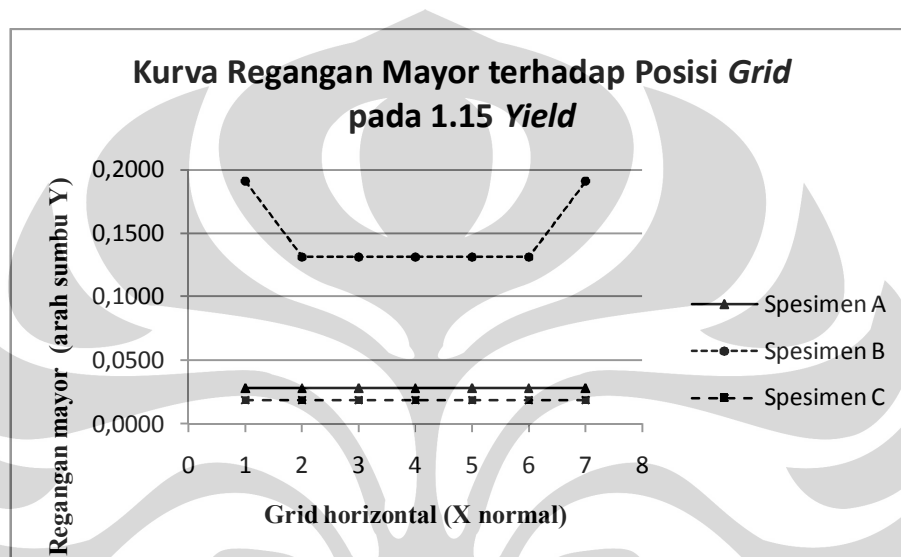
Gambar 4.6 spesimen B pada saat 1,15 *yield*.



Gambar 4.7 spesimen C pada saat 1,15 *yield*.

**Universitas Indonesia**

Namun demikian, jika melihat pada sebaran regangan yang terjadi pada setiap *grid* yang ada pada setiap spesimen, terlihat terdapat ketidakseragaman regangan pada spesimen B, berbeda dengan 2 spesimen lainnya (spesimen A dan spesimen C) yang memiliki nilai regangan yang seragam disetiap kolom *grid* yang ada. Seperti kita lihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva hubungan antara regangan mayor terhadap posisi *grid* pada 1,15 yield

Dimana pada spesimen B memiliki nilai regangan yang sangat tinggi dibandingkan dengan 2 spesimen lainnya, dan pada kolom *grid* terluar dari spesimen B (kolom *grid* ke-1 dan ke-7) terdapat nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan kolom *grid* yang lain pada spesimen tersebut. Hal ini karena pada spesimen B, secara geometri pada bagian *gage area* dan *under grip area* dihubungkan dengan *root radius* sebesar 4 mm dan *fillet* bersudut  $45^\circ$ , hal ini menjadikan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah sudut tersebut dan dengan begitu meningkatkan nilai regangan pada daerah sudut tersebut. Selain itu, keberadaan *fillet* bersudut  $45^\circ$  ini mengakibatkan rasio transisi *gage area* dan *under grip area* menjadi lebih kecil. Hal ini sesuai literatur<sup>[2, 12]</sup>, dimana spesimen dengan rasio transisi dan perbandingan antara *gage area* dan *under grip area* lebih kecil akan mengakibatkan terjadinya

Universitas Indonesia

deformasi pada daerah pinggiran *gage area* akibat pengaruh dari *under grip area*. Dan daerah dengan nilai rasio transisi yang cukup besar dapat mencegah deformasi pada bagian pinggir *gage area*.

### 4.3 Pengamatan Makrostruktur

Pengamatan makrostruktur ini dilakukan untuk melihat transisi perubahan dimensi tebal spesimen dalam kaitannya dengan mekanisme deformasi *plane strain*. Tebal awal spesimen adalah seragam, yaitu 1,89 mm karena semua spesimen dibentuk dari baja lembaran yang sama.

Diambil 5 titik pengukuran, dimana Titik 1 berjarak 0,500 mm dari patahan, Titik 2 berjarak 5,500 mm dari patahan, Titik 3 berjarak 10,500 mm dari patahan, Titik 4 berjarak 15,500 mm dari patahan dan Titik 5 berjarak 20,500 mm dari patahan. Berikut adalah tabel hasil pengukuran transisi tebal dari setiap spesimen:

Tabel 4.13 Transisi tebal patahan spesimen A bagian atas.

Titik	Daerah				$T_{average}$
	1	2	3	4	
1	1,174	0,916	0,979	1,059	1,03200
2	1,557	1,347	1,547	1,4	1,46275
3	1,677	1,369	1,831	1,595	1,61800
4	1,736	1,391	1,858	1,804	1,69725
5	1,762	1,516	1,89	1,84	1,75200

Tabel 4.14 Transisi tebal patahan spesimen A bagian bawah.

Titik	Daerah				$T_{average}$
	1	2	3	4	
1	1,221	0,994	1,274	0,986	1,11875
2	1,514	1,475	1,496	1,525	1,50250
3	1,678	1,654	1,553	1,593	1,61950
4	1,696	1,665	1,567	1,661	1,64725
5	1,841	1,728	1,686	1,711	1,74150

Tabel 4.15 Transisi tebal patahan spesimen B bagian atas.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,182	1,128	1,312	1,035	1,16425
2	1,411	1,347	1,602	1,541	1,47525
3	1,47	1,401	1,709	1,601	1,54525
4	1,717	1,525	1,792	1,667	1,67525
5	1,785	1,598	1,881	1,761	1,75625

Tabel 4.16 Transisi tebal patahan spesimen B bagian bawah.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,272	1,006	1,169	1,238	1,17125
2	1,532	1,405	1,293	1,6	1,45750
3	1,655	1,489	1,399	1,691	1,55850
4	1,697	1,521	1,507	1,767	1,62300
5	1,769	1,739	1,586	1,822	1,72900

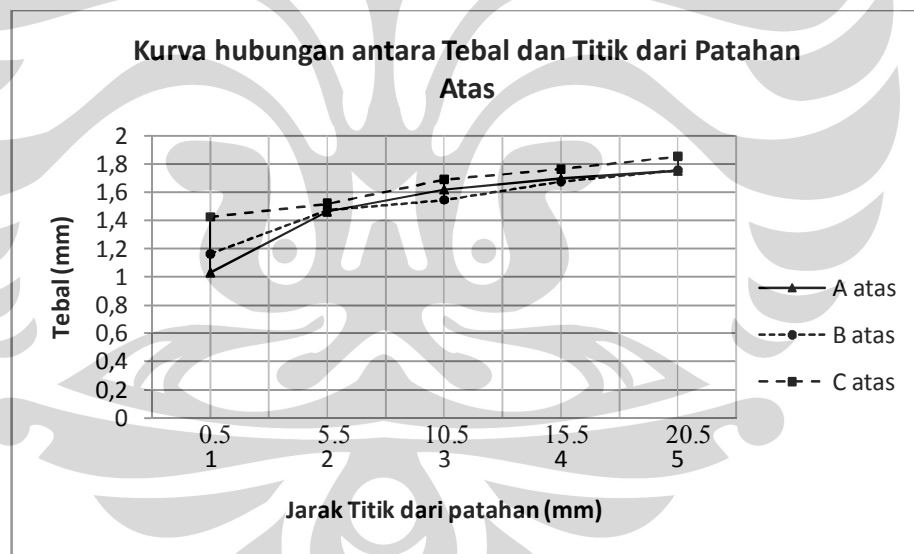
Tabel 4.17 Transisi tebal patahan spesimen C bagian atas.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,445	1,453	1,411	1,396	1,42625
2	1,589	1,553	1,443	1,497	1,52050
3	1,787	1,601	1,666	1,715	1,69225
4	1,865	1,61	1,829	1,757	1,76525
5	1,89	1,795	1,862	1,873	1,85500

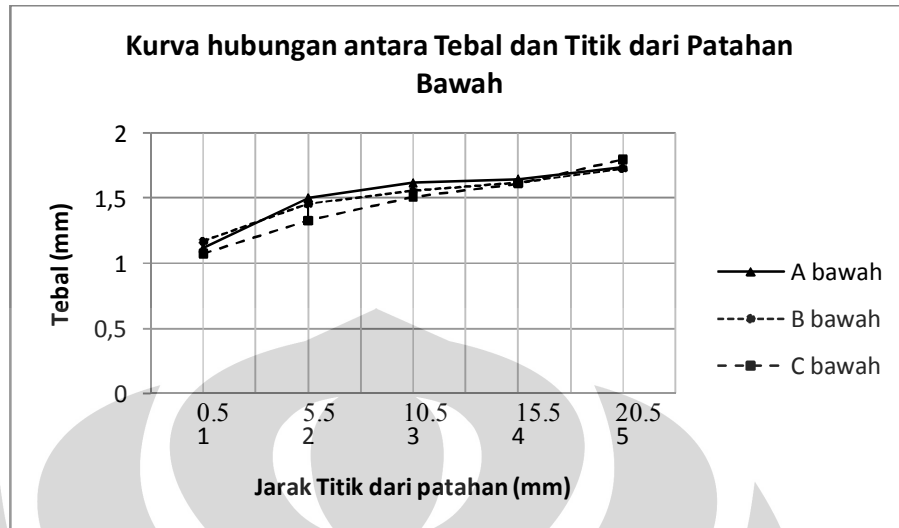
Tabel 4.18 Transisi tebal patahan spesimen C bagian bawah.

Titik	Daerah				$T_{average}$
	1	2	3	4	
1	1,157	0,991	1,038	1,117	1,07575
2	1,225	1,367	1,448	1,28	1,33000
3	1,433	1,616	1,594	1,399	1,51050
4	1,54	1,671	1,64	1,601	1,61300
5	1,659	1,89	1,775	1,867	1,79775

Dari tabel hasil pengukuran diatas, terlihat bahwa terjadi perubahan dimensi tebal yang cukup signifikan dengan kisaran persentase penipisan 0-18%. Jika diplot kedalam kurva hubungan antara tebal spesimen dan titik dari patahan, maka akan dihasilkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 dibawah ini.



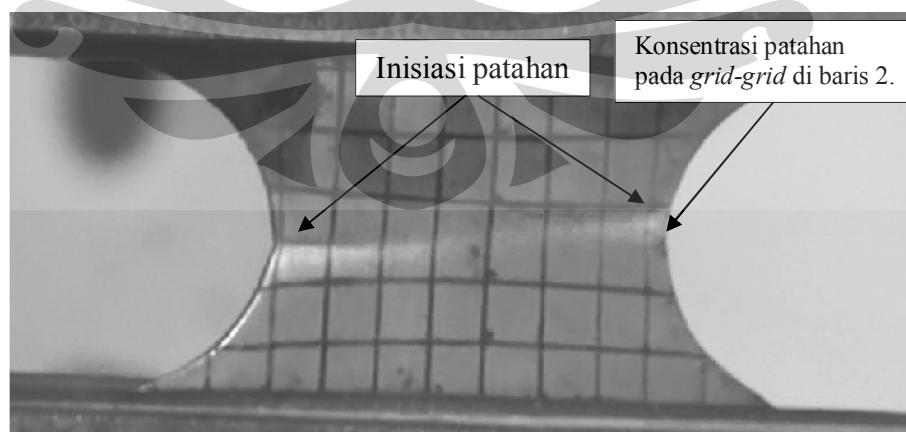
Gambar 4.9 Kurva hubungan antara berubah dimensi tebal dan jarak titik dari patahan spesimen bagian atas.



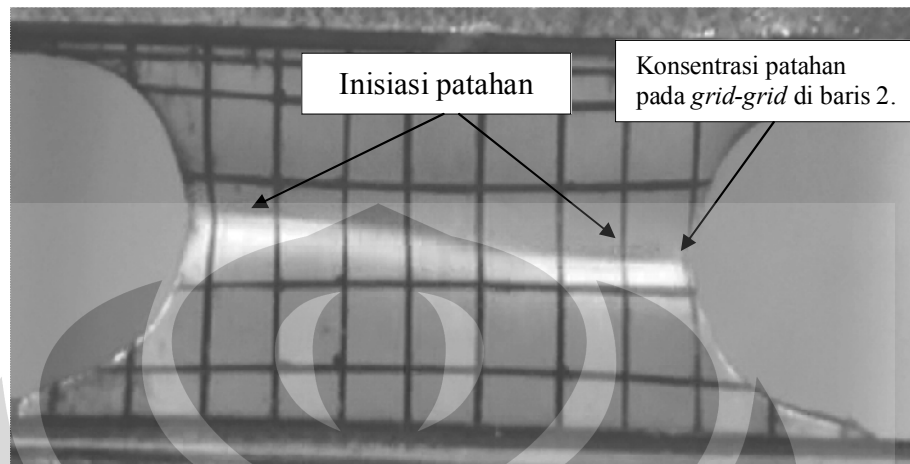
Gambar 4.10 Kurva hubungan antara berubah dimensi tebal dan jarak titik dari patahan spesimen bagian bawah.

Dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.9 dan 4.10 terlihat perubahan ketebalan secara bertahap pada setiap spesimen yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme *rupture* terkonsentrasi pada satu daerah yang sama (secara posisi baris *grid*) di setiap spesimen.

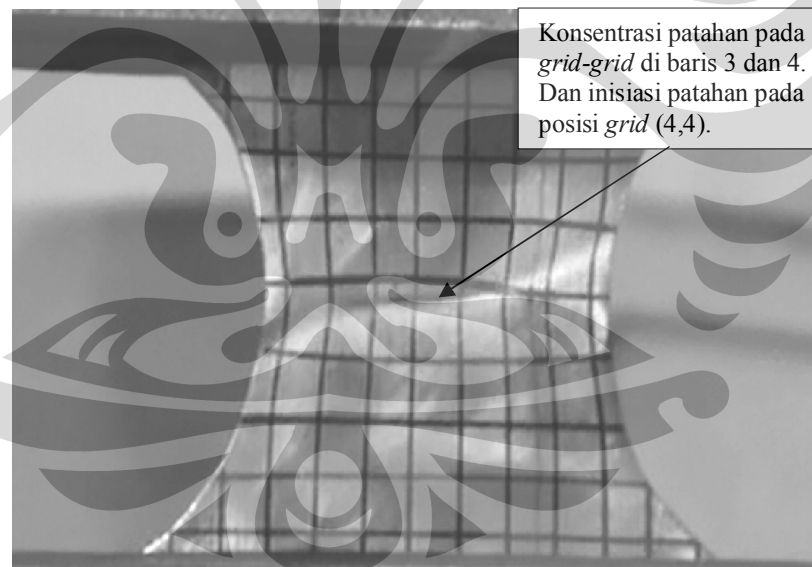
Hal ini didukung dengan adanya penampakan patahan spesimen pada saat *rupture* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11, Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 yang ada dibawah ini.



Gambar 4.11 Patahan spesimen A pada saat *rupture*.



Gambar 4.12 Patahan spesimen B pada saat *rupture*.



Gambar 4.13 Patahan spesimen C pada saat *rupture*.

Pada Gambar 4.11 terlihat jalur patahan yang terjadi pada spesimen A terkonsentrasi pada *grid-grid* baris ke-2, dan pada Gambar 4.12 terlihat jalur patahan yang dimiliki spesimen B berada pada *grid-grid* baris ke-2, tidak melintasi *grid-grid* barisan yang lain.

**Universitas Indonesia**



Namun, berbeda dengan spesimen A dan spesimen B, pada spesimen C, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13, dimana patahan terjadi sepanjang *grid* baris ke 4 dan ke 3 membentuk jalur patahan antara *Grid* (1,4), *Grid* (2,4), *Grid* (3,4), *Grid* (4,4), *Grid* (5,4), *Grid* (6,3) dan *Grid* (7,3).

Inisiasi patahan dari spesimen A juga dapat dilihat dari Gambar 4.11, dimana disana terlihat inisiasi dari patahan terjadi pada bagian terluar-terpinggir *Grid* (1,3) dan *Grid* (7,3). Inisiasi seperti ini juga terjadi pada spesimen B seperti terlihat pada Gambar 4.12. hal ini didukung oleh nilai regangan yang cukup besar pada *grid-grid* tersebut seperti terlihat pada Tabel 4.19 dan 4.20 yang ada dibawah ini.

Tabel 4.19  $\epsilon$  Mayor (Vertikal) spesimen A pada saat *rupture*

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0481	0,1191	0,1191	0,1191	0,1191	0,2048	0,2048	0,1335
2	0,5154	0,4087	0,3877	0,3435	0,3435	0,3754	0,3958	0,3957
3	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296
$\epsilon_{avarege}$	0,2310	0,2191	0,2121	0,1974	0,1974	0,2366	0,2434	0,2196

Tabel 4.20  $\epsilon$  Mayor (Vertikal) spesimen B pada saat *rupture*

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730
2	0,5917	0,5387	0,5387	0,4789	0,5387	0,5387	0,5917	0,5453
3	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730
$\epsilon_{avarege}$	0,4459	0,4282	0,4282	0,4083	0,4282	0,4282	0,4459	0,4304

Pada spesimen C, berbeda dengan 2 spesimen lainnya (spesimen A dan Spesimen B) memiliki inisiasi patahan pada bagian tengah, yaitu tepat pada *Grid* (4,4).

Hal ini terjadi karena adanya pengaruh geometri dari tiap spesimen. Dimana pada spesimen A dan spesimen B, sama-sama memiliki *gage length* yang tidak terlalu besar, yaitu sebesar 2.40 mm, sehingga area konsentrasi

tegangan yang dimiliki kedua spesimen tersebut tidak terlalu luas jika dilihat dari luas penampang depannya, dan terlebih lagi bagian *fillet* yang memiliki jari-jari sebesar 4 mm meningkatkan aliran jumlah beban pada bagian pinggir dari spesimen A dan spesimen B, sehingga meningkatkan potensi terjadinya inisiasi patahan pada bagian pinggir.

Sedangkan spesimen C, *gage length* yang dimiliki cukup besar, yaitu sebesar 15.7 mm, sehingga daerah pengamatan yang berpotensi untuk terjadinya inisiasi patahan menjadi lebih luas.

Terbentuknya inisiasi pada bagian tengah spesimen C, terjadi karena pada bagian tengah terjadi konsentrasi tegangan dan mekanisme penipisan yang sangat signifikan dibandingkan pada bagian pinggirannya.

Hal ini sesuai literatur<sup>[2]</sup>, bahwa patahan akan terjadi pada bagian tengah spesimen dengan regangan dan nilai penipisan yang sangat besar. Kesesuaian ini bisa dilihat dari besar nilai regangan mayor spesimen C pada saat terjadi *rupture* yang tertera pada Tabel 4.19 dibawah ini.

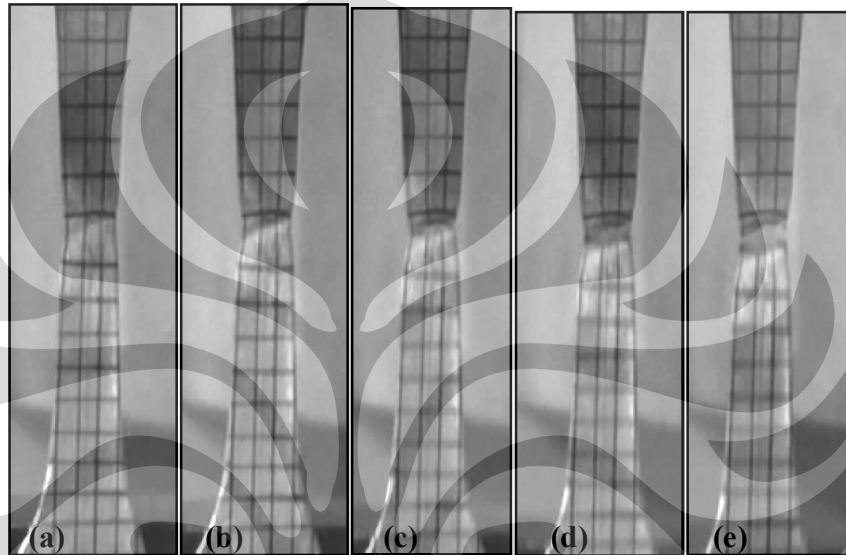
Tabel 4.21  $\epsilon$  Mayor (Vertikal) spesimen C pada saat *rupture*

BARIS	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	$\epsilon 3$	$\epsilon 4$	$\epsilon 5$	$\epsilon 6$	$\epsilon 7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776
2	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750
3	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,2865	0,2750	0,2750	0,2285
4	0,4060	0,4952	0,5316	0,5316	0,4952	0,3312	0,3169	0,4440
5	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,3334	0,2834
6	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776
7	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509
$\epsilon_{avarege}$	0,2075	0,2203	0,2255	0,2255	0,2340	0,2089	0,2152	0,2196

Pada Tabel 4.21, terlihat nilai regangan pada *Grid* (3,4) dan *Grid* (4,4) memiliki nilai paling besar dibandingkan regangan-regangan *grid-grid* lainnya yang ada di sekeliling mereka.

#### 4.4 Pengamatan Patahan

Pada pengamatan patahan dari spesimen standard diketahui pada spesimen standard terjadi beberapa tahapan yaitu pembentukan *necking*, penggabungan *cavities*, inisiasi patahan, perambatan patahan dan perpatahan yang semuanya terekam dalam video pengujian tarik yang dilakukan seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Tahap proses terjadinya patahan pada spesimen standard

Dan jika melihat bentuk patahan secara melintang, dari setiap daerah patahan dari spesimen yang mengalami penciutan pada dimensi tebal seperti diperlihatkan pada Gambar 4.15 hingga 4.17, terlihat bentuk ujung patahan yang berbentuk *fibrous* dan tumpul seperti pada material ulet.



Gambar 4.15 Tampak samping patahan pada spesimen A pada *grid* (2,2)



Gambar 4.16 Tampak samping patahan pada spesimen B pada *grid* (2,2)



Gambar 4.17 Tampak samping patahan pada spesimen C pada *grid* (2,2)

Dari Gambar 4.14 hingga Gambar 4.17 diatas, dapat disimpulkan bahwa bahwa baja C-Mn SS400 yang digunakan pada penelitian ini bersifat ulet.

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan nilai regangan mayor dan minor, didapatkan nilai FLD setara dengan nol pada titik *yield* hingga UTS pada semua spesimen (spesimen A, B dan C).
2. Dari hasil pengamatan makroskopis didapatkan patahan sejajar pada spesimen A dan B, dan patahan berbentuk S pada spesimen C. Ini karena panjang *gage area* (*gage length*) pada spesimen A dan B jauh lebih kecil dibandingkan dengan *gage length* dari spesimen C.
3. Dari hasil pengamatan makroskopis, diketahui bahwa inisiasi patahan pada spesimen A dan B terjadi dari tepi *gage area*, dan pada spesimen C terjadi pada bagian tengah *gage area*.
4. Desain spesimen yang paling baik hingga yang terburuk dalam menjelaskan mekanisme deformasi *plane strain* adalah desain spesimen C, lalu spesimen A dan yang terakhir adalah spesimen B.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] ASM Handbook, Properties And Selection : Iron Steel And High Performance Alloy, Volume 1. ASM International, 1990.
- [2] J.L. Dournaux, S. Bouviera, A. Aouafia, P. Vacher. Materials Science and Engineering A 500 (2009) 47–62.
- [3] Y.G. An, H. Vegter, L. Elliott, J. Mater. Process. Technol. 155–156 (2004) 1616–1622.
- [4] Kuwabara T., Ikeda S., *Plane-Strain Tension Test of Steel Using Servo Controlled Biaxial Tensile Testing Machine.*
- [5] Mangonon P. L., *The Principles of Material Selection for Engineering Desing*, Prentice Hall Inc., 1999.
- [6] Kilfoil L. J., Tesis: *In-Plane Plane Strain Testing To Evaluate Formability of Sheet Steels Used in Tubular Products*, Ontario, Canada, Queen's University , September 2007.
- [7] ASM Handbook Volume 8, *Mechanical Testing and Evaluation*, ASM International, 2000.
- [8] Vegter H., et. al., *Characterisation and Modelling of The Plastic Material Behaviour and its Application in Sheet Metal Forming Simulation*, Proceeding VII International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS VII, Barcelona, 2003.
- [9] Callister, William D. 1997. *Material Science and Engineering : an Introduction*. John Wiley & Son : New York.
- [10] ASTM E8. 2004. *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*.
- [11] Kalpakjian, Serope dan S. R. Schmid. 2008. *Manufacturing Processes for Engineering Materials* 5th ed. Pearson Education : UK.
- [12] *Tensile Testing*, 2nd Edition, Chapter 1 Introduction to Tensile Testing. ASM International.

- [13] Aretz Holger., Hopperstand odd Sture., Lademo Odd-Geir., *Yield Function Calibration for Orthotropic Sheet Metal based on Uniaxial and Plane Strain tensile Test*. Journal of Material Processing technology 186 (2007) 221-235.
- [14] Y.H. Zhao et al., *Influence of Specimen Dimensions on the tensile Behavior of Ultrafine-grained Cu*. Scripta Materialia 59 (2008) 627-630.
- [15] Roberts J.R., *Optical Emission Spectroscopy on The gaseous Electronics Conference RF Reference Cell*. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol 100 Numbr 4, July-Augus 1995.
- [16] Roll Karl., *Simulation of Sheet Metal Forming-Necessary Developments in the Future*. Keynote paper NUMISHEET 2008, Interlaken, 1.-5. September 2008
- [17] Tiernan Peter., Hannon Alan., *Development of a Biaxial Tensile Test System for Sheet Metal*, Ireland.
- [18] Dobrzański L.A., Honysz A. Jagiello R., *Virtual Tensile Test Machine as an Example of Material Science Virtual Laboratory post*. Journal of Achievement in Material and Manufacturing Engineering, Vol 27, Issue 2 April 2008.
- [19] ASTM A751-01. 2001. Standard Test Methods, Practices and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products.
- [20] Dayan Huang et al., *Error Simulation Analysis Deviation of Plate Specimen Tensile Test Based on Finite Element Method*. Second International Conference on Information and Computing Science 2009.
- [21] Umemoto M., et. all., *Tensile Stress-Strain Analysis of Single Structure Steels*, Metal. And Materials Trans. A, Vol. 31A, July 2000, 1785.
- [22] Sellars C. M., *The Physical Metallurgy of Hot Working*, Proc. Int. Conf. On Hot Working and Forming Processes, Eds. C.M. Sellar and C.J. Davies, The Metal Society of London, 3-15 (1980).





## Lampiran 1. Hasil laporan Pengujian Komposisi



**CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA**  
**LABORATORIUM UJI MATERIAL**

Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia  
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA**  
**COMPOSITION TEST REPORT**

Page 1 of 1

<b>No Laporan</b>	0364	<b>Bahan</b>	Steel
<i>Report Nr</i>		<i>Material</i>	
<b>Pemakai Jasa</b>	Bagus (Mt'06)	<b>Identitas Bahan</b>	Mn Steel
<i>Customer</i>		<i>Material Identity</i>	
<b>Alamat</b>	-	<b>Tanggal Terima</b>	May 31 <sup>st</sup> , 2010
<i>Address</i>		<i>Receiving Date</i>	
<b>No Kontrak</b>	0662/PT.02/FT04/P/2010	<b>Standar</b>	ASTM A751
<i>Contract Nr.</i>		<i>Standard</i>	
<b>Tanggal Uji</b>	June 7 <sup>th</sup> , 2010	<b>Mesin Uji</b>	Optical Emission Spectrometer
<i>Date of Test</i>		<i>Testing machine</i>	

<b>Kode Sampel</b> <i>Sample Code</i>	<b>C</b> (%)	<b>Si</b> (%)	<b>S</b> (%)	<b>P</b> (%)	<b>Mn</b> (%)	<b>Ni</b> (%)	<b>Cr</b> (%)
<b>Mn Steel</b>	0.085	0.036	0.004	0.019	0.502	0.061	0.156
	<b>Mo</b> (%)	<b>Ti</b> (%)	<b>Cu</b> (%)	<b>Nb</b> (%)	<b>V</b> (%)	<b>Al</b> (%)	<b>Fe</b> (%)
	0.020	< 0.002	0.271	< 0.002	< 0.002	0.019	98.783

Depok, June 7<sup>th</sup>, 2010

**LABORATORIUM UJI MATERIAL**  
 Technical Manager,

(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

FF-26/Met-UI Rev 1

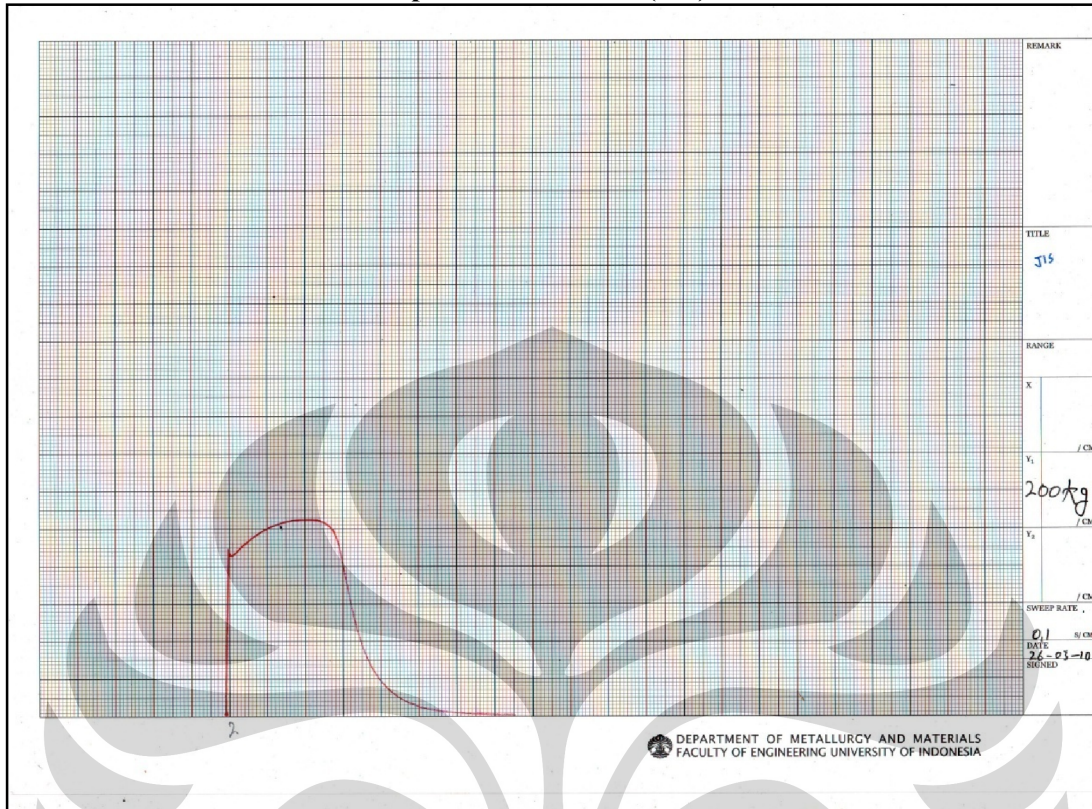
Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji Material ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji Material

**Universitas Indonesia**

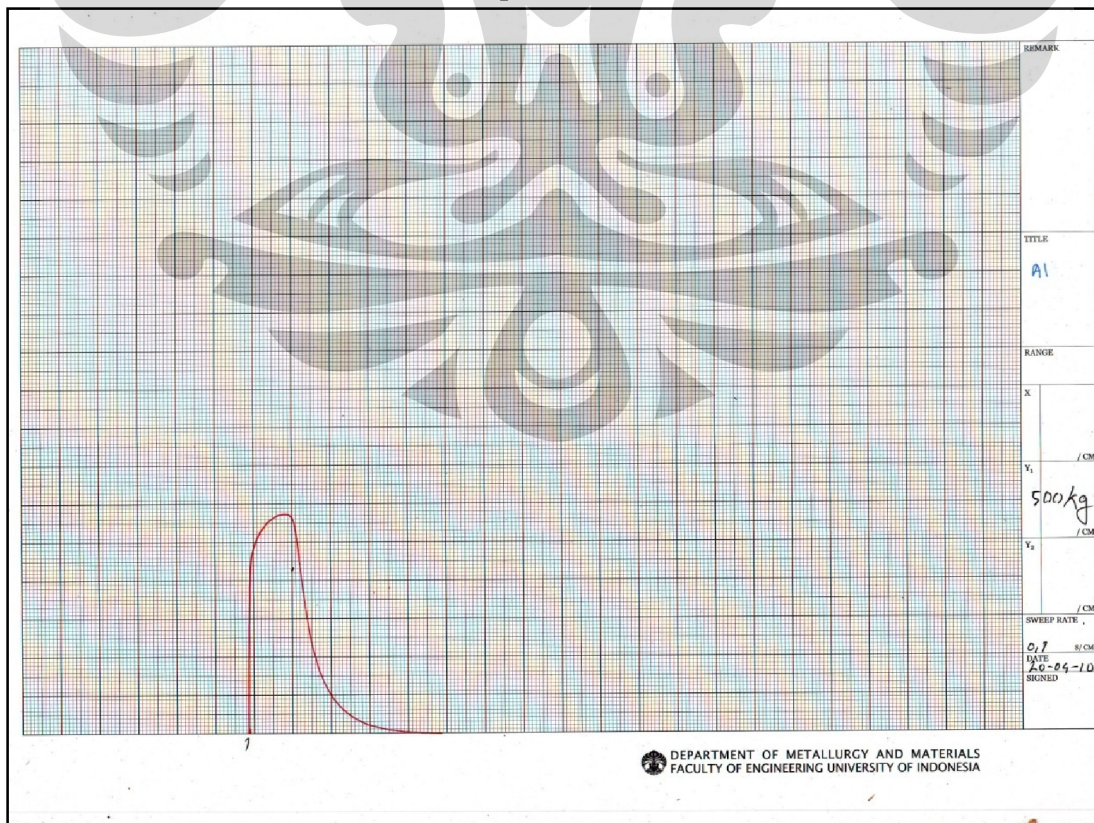


Lampiran 2. Kurva Hasil Pengujian Tarik

Spesimen Standard (JIS)



Spesimen A



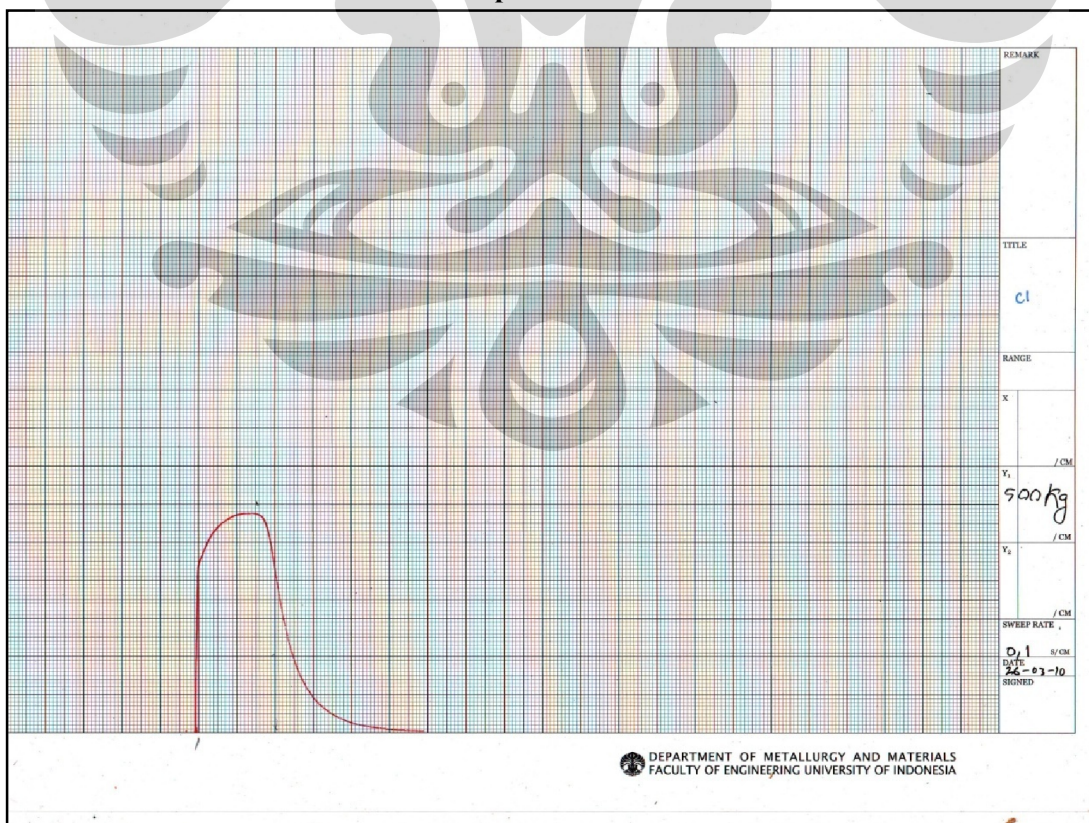


(Lanjutan)

### Spesimen B

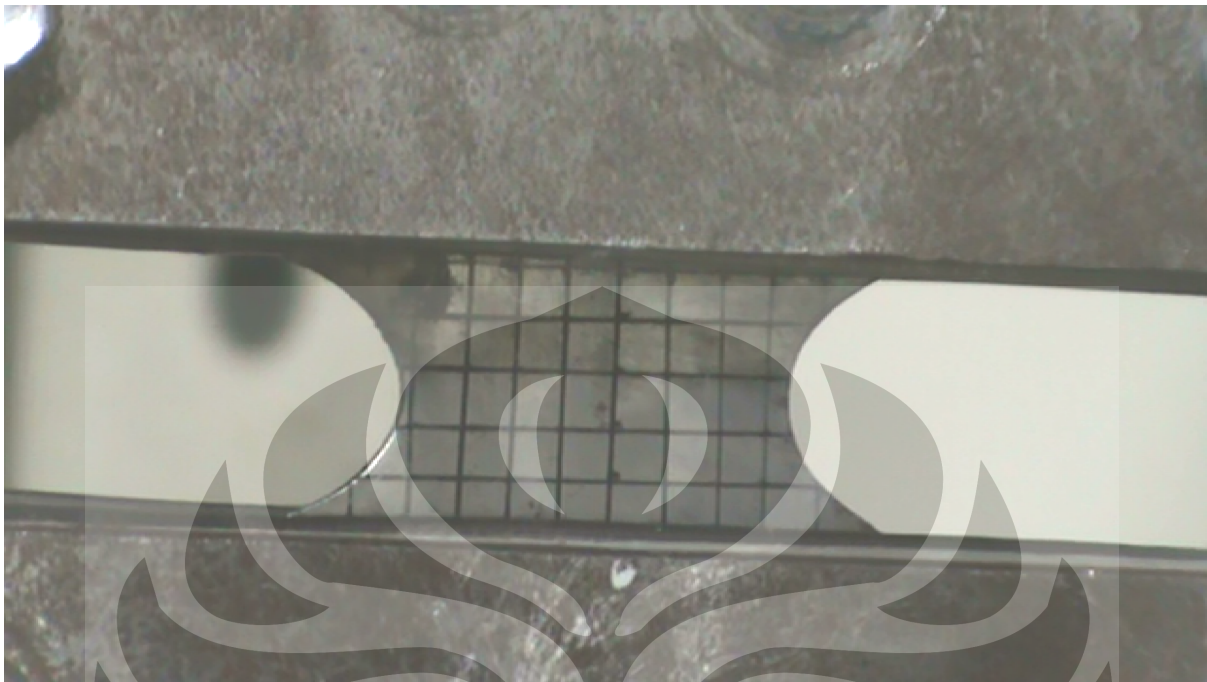


### Spesimen C



Universitas Indonesia

## Lampiran 3. Data Visual Spesimen A

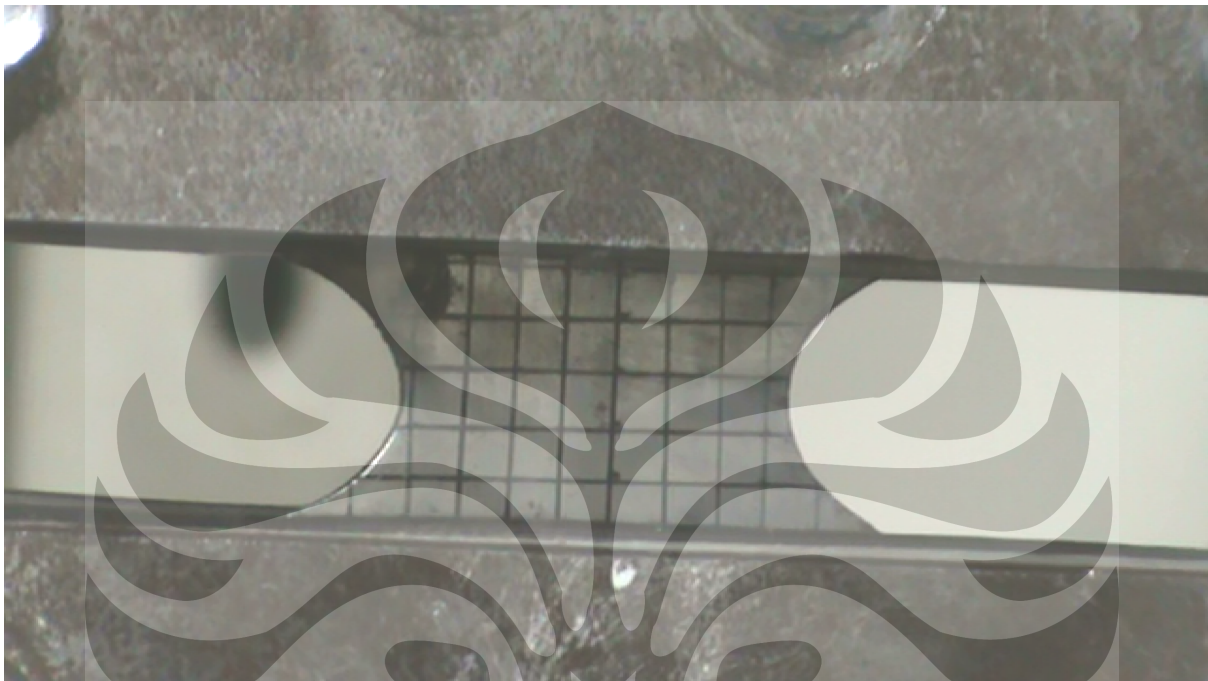


## Spesimen A Awal

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	16,64 16,14	16,28 15,1	16,28 15,38	16,28 15,94	16,28 16,28	16,28 17,04	16,28 14,82
2	16,64 16,74	16,64 15,1	16,64 15,38	16,64 15,94	16,64 16,28	16,64 17,04	16,64 14,82
3	15,90 16,74	15,90 15,1	15,90 15,38	15,90 15,94	15,90 16,28	15,90 17,04	15,90 14,82



## Lampiran 4. Pengolahan Data Spesimen A

Data Spesimen A pada titik *Yield*

		Perubahan dimensi pada titik <i>yield</i> (satuan panjang)						
		1	2	3	4	5	6	7
		16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1		16,64	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
		16,14	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
2		18,12	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12
		16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
3		15,90	15,90	15,90	15,90	15,90	15,90	15,90
		16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

Universitas Indonesia

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik Yield**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik Yield**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	<b>0,0852</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>

**FLD Spesimen A pada titik Yield**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen A pada titik 1,15 Yield**

**Perubahan dimensi pada titik 1,155 Yield (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	16,64	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
	16,14	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
2	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
3	15,90	15,90	15,90	15,90	15,90	15,90	15,90
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

Universitas Indonesia



(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik 1,15 Yield**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik 1,15 Yield**

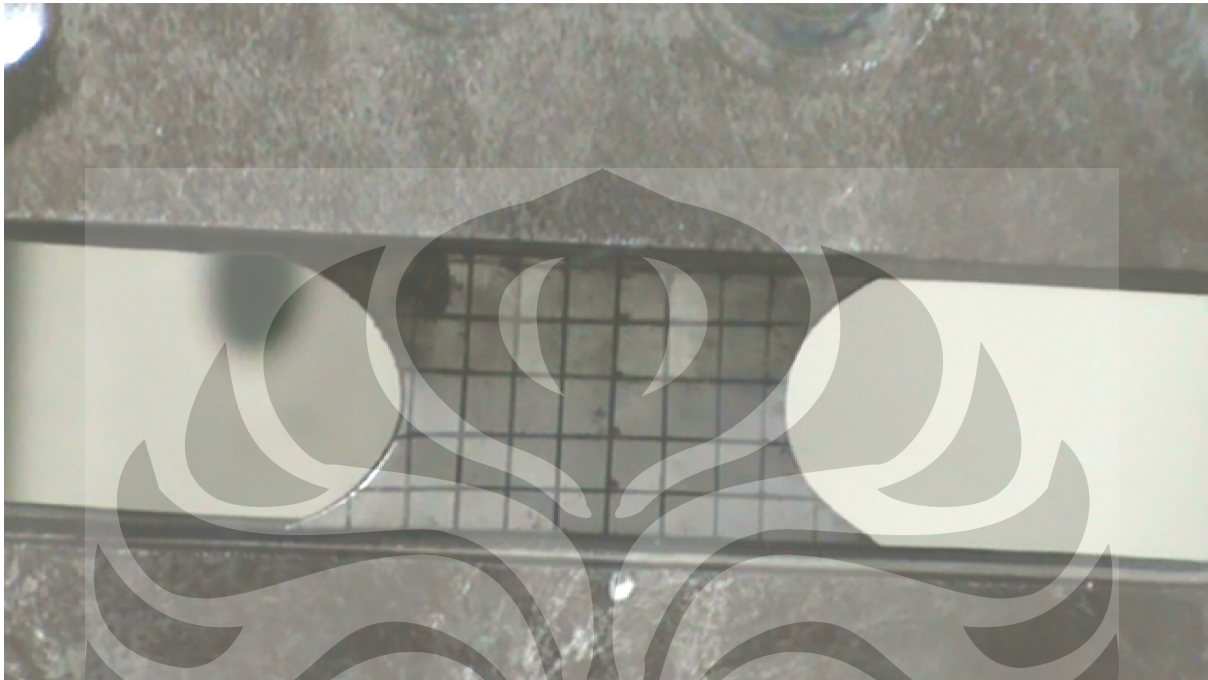
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	<b>0,0852</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0284</b>

**FLD Spesimen A pada titik 1,15 Yield**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen A pada titik sesaat sebelum UTS**

**Perubahan dimensi sesaat sebelum UTS (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	16,64	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
	16,14	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
2	18,34	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12	18,12
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
3	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

Universitas Indonesia

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik sesaat sebelum UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik sesaat sebelum UTS**

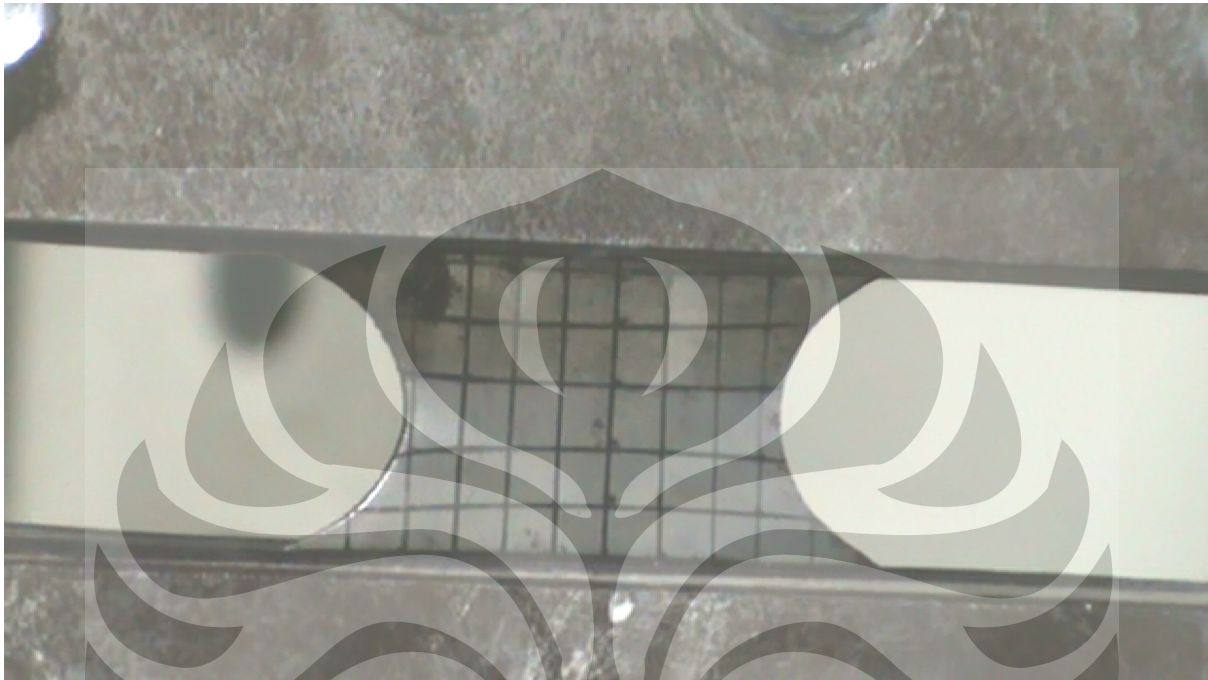
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0973	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	0,0852	<b>0,0869</b>
3	0,0739	0,0739	0,0739	0,0739	0,0739	0,0739	0,0739	<b>0,0739</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0571</b>	<b>0,0530</b>	<b>0,0530</b>	<b>0,0530</b>	<b>0,0530</b>	<b>0,0530</b>	<b>0,0530</b>	<b>0,0536</b>

**FLD Spesimen A pada titik sesaat sebelum UTS**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen A pada titik UTS**

**Perubahan dimensi pada titik UTS (Satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	17,46	18,34	18,34	18,34	18,34	18,7	19,98
	16,14	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
2	23,24	22,54	20,12	20,12	20,12	20,12	21,96
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
3	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

Universitas Indonesia

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik UTS**

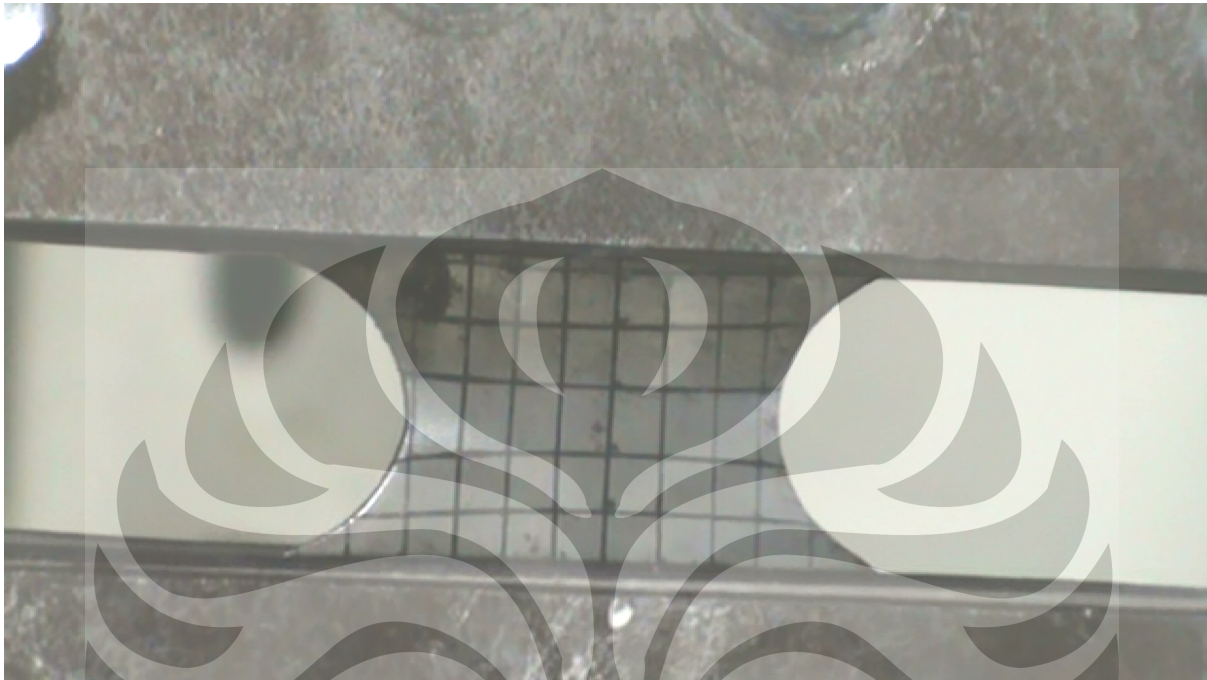
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0481	0,1191	0,1191	0,1191	0,1191	0,1386	0,2048	<b>0,1240</b>
2	0,3341	0,3035	0,1899	0,1899	0,1899	0,1899	0,2774	<b>0,2392</b>
3	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	<b>0,1296</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1706</b>	<b>0,1841</b>	<b>0,1462</b>	<b>0,1462</b>	<b>0,1462</b>	<b>0,1527</b>	<b>0,2039</b>	<b>0,1643</b>

**FLD Spesimen A pada titik UTS**

Baris \ Kolom								$\beta_{avarege}$
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen A pada titik sesaat setelah UTS**

**Perubahan dimensi sesaat setelah UTS (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	17,46	18,34	18,34	18,34	18,34	18,7	19,98
	14,64	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	13,66
2	24,74	22,96	21,58	21,58	21,58	21,68	21,78
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
3	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

**Universitas Indonesia**

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik sesaat setelah UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0889	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0754	<b>0,0235</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0296</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0251</b>	<b>0,0078</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik sesaat setelah UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0481	0,1191	0,1191	0,1191	0,1191	0,1386	0,2048	<b>0,1240</b>
2	0,3966	0,3219	0,2600	0,2600	0,2600	0,2646	0,2692	<b>0,2903</b>
3	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	<b>0,1296</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1914</b>	<b>0,1902</b>	<b>0,1696</b>	<b>0,1696</b>	<b>0,1696</b>	<b>0,1776</b>	<b>0,2012</b>	<b>0,1813</b>

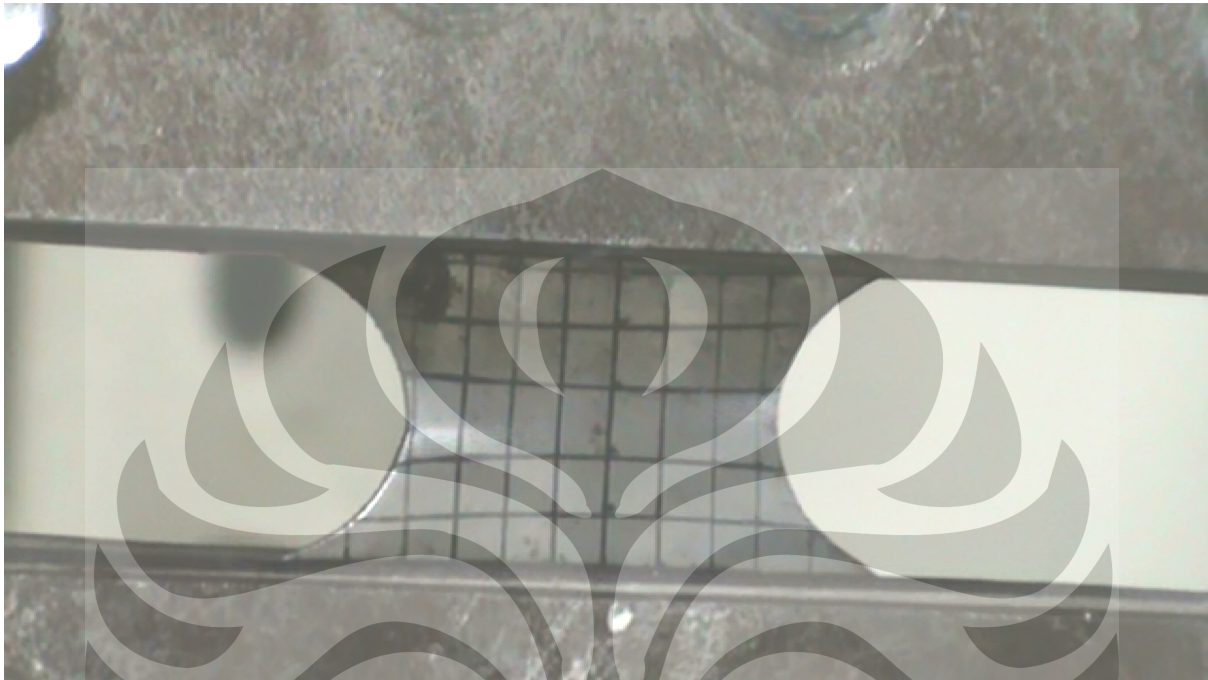
**FLD Spesimen A pada titik sesaat setelah UTS**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,2241	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2800	<b>0,0720</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0747</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0933</b>	<b>0,0240</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$



(Lanjutan)



Data Spesimen A pada titik sesaat sebelum *Rupture*

Perubahan dimensi sesaat sebelum *Rupture* (satuan panjang)

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	17,46	18,34	18,34	18,34	18,34	18,7	19,98
	14,64	14,42	15,38	15,94	16,28	17,04	13,66
2	25,06	23,5	22,56	21,68	21,68	22,56	23,34
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	13,52
3	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

Universitas Indonesia



(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik sesaat sebelum *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0889	0,0440	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0754	<b>0,0298</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0841	<b>0,0120</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0296</b>	<b>0,0147</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0531</b>	<b>0,0139</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik sesaat sebelum *Rupture***

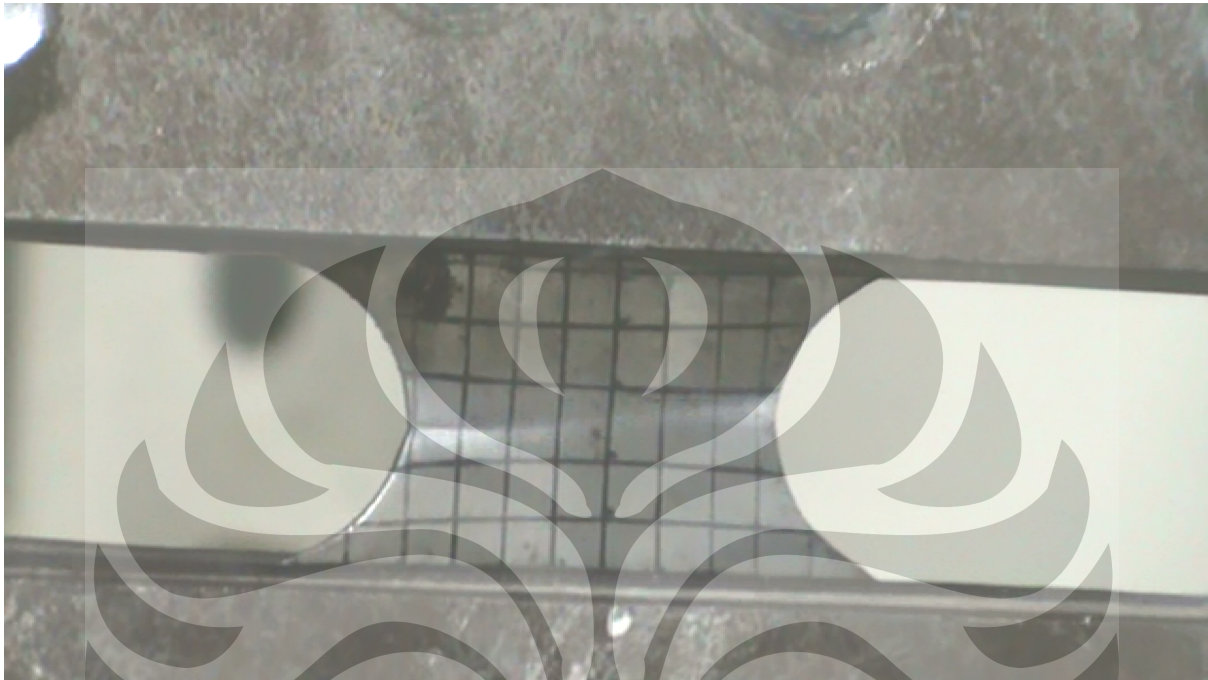
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0481	0,1191	0,1191	0,1191	0,1191	0,1386	0,2048	<b>0,1240</b>
2	0,4095	0,3452	0,3044	0,2646	0,2646	0,3044	0,3384	<b>0,3187</b>
3	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	<b>0,1296</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1957</b>	<b>0,1980</b>	<b>0,1844</b>	<b>0,1711</b>	<b>0,1711</b>	<b>0,1908</b>	<b>0,2242</b>	<b>0,1908</b>

**FLD Spesimen A pada titik sesaat sebelum *Rupture***

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,2170	0,1276	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2227	<b>0,0811</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6488	<b>0,0927</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0723</b>	<b>0,0425</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2905</b>	<b>0,0579</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen A pada titik *Rupture***

**Perubahan dimensi pada titik *Rupture* (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82
1	17,46	18,34	18,34	18,34	18,34	19,98	19,98
	14,64	14,42	15,38	15,94	16,28	17,04	13,66
2	27,86	25,04	24,52	23,46	23,46	24,22	24,72
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	13,52
3	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10	18,10
	16,74	15,1	15,38	15,94	16,28	17,04	14,82

Universitas Indonesia

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen A pada titik *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0889	0,0440	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0754	<b>0,0298</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0841	<b>0,0120</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0296</b>	<b>0,0147</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0531</b>	<b>0,0139</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen A pada titik *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0481	0,1191	0,1191	0,1191	0,1191	0,2048	0,2048	<b>0,1335</b>
2	0,5154	0,4087	0,3877	0,3435	0,3435	0,3754	0,3958	<b>0,3957</b>
3	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	<b>0,1296</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,2310</b>	<b>0,2191</b>	<b>0,2121</b>	<b>0,1974</b>	<b>0,1974</b>	<b>0,2366</b>	<b>0,2434</b>	<b>0,2196</b>

**FLD Spesimen A pada titik *Rupture***

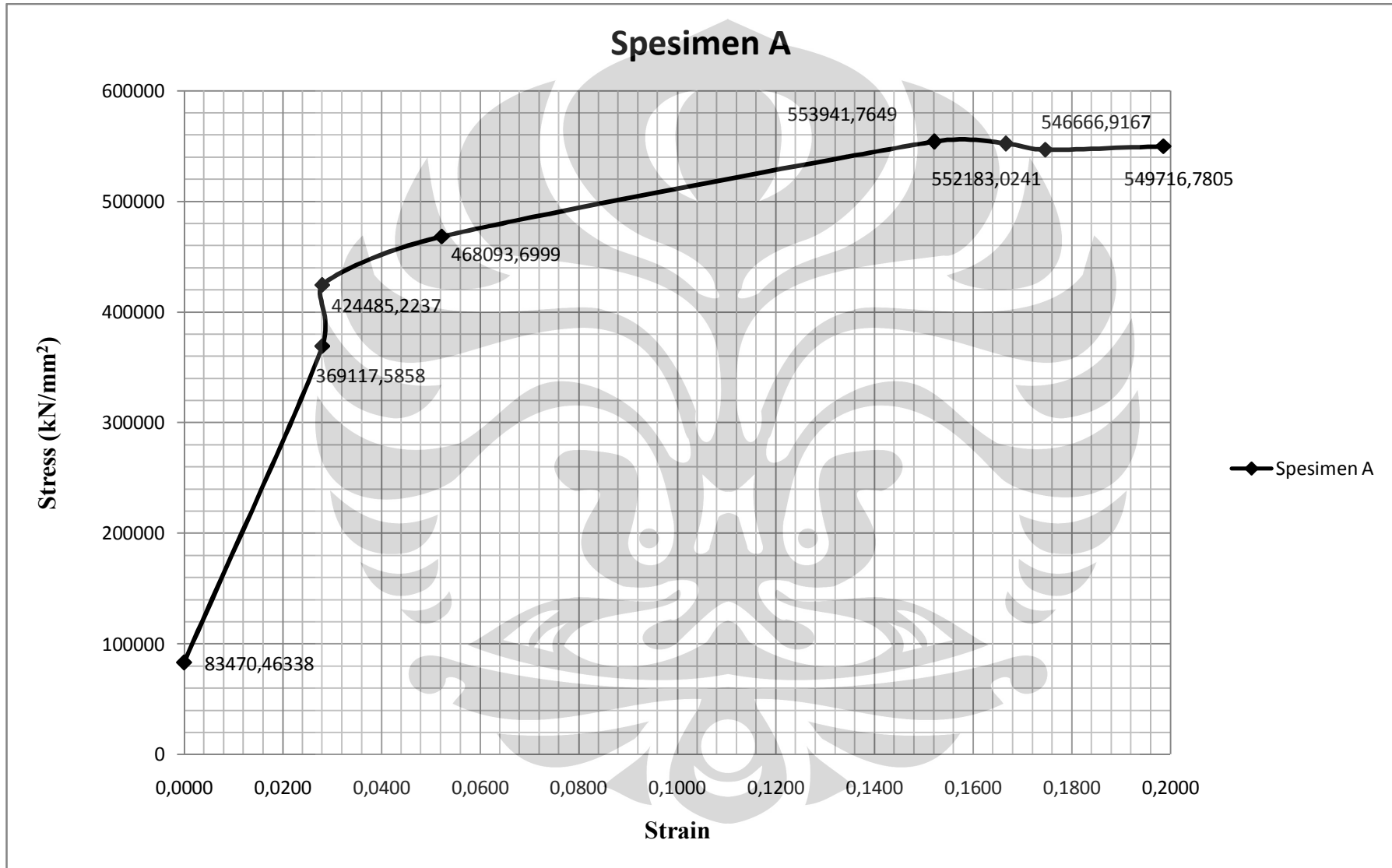
Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,1724	0,1078	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1904	<b>0,0672</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6488	<b>0,0927</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0575</b>	<b>0,0359</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2797</b>	<b>0,0533</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

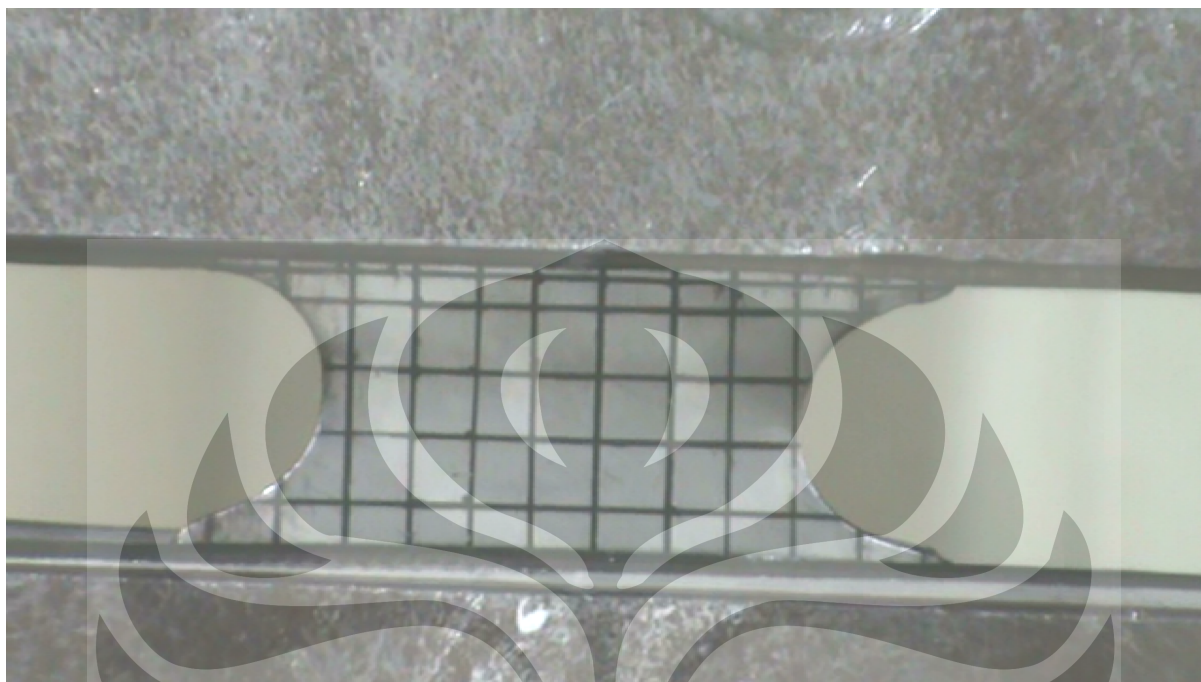
(Lanjutan)

## Spesimen A

Titik	F	e pada								Ao	Ai	S (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$	Strain
		1	2	3	4	5	6	7	rata-rata					
0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	58,7034	58,7034	8,52	83470,46	0,0000
YS	2150	0,02840	0,02840	0,02840	0,02840	0,02840	0,02840	0,02840	0,028403	58,7034	57,08208	36,62	369117,6	0,0280
PS	2472,5	0,028403	0,028403	0,028403	0,028403	0,028403	0,028403	0,028403	0,028403	58,7034	57,08208	42,12	424485,2	0,0280
3	2661,25	0,05707	0,05305	0,05305	0,05305	0,05305	0,05305	0,05305	0,053621	58,7034	55,71587	45,33	468093,7	0,0522
UTS	2850	0,17059	0,18408	0,14622	0,14622	0,14622	0,15270	0,20393	0,164277	58,7034	50,42046	48,55	553941,8	0,1521
5	2800	0,19144	0,19023	0,16957	0,16957	0,16957	0,17759	0,20119	0,181305	58,7034	49,69367	47,70	552183	0,1666
6	2750	0,19572	0,19798	0,18437	0,17111	0,17111	0,19085	0,22425	0,190768	58,7034	49,29876	46,85	546666,9	0,1746
Rupture	2700	0,23103	0,21914	0,21214	0,19741	0,19741	0,23659	0,24340	0,219586	58,7034	48,13388	45,99	549716,8	0,1985



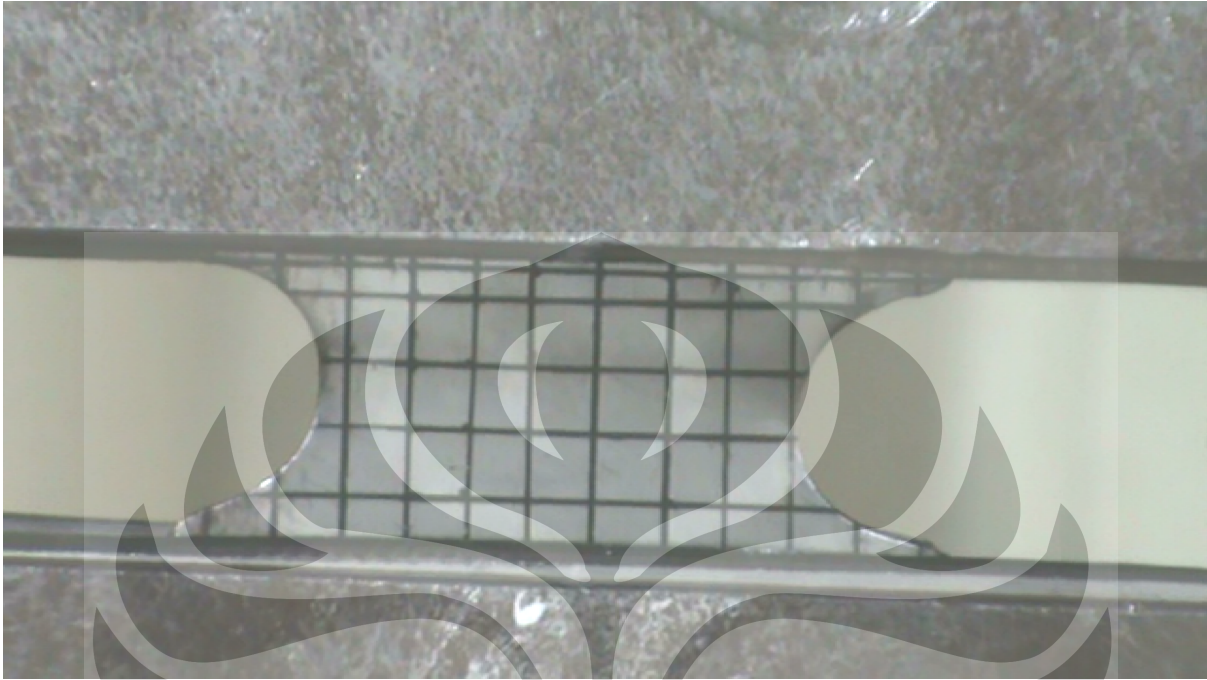
## Lampiran 5. Data Visual Spesimen B



**Spesimen B Awal**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

## Lampiran 6. Pengolahan Data Spesimen B

Data Spesimen B pada titik *Yield*

		Perubahan dimensi pada titik <i>yield</i> (satuan panjang)						
		1	2	3	4	5	6	7
		19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	20,09	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96	
2	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96	
3	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96	

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik *Yield***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik *Yield***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,2103	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2103	<b>0,0601</b>
2	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	<b>0,2103</b>
3	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	<b>0,2103</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,2103</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,2103</b>	<b>0,1602</b>

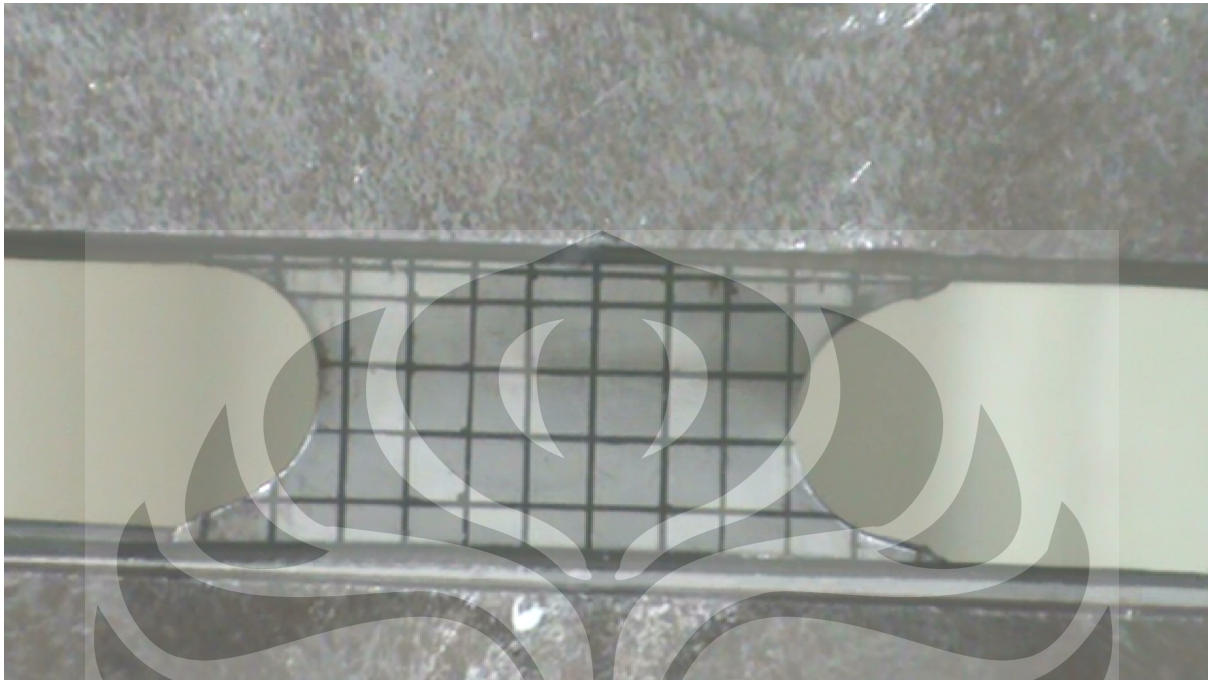
**FLD Spesimen B pada titik *Yield***

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$



(Lanjutan)



**Data Spesimen B pada titik 1,155 Yield**

**Perubahan dimensi pada titik 1,155 Yield (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	20,09	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik 1,155 Yield**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik 1,155 Yield**

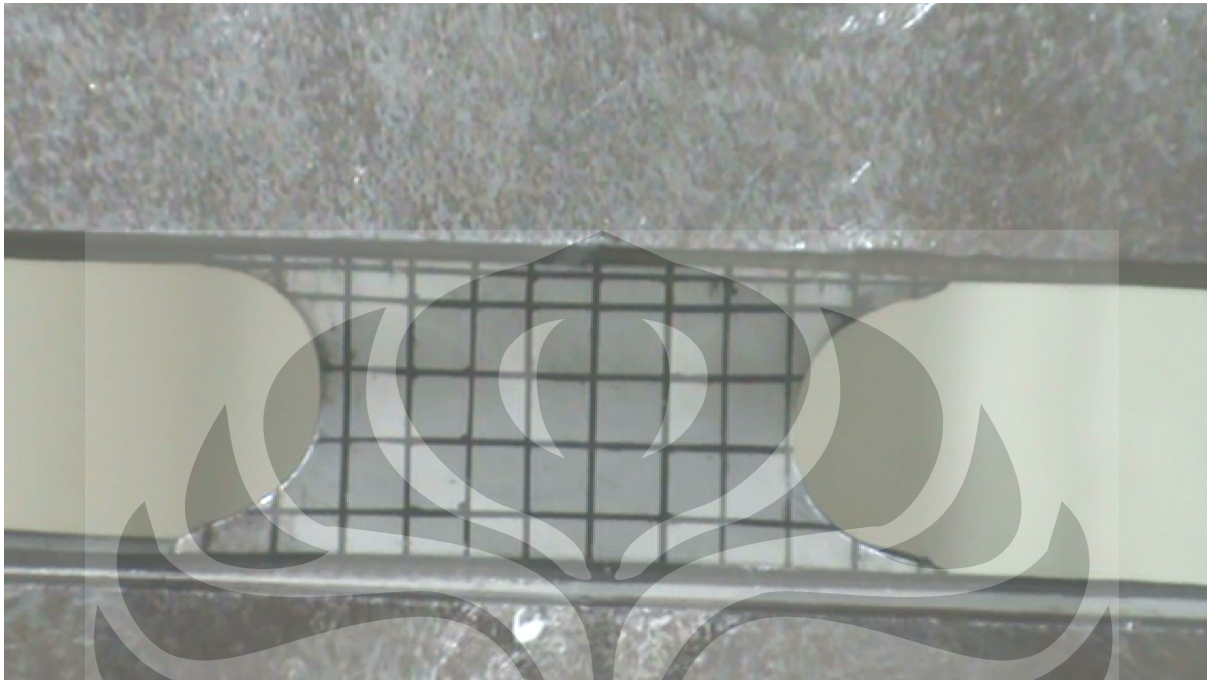
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,2103	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2103	<b>0,0601</b>
2	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	<b>0,2103</b>
3	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	<b>0,2103</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,2103</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,1402</b>	<b>0,2103</b>	<b>0,1602</b>

**FLD Spesimen B pada titik 1,155 Yield**

Kolom \ Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen B pada titik sesaat sebelum UTS**

**Perubahan dimensi sesaat sebelum UTS (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	20,09	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68	22,68
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik sesaat sebelum UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik sesaat sebelum UTS**

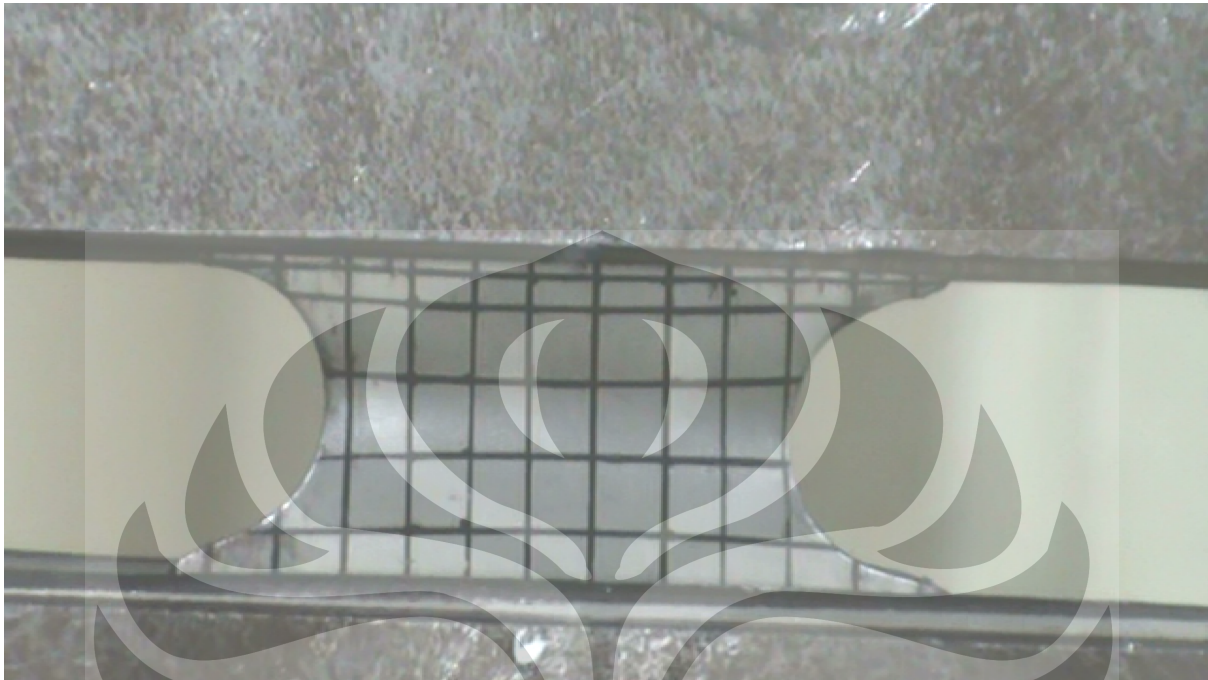
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,2103	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2103	<b>0,0601</b>
2	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	0,2103	<b>0,2103</b>
3	0,3315	0,3315	0,3315	0,3315	0,3315	0,3315	0,3315	<b>0,3315</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,2507</b>	<b>0,1806</b>	<b>0,1806</b>	<b>0,1806</b>	<b>0,1806</b>	<b>0,1806</b>	<b>0,2507</b>	<b>0,2006</b>

**FLD Spesimen B pada titik sesaat sebelum UTS**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



### Data Spesimen B pada titik UTS

**Perubahan dimensi pada titik UTS (Satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	24,88	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	24,88
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56	23,56
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	<b>0,3696</b>
2	0,4241	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,4241	<b>0,3852</b>
3	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	0,3696	<b>0,3696</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,3878</b>	<b>0,3696</b>	<b>0,3696</b>	<b>0,3696</b>	<b>0,3696</b>	<b>0,3696</b>	<b>0,3878</b>	<b>0,3748</b>

**FLD Spesimen B pada titik UTS**

Kolom \ Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$



(Lanjutan)



**Data Spesimen B pada titik sesaat setelah UTS**

**Perubahan dimensi sesaat setelah UTS (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	26,38	24,88	23,64	23,64	23,64	24,88	26,38
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik sesaat setelah UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik sesaat setelah UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	<b>0,3730</b>
2	0,4827	0,4241	0,3730	0,3730	0,3730	0,4241	0,4827	<b>0,4189</b>
3	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	<b>0,3730</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,4096</b>	<b>0,3900</b>	<b>0,3730</b>	<b>0,3730</b>	<b>0,3730</b>	<b>0,3900</b>	<b>0,4096</b>	<b>0,3883</b>

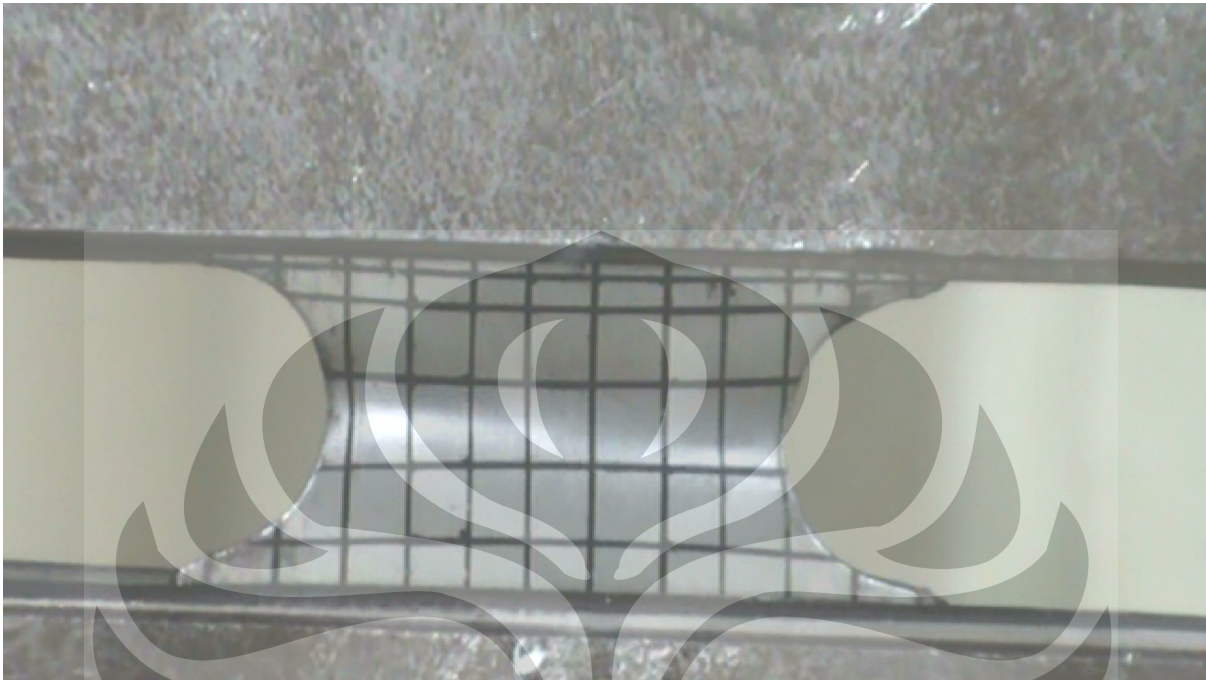
**FLD Spesimen B pada titik sesaat setelah UTS**

Kolom \ Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$



(Lanjutan)



**Data Spesimen B pada titik sesaat sebelum *Rupture***

**Perubahan dimensi sesaat sebelum *Rupture* (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	27,96	26,28	26,28	25,18	26,28	26,28	27,96
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik sesaat sebelum *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik sesaat sebelum *Rupture***

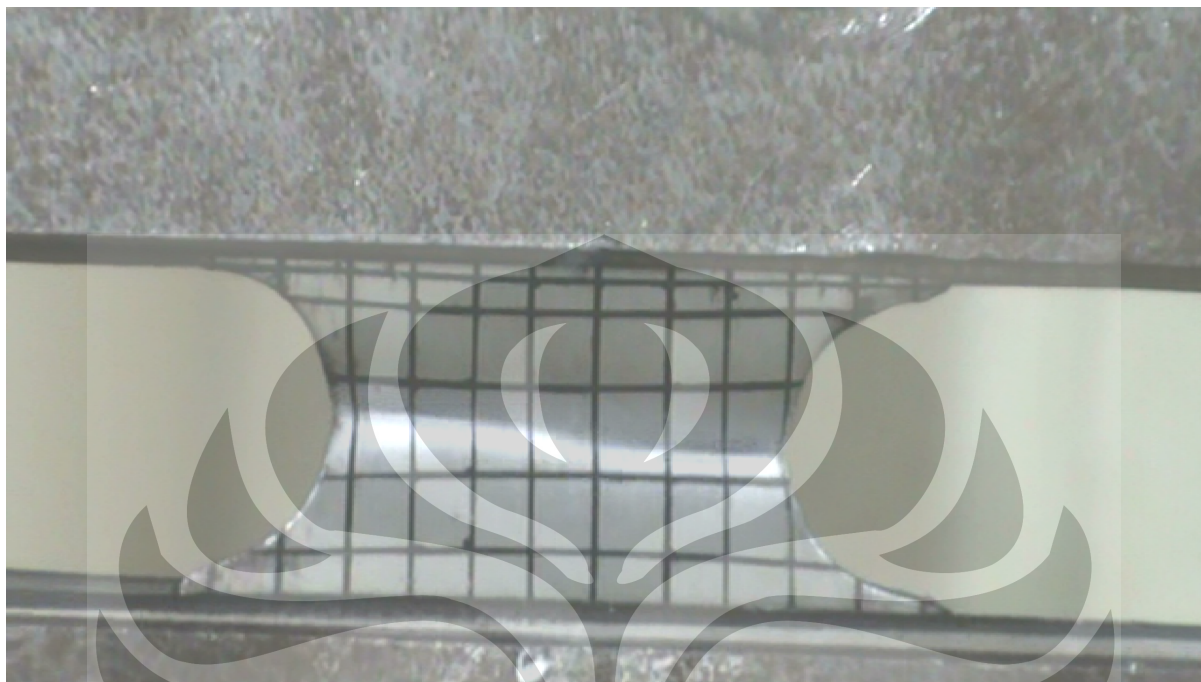
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	<b>0,3730</b>
2	0,5408	0,4789	0,4789	0,4361	0,4789	0,4789	0,5408	<b>0,4905</b>
3	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	<b>0,3730</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,4289</b>	<b>0,4083</b>	<b>0,4083</b>	<b>0,3940</b>	<b>0,4083</b>	<b>0,4083</b>	<b>0,4289</b>	<b>0,4122</b>

**FLD Spesimen B pada titik sesaat sebelum *Rupture***

Kolom \ Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen B pada titik *Rupture***

**Perubahan dimensi pada titik *Rupture* (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
1	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
2	29,42	27,9	27,9	26,28	27,9	27,9	29,42
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96
3	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64	23,64
	19,96	19,96	17,06	19,96	22,32	17,06	19,96

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen B pada titik *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen B pada titik *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	<b>0,3730</b>
2	0,5917	0,5387	0,5387	0,4789	0,5387	0,5387	0,5917	<b>0,5453</b>
3	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	0,3730	<b>0,3730</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,4459</b>	<b>0,4282</b>	<b>0,4282</b>	<b>0,4083</b>	<b>0,4282</b>	<b>0,4282</b>	<b>0,4459</b>	<b>0,4304</b>

**FLD Spesimen B pada titik *Rupture***

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

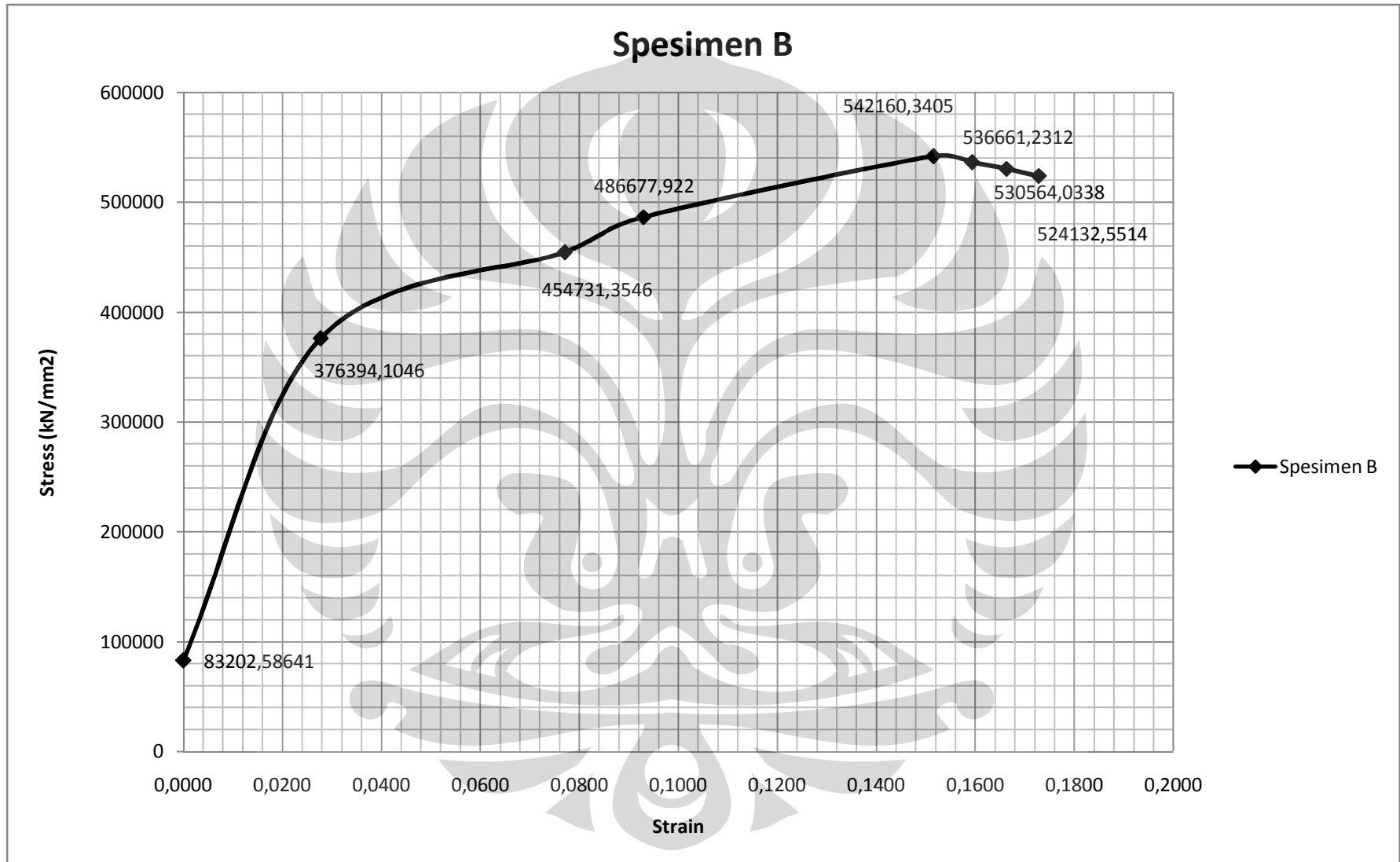
Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)

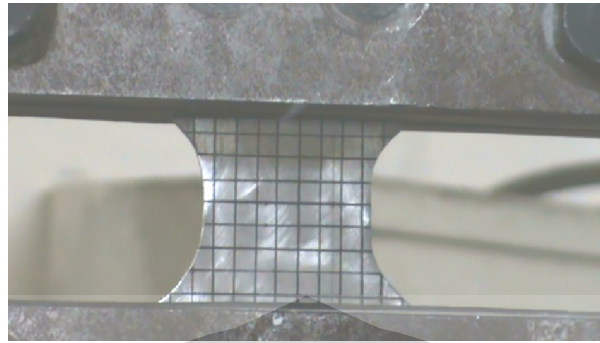
## Spesimen B

Titik	F	e pada								Ao	Ai	S (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$	Strain
		1	2	3	4	5	6	7	rata-rata					
0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	58,8924	58,8924	8,49	83202,59	0,0000
YS	2200	0,210286	0,140191	0,140191	0,140191	0,140191	0,140191	0,02840	0,134235	58,8924	51,92258	37,36	415233,6	0,1260
PS	2530	0,21029	0,14019	0,14019	0,14019	0,14019	0,14019	0,21029	0,160218	58,8924	50,75977	42,96	488457,7	0,1486
3	2665	0,25071	0,18061	0,18061	0,18061	0,18061	0,18061	0,25071	0,200638	58,8924	49,0509	45,25	532446,9	0,1829
UTS	2800	0,38779	0,36961	0,36961	0,36961	0,36961	0,36961	0,38779	0,374806	58,8924	42,83689	47,54	640569,4	0,3183
5	2750	0,40956	0,39004	0,37300	0,37300	0,37300	0,39004	0,40956	0,388316	58,8924	42,42002	46,70	635313,2	0,3281
6	2700	0,42895	0,40829	0,40829	0,39404	0,40829	0,40829	0,42895	0,412158	58,8924	41,70384	45,85	634473,9	0,3451
Rupture	2650	0,44591	0,42823	0,42823	0,40829	0,42823	0,42823	0,44591	0,430435	58,8924	41,17096	45,00	630784,4	0,3580

(Lanjutan)



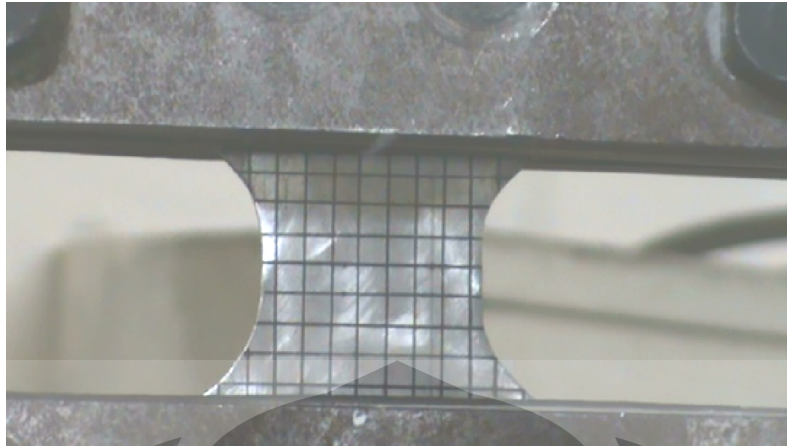
Lampiran 7. Data Visual Spesimen C



**Spesimen C Awal**

	1	2	3	4	5	6	7
1	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14
2	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14
3	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14
4	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14
5	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14
6	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14
7	13,54 13,14	13,54 13,14	11,46 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14	13,54 13,14

## Lampiran 8. Perhitungan Data Spesimen C

Data Spesimen C pada titik *Yield*

		Perubahan dimensi pada titik <i>yield</i> (satuan panjang)						
		1	2	3	4	5	6	7
		13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
2	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
3	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
4	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
5	15,06	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
6	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54
7	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48	13,48
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54	13,54



(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik Yield**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik Yield**

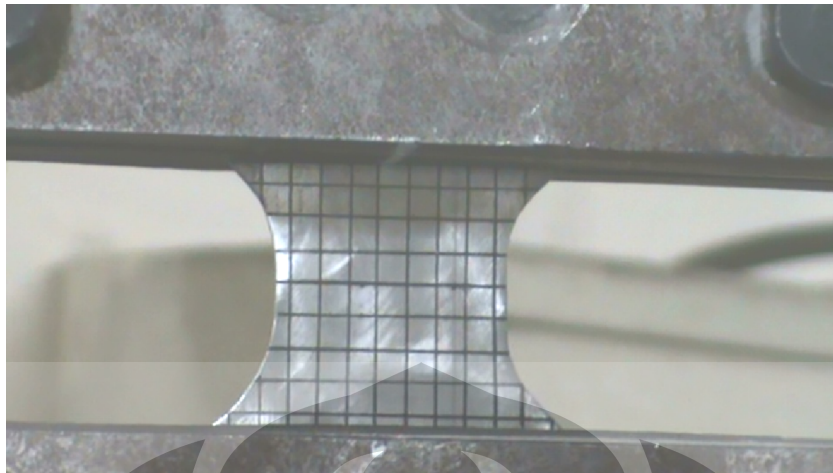
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
4	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
5	0,1364	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	<b>0,0452</b>
6	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
7	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0341</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0211</b>

**FLD Spesimen C pada titik Yield**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



**Data Spesimen C pada titik 1,155 Yield**

**Perubahan dimensi pada titik 1,155 Yield (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	13,14 13,54	13,14 13,54	13,14 11,46	13,14 13,54	13,14 13,54	13,14 13,54	13,14 13,54
2	13,14 13,54	13,14 13,54	13,14 11,46	13,14 13,54	13,14 13,54	13,14 13,54	13,14 13,54
3	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 11,46	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54
4	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 11,46	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54
5	15,06 13,54	13,54 13,54	13,54 11,46	13,54 13,54	13,54 13,54	13,54 13,54	13,54 13,54
6	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 11,46	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54
7	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 11,46	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54	13,48 13,54

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik 1,155 Yield**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik 1,155 Yield**

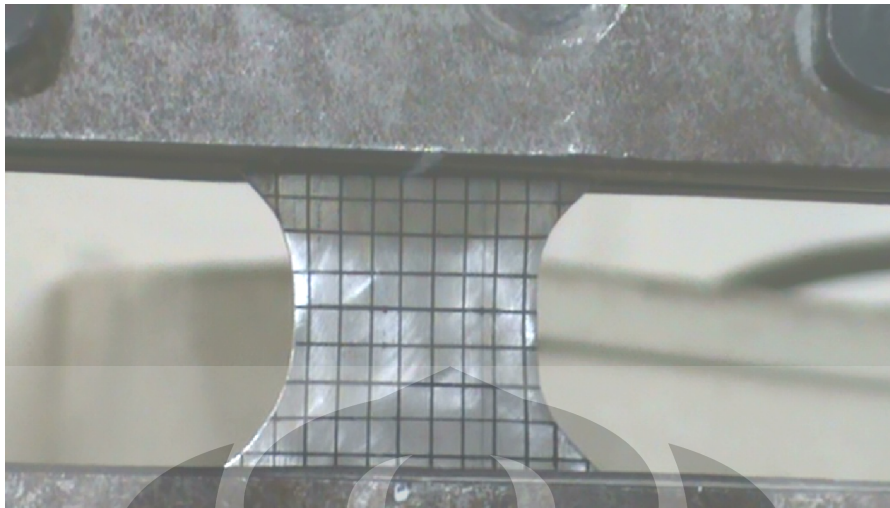
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
4	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
5	0,1364	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	<b>0,0452</b>
6	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
7	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	<b>0,0255</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0341</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0189</b>	<b>0,0211</b>

**FLD Spesimen C pada titik 1,155 Yield**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



Data Spesimen C pada titik sesaat sebelum UTS

**Perubahan dimensi sesaat sebelum UTS (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
2	16,54 13,54	16,54 13,54	16,54 11,46	16,54 13,54	16,54 13,54	16,54 13,54	16,54 13,54
3	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
4	15,84 13,54	15,84 13,54	15,84 11,46	15,84 13,54	15,84 13,54	15,84 13,54	15,84 13,54
5	15,84 13,54	15,84 13,54	15,84 11,46	15,84 13,54	15,84 13,54	15,84 13,54	15,84 13,54
6	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
7	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik sesaat sebelum UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik sesaat sebelum UTS**

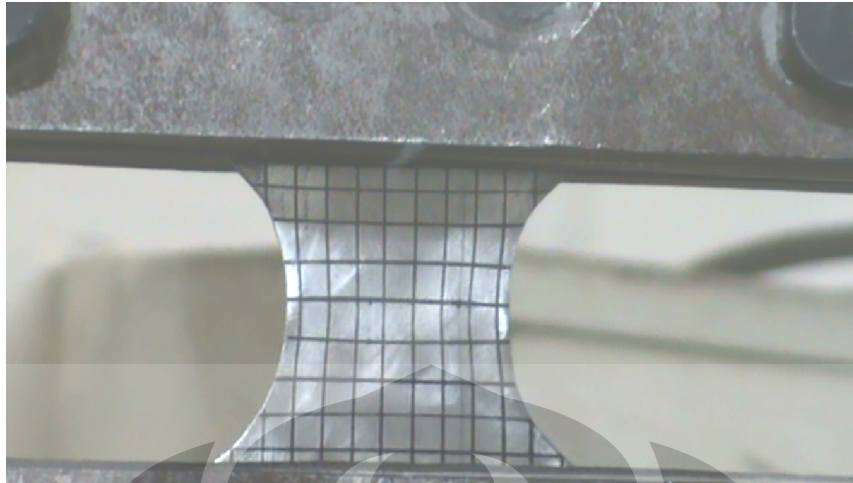
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
2	0,2301	0,2301	0,2301	0,2301	0,2301	0,2301	0,2301	<b>0,2301</b>
3	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
4	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	<b>0,1869</b>
5	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	0,1869	<b>0,1869</b>
6	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
7	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>	<b>0,1306</b>

**FLD Spesimen C pada titik sesaat sebelum UTS**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



### Data Spesimen C pada titik UTS

**Perubahan dimensi pada titik UTS (Satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
2	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 11,46	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
3	15,9 13,54	15,9 13,54	15,9 11,46	15,9 13,54	15,9 13,54	15,9 13,54	15,9 13,54
4	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 11,46	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
5	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 11,46	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 13,54
6	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
7	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 11,46	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik UTS**

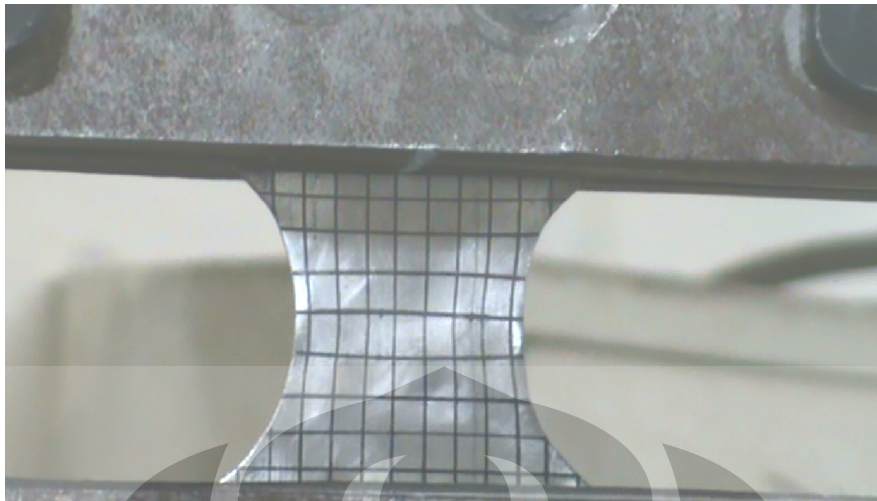
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
2	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	<b>0,2750</b>
3	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	<b>0,1907</b>
4	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	<b>0,2750</b>
5	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	<b>0,2750</b>
6	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
7	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	<b>0,1509</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>	<b>0,1888</b>

**FLD Spesimen C pada titik UTS**

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



Data Spesimen C pada titik sesaat setelah UTS

**Perubahan dimensi sesaat setelah UTS (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
2	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 11,46	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
3	15,9 13,54	15,9 13,54	15,9 11,46	15,9 13,54	17,5 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
4	17,3 13,54	18,24 13,54	19,04 11,46	19,04 13,54	18,24 13,54	17,46 13,54	18,04 13,54
5	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 11,46	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 13,54	18,34 13,54
6	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
7	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 11,46	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54



(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik sesaat setelah UTS**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik sesaat setelah UTS**

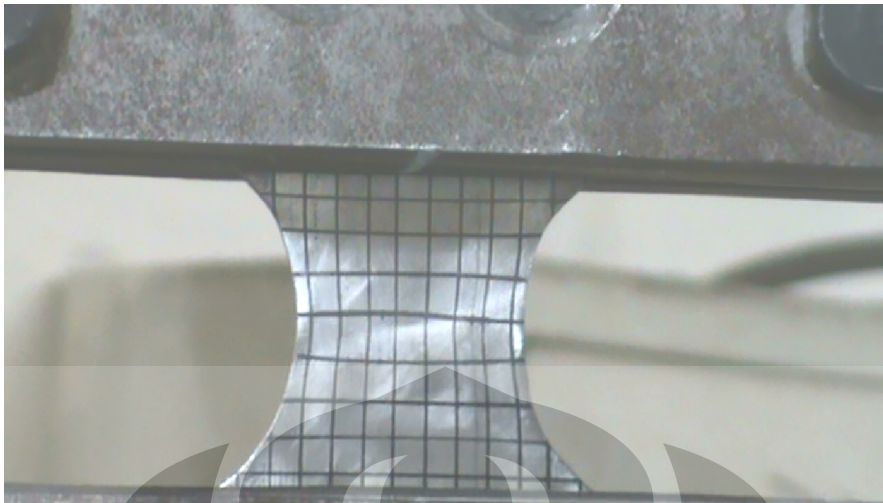
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
2	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	<b>0,2750</b>
3	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,2865	0,2750	0,2750	<b>0,2285</b>
4	0,2750	0,3280	0,3709	0,3709	0,3280	0,2843	0,3169	<b>0,3248</b>
5	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,3334	<b>0,2834</b>
6	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
7	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	<b>0,1509</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1888</b>	<b>0,1964</b>	<b>0,2025</b>	<b>0,2025</b>	<b>0,2101</b>	<b>0,2022</b>	<b>0,2152</b>	<b>0,2025</b>

**FLD Spesimen C pada titik sesaat setelah UTS**

Kolom	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
Baris								
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)

Data Spesimen C pada titik sesaat sebelum *Rupture*

**Perubahan dimensi sesaat sebelum *Rupture* (satuan panjang)**

	1	2	3	4	5	6	7
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
2	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 11,46	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
3	15,9 13,54	15,9 13,54	15,9 11,46	15,9 13,54	17,5 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
4	18,3 13,54	19,56 13,54	20,7 11,46	20,7 13,54	19,56 13,54	18,3 13,54	18,04 13,54
5	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 11,46	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 13,54	18,34 13,54
6	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
7	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 11,46	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik sesaat sebelum *Rupture***

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik sesaat sebelum *Rupture***

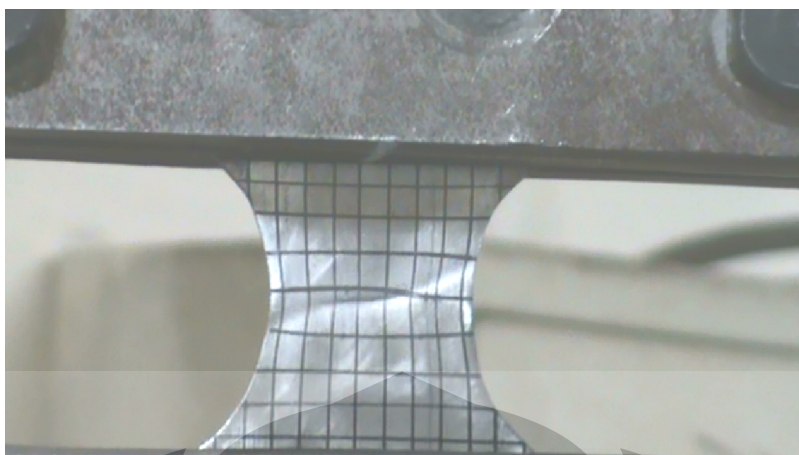
BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
2	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	<b>0,2750</b>
3	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,2865	0,2750	0,2750	<b>0,2285</b>
4	0,3312	0,3978	0,4545	0,4545	0,3978	0,3312	0,3169	<b>0,3834</b>
5	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,3334	<b>0,2834</b>
6	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
7	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	<b>0,1509</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,1969</b>	<b>0,2064</b>	<b>0,2145</b>	<b>0,2145</b>	<b>0,2201</b>	<b>0,2089</b>	<b>0,2152</b>	<b>0,2109</b>

**FLD Spesimen C pada titik sesaat sebelum *Rupture***

Kolom Baris	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{Minor (Horizontal)} / \epsilon_{Mayor (Vertikal)}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)



### Data Spesimen C pada titik *Rupture*

#### Perubahan dimensi pada titik *Rupture* (satuan panjang)

	1	2	3	4	5	6	7
	13,54	13,54	11,46	13,54	13,54	13,54	13,54
1	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
2	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 11,46	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
3	15,9 13,54	15,9 13,54	15,9 11,46	15,9 13,54	17,5 13,54	17,3 13,54	17,3 13,54
4	19,72 13,54	21,56 13,54	22,36 11,46	22,36 13,54	21,56 13,54	18,3 13,54	18,04 13,54
5	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 11,46	17,30 13,54	17,30 13,54	17,30 13,54	18,34 13,54
6	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 11,46	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54	14,2 13,54
7	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 11,46	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54	15,28 13,54

(Lanjutan)

 **$\epsilon$  Minor (Horizontal) Spesimen C pada titik Rupture**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

 **$\epsilon$  Mayor (Vertikal) Spesimen C pada titik Rupture**

BARIS	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$	$\epsilon_{avarege}$
1	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
2	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	<b>0,2750</b>
3	0,1907	0,1907	0,1907	0,1907	0,2865	0,2750	0,2750	<b>0,2285</b>
4	0,4060	0,4952	0,5316	0,5316	0,4952	0,3312	0,3169	<b>0,4440</b>
5	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,2750	0,3334	<b>0,2834</b>
6	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	0,0776	<b>0,0776</b>
7	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	0,1509	<b>0,1509</b>
$\epsilon_{avarege}$	<b>0,2075</b>	<b>0,2203</b>	<b>0,2255</b>	<b>0,2255</b>	<b>0,2340</b>	<b>0,2089</b>	<b>0,2152</b>	<b>0,2196</b>

**FLD Spesimen C pada titik Rupture**

Kolom	1	2	3	4	5	6	7	$\beta_{avarege}$
Baris								
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<b>0,0000</b>
$\beta_{avarege}$	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>

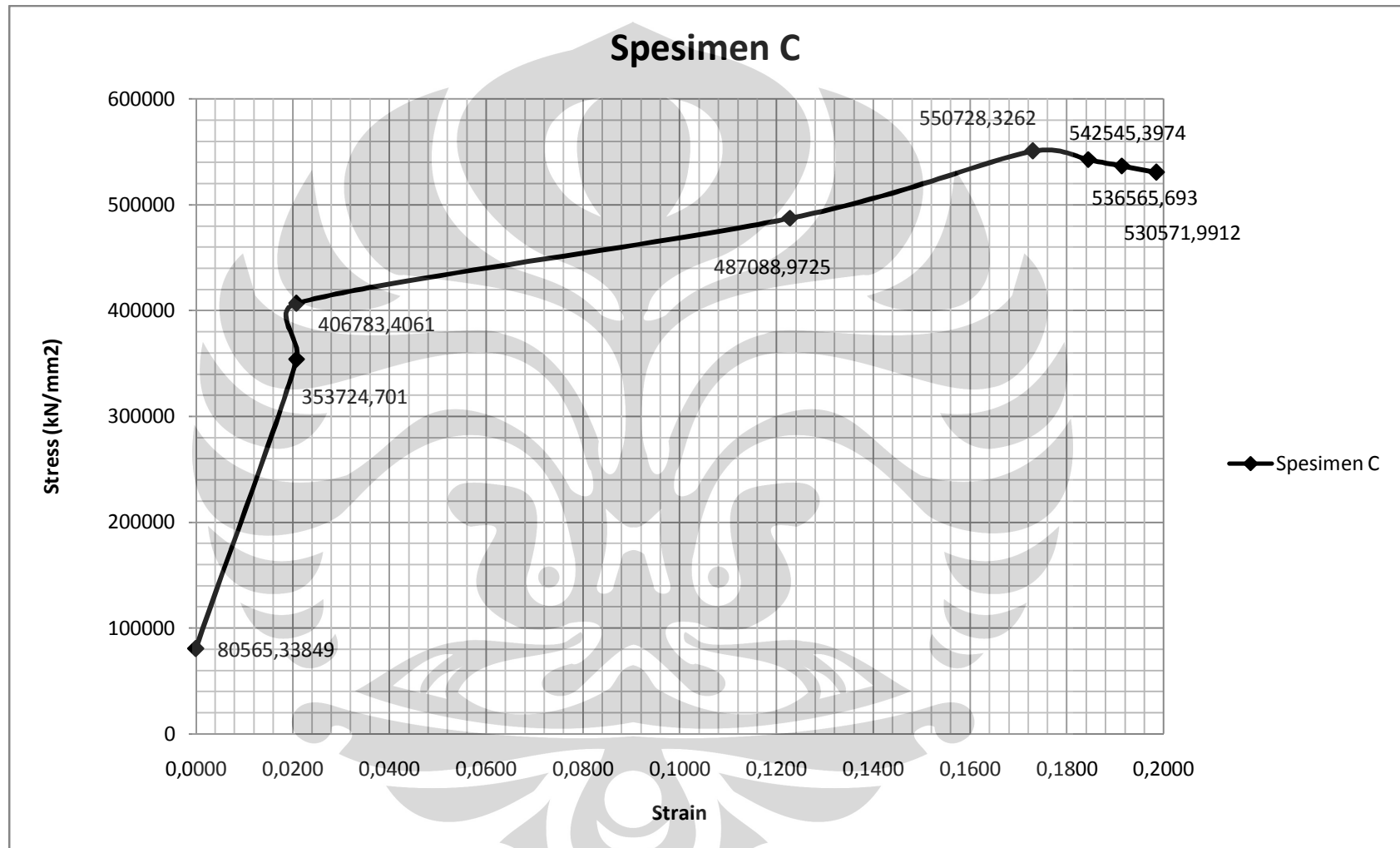
Keterangan :  $FLD = \beta = \epsilon_{\text{Minor (Horizontal)}} / \epsilon_{\text{Mayor (Vertikal)}}$  ; *plane strain* jika  $\beta \approx 0$

(Lanjutan)

## Spesimen C

Titik	F	e pada								Ao	Ai	S (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma$	Strain
		1	2	3	4	5	6	7	rata-rata					
0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	60,8202	60,8202	8,22	80565,34	0,0000
YS	2150	0,03408	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,021054	60,8202	59,5661	35,35	353724,7	0,0208
PS	2472,5	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,01888	0,018883	60,8202	59,69304	40,65	405918,4	0,0187
3	2673,75	0,13060	0,13060	0,13060	0,13060	0,13060	0,13060	0,13060	0,130601	60,8202	53,79459	43,96	487089	0,1227
UTS	2875	0,18883	0,18883	0,18883	0,18883	0,18883	0,18883	0,18883	0,188834	60,8202	51,15953	47,27	550728,3	0,1730
5	2800	0,18883	0,19639	0,20253	0,20253	0,21009	0,20220	0,21521	0,202541	60,8202	50,57641	46,04	542545,4	0,1844
6	2750	0,19686	0,20637	0,21447	0,21447	0,22007	0,20892	0,21521	0,21091	60,8202	50,22684	45,22	536565,7	0,1914
Rupture	2700	0,20754	0,22028	0,22549	0,22549	0,23398	0,20892	0,21521	0,219558	60,8202	49,87071	44,39	530572	0,1985

(Lanjutan)



## Lampiran 9. Perhitungan Perubahan Dimensi Spesimen

Transisi tebal patahan spesimen A bagian atas.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,174	0,916	0,979	1,059	1,032
2	1,557	1,347	1,547	1,4	1,46275
3	1,677	1,369	1,831	1,595	1,618
4	1,736	1,391	1,858	1,804	1,69725
5	1,762	1,516	1,89	1,84	1,752

Transisi tebal patahan spesimen A bagian bawah.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,221	0,994	1,274	0,986	1,11875
2	1,514	1,475	1,496	1,525	1,5025
3	1,678	1,654	1,553	1,593	1,6195
4	1,696	1,665	1,567	1,661	1,64725
5	1,841	1,728	1,686	1,711	1,7415

Transisi tebal patahan spesimen B bagian atas.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,182	1,128	1,312	1,035	1,16425
2	1,411	1,347	1,602	1,541	1,47525
3	1,47	1,401	1,709	1,601	1,54525
4	1,717	1,525	1,792	1,667	1,67525
5	1,785	1,598	1,881	1,761	1,75625



(Lanjutan)

Transisi tebal patahan spesimen B bagian bawah.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,272	1,006	1,169	1,238	1,17125
2	1,532	1,405	1,293	1,6	1,4575
3	1,655	1,489	1,399	1,691	1,5585
4	1,697	1,521	1,507	1,767	1,623
5	1,769	1,739	1,586	1,822	1,729

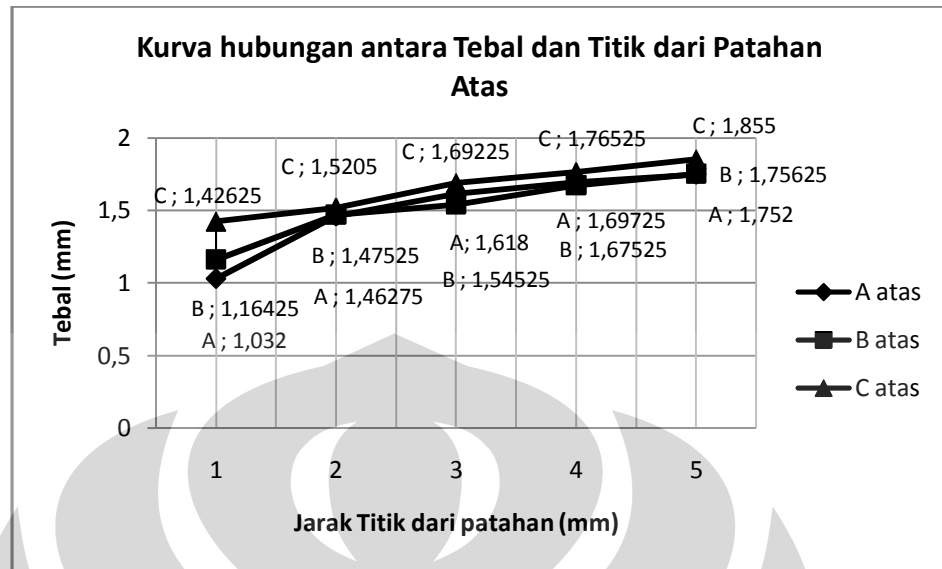
Transisi tebal patahan spesimen C bagian atas.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,445	1,453	1,411	1,396	1,42625
2	1,589	1,553	1,443	1,497	1,5205
3	1,787	1,601	1,666	1,715	1,69225
4	1,865	1,61	1,829	1,757	1,76525
5	1,89	1,795	1,862	1,873	1,855

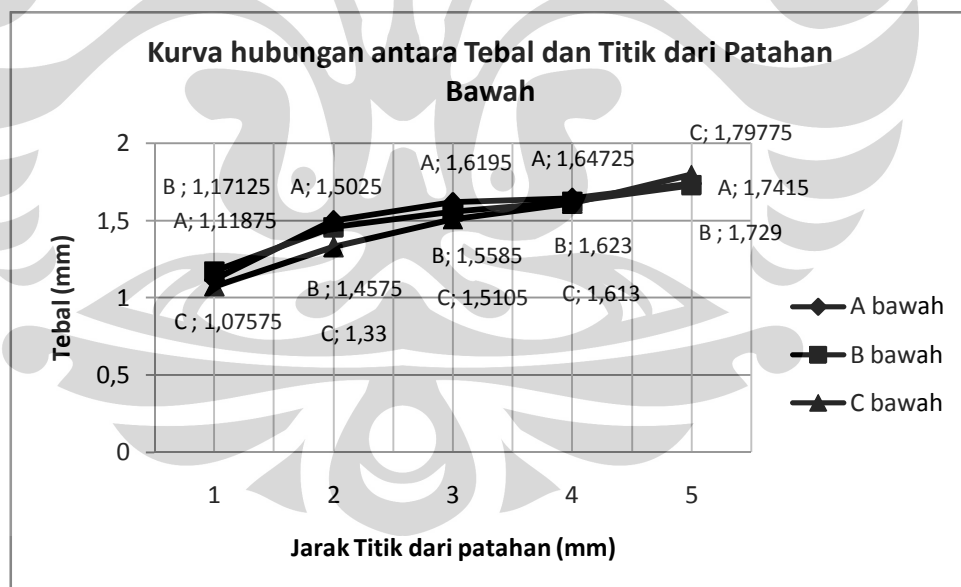
Transisi tebal patahan spesimen C bagian bawah.

Titik	Daerah				
	1	2	3	4	T <sub>average</sub>
1	1,157	0,991	1,038	1,117	1,07575
2	1,225	1,367	1,448	1,28	1,33
3	1,433	1,616	1,594	1,399	1,5105
4	1,54	1,671	1,64	1,601	1,613
5	1,659	1,89	1,775	1,867	1,79775

(Lanjutan)



Kurva hubungan antara berubah dimensi tebal dan jarak titik dari patahan spesimen bagian atas.



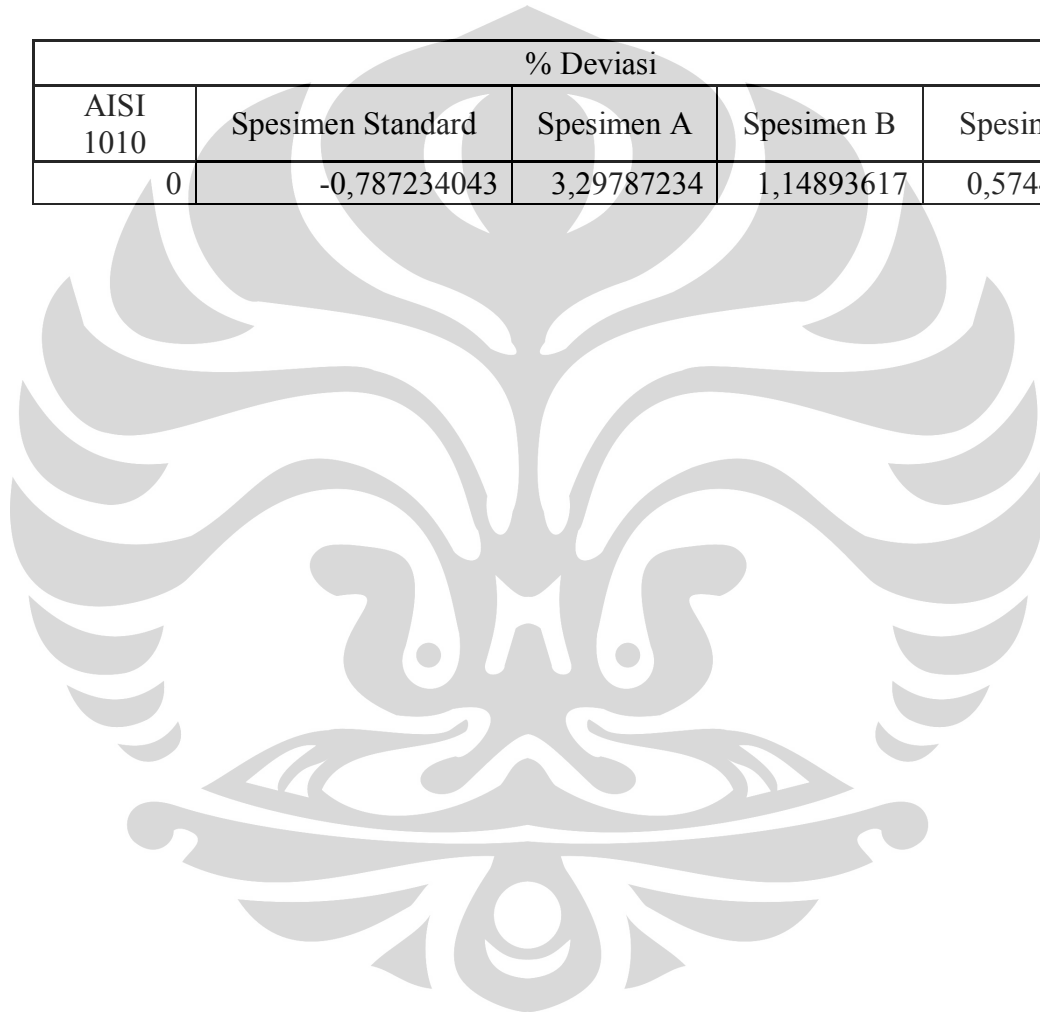
Kurva hubungan antara berubah dimensi tebal dan jarak titik dari patahan spesimen bagian bawah.

## Lampiran 10. Perhitungan Besar Deviasi Nilai Uts Setiap Spesimen

## Besar Deviasi Nilai UTS Tiap Spesimen

UTS (kg/mm <sup>2</sup> )				
AISI 1010	Spesimen Standard	Spesimen A	Spesimen B	Spesimen C
47	46,63	48,55	47,54	47,27

% Deviasi				
AISI 1010	Spesimen Standard	Spesimen A	Spesimen B	Spesimen C
0	-0,787234043	3,29787234	1,14893617	0,574468085



Lampiran 11. Perhitungan Nilai *Stress* Setiap *Grid* Ketika Rupture**Spesimen A**

Baris	F	elongasi						
		$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_4$	$\epsilon_5$	$\epsilon_6$	$\epsilon_7$
1	2700	0,048103	0,119147	0,119147	0,119147	0,119147	0,204794	0,204794
2	2700	0,515383	0,408665	0,38768	0,343487	0,343487	0,375369	0,395803
3	2700	0,129593	0,129593	0,129593	0,129593	0,129593	0,129593	0,129593

Baris	F	A <sub>o</sub>						
		A <sub>o 1</sub>	A <sub>o 2</sub>	A <sub>o 3</sub>	A <sub>o 4</sub>	A <sub>o 5</sub>	A <sub>o 6</sub>	A <sub>o 7</sub>
1	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
2	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
3	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034

Baris	F	A <sub>i</sub>						
		A <sub>i 1</sub>	A <sub>i 2</sub>	A <sub>i 3</sub>	A <sub>i 4</sub>	A <sub>i 5</sub>	A <sub>i 6</sub>	A <sub>i 7</sub>
1	2700	56,00918	52,45369	52,45369	52,45369	52,45369	48,72483	48,72483
2	2700	38,73834	41,67307	42,30328	43,69479	43,69479	42,68192	42,05708
3	2700	51,96864	51,96864	51,96864	51,96864	51,96864	51,96864	51,96864

Baris	Strain						
	Strain 1	Strain 2	Strain 3	Strain 4	Strain 5	Strain 6	Strain 7
1	0,046982	0,112567	0,112567	0,112567	0,112567	0,186309	0,186309
2	0,415668	0,342643	0,327633	0,295269	0,295269	0,318722	0,33347
3	0,121857	0,121857	0,121857	0,121857	0,121857	0,121857	0,121857

Baris	S (kg/mm <sup>2</sup> )						
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
1	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
2	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
3	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393

(Lanjutan)

Baris	$\sigma$						
	$\sigma 1$	$\sigma 2$	$\sigma 3$	$\sigma 4$	$\sigma 5$	$\sigma 6$	$\sigma 7$
1	472422,5	504444,9	504444,9	504444,9	504444,9	543049,6	543049,6
2	683044,3	634942,4	625483,4	605564,2	605564,2	619934,7	629145
3	509153,2	509153,2	509153,2	509153,2	509153,2	509153,2	509153,2

### Spesimen B

Baris	F	elongasi						
		$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	$\epsilon 3$	$\epsilon 4$	$\epsilon 5$	$\epsilon 6$	$\epsilon 7$
1	2650	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003
2	2650	0,591737	0,538689	0,538689	0,478871	0,538689	0,538689	0,591737
3	2650	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003	0,373003

Baris	F	Ao						
		Ao 1	Ao 2	Ao 3	Ao 4	Ao 5	Ao 6	Ao 7
1	2650	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
2	2650	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
3	2650	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034

Baris	F	Ai						
		Ai 1	Ai2	Ai3	Ai4	Ai5	Ai6	Ai7
1	2650	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548
2	2650	36,88008	38,15156	38,15156	39,69474	38,15156	38,15156	36,88008
3	2650	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548	42,75548

Baris	Strain						
	Strain 1	Strain 2	Strain 3	Strain 4	Strain 5	Strain 6	Strain 7
1	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317
2	0,464826	0,430931	0,430931	0,391279	0,430931	0,430931	0,464826
3	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317

(Lanjutan)

Baris	S (kg/mm <sup>2</sup> )						
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
1	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219
2	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219
3	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219	45,14219

Baris	$\sigma$						
	$\sigma 1$	$\sigma 2$	$\sigma 3$	$\sigma 4$	$\sigma 5$	$\sigma 6$	$\sigma 7$
1	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5
2	704174,2	680706,1	680706,1	654242,8	680706,1	680706,1	704174,2
3	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5	607407,5

### Spesimen C

Baris	F	elongasi						
		$\epsilon 1$	$\epsilon 2$	$\epsilon 3$	$\epsilon 4$	$\epsilon 5$	$\epsilon 6$	$\epsilon 7$
1	2700	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581
2	2700	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045
3	2700	0,190658	0,190658	0,190658	0,190658	0,28654	0,275045	0,275045
4	2700	0,405972	0,495179	0,531613	0,531613	0,495179	0,33124	0,316931
5	2700	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045	0,275045	0,333423
6	2700	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581	0,077581
7	2700	0,150884	0,150884	0,150884	0,150884	0,150884	0,150884	0,150884

Baris	F	Ao						
		Ao 1	Ao 2	Ao 3	Ao 4	Ao 5	Ao 6	Ao 7
1	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
2	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
3	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
4	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
5	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
6	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034
7	2700	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034	58,7034

(Lanjutan)

Baris	F	Ai						
		Ai 1	Ai2	Ai3	Ai4	Ai5	Ai6	Ai7
1	2700	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702
2	2700	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024
3	2700	49,30332	49,30332	49,30332	49,30332	45,6289	46,04024	46,04024
4	2700	41,75288	39,26179	38,32784	38,32784	39,26179	44,09678	44,57593
5	2700	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024	46,04024	44,02457
6	2700	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702	54,47702
7	2700	51,00724	51,00724	51,00724	51,00724	51,00724	51,00724	51,00724

Baris	Strain						
	Strain 1	Strain 2	Strain 3	Strain 4	Strain 5	Strain 6	Strain 7
1	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719
2	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982
3	0,174506	0,174506	0,174506	0,174506	0,251956	0,242982	0,242982
4	0,340729	0,402246	0,426321	0,426321	0,402246	0,286111	0,275304
5	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982	0,242982	0,28775
6	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719	0,074719
7	0,14053	0,14053	0,14053	0,14053	0,14053	0,14053	0,14053

Baris	S (kg/mm <sup>2</sup> )						
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
1	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
2	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
3	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
4	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
5	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
6	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393
7	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393	45,99393

(Lanjutan)

Baris	$\sigma$						
	$\sigma 1$	$\sigma 2$	$\sigma 3$	$\sigma 4$	$\sigma 5$	$\sigma 6$	$\sigma 7$
1	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4
2	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6
3	536677,8	536677,8	536677,8	536677,8	579895,6	574714,6	574714,6
4	633728,7	673937,6	690359,8	690359,8	673937,6	600043,8	593593,9
5	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6	574714,6	601028
6	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4	485709,4
7	518749,9	518749,9	518749,9	518749,9	518749,9	518749,9	518749,9

