

## PENGARUH KECEPATAN DAN TEMPERATUR UJI TARIK TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA S48C

Dedi Priadi<sup>1</sup>, Iwan Setyadi<sup>2</sup> dan Eddy S. Siradj<sup>1</sup>

1. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
2. Peneliti pada Lembaga Non Departemen Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, Indonesia

E-mail: [dedi@eng.ui.ac.id](mailto:dedi@eng.ui.ac.id)

---

### Abstrak

Karakterisasi baja S48C melalui uji tarik panas telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan laju regangan terhadap aliran tegangan material S48C, yang erat kaitannya dengan mampu tempanya. Pengujian tarik panas dilakukan pada variasi temperatur 850, 900, 950 °C dan laju regangan 0,01 dan 1 detik<sup>-1</sup>. Hasil pengujian tarik panas menunjukkan semakin tinggi temperatur akan menurunkan tegangan tarik maksimum dan tegangan alir baja S48C. Penurunan tegangan maksimum paling tinggi terjadi pada temperatur 950 °C sebesar 85% dari kondisi temperatur kamar, sedangkan penurunan tegangan alir paling tinggi terjadi pada temperatur pengujian 950 °C sebesar 31 % dibanding temperatur 850 °C, regangan ( $\epsilon$ ) 0,23 & kecepatan/laju regangan ( $\dot{\epsilon}$ ) 1 detik<sup>-1</sup> dan sebesar 27% dibanding temperatur dan regangan yang sama tetapi  $\dot{\epsilon}$  0,01 detik<sup>-1</sup>. Untuk kenaikan laju regangan dari 0,01 detik<sup>-1</sup> menjadi 1 detik<sup>-1</sup> pada kisaran temperatur 850-950 °C akan meningkatkan tegangan alir sebesar 46–53%.

### Abstract

**Influence of Strain Rate and Temperature of Hot Tension Testing on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel S48C.** The characterization of S48C by hot tension testing was done to understanding the influence of temperature and strain rate for S48C flow stress, that close relationship with its forge ability. The hot tension testing was performed on temperatures and strain rates variation (T 850, 900, 950 °C and  $\dot{\epsilon}$  0,01;1 s<sup>-1</sup>). The result of hot tension testing showed that increasing temperature decreases ultimate tensile strength (UTS) and flow stress of S48C. The higher decreasing of UTS is on 950 °C about 85% from room temperature condition, while the higher decreasing of flow stress has occurred on 950 °C about 31 % compare to conditions of temperature 850 °C, strain 0,23 & strain rate ( $\dot{\epsilon}$ ) 1 second<sup>-1</sup> and about 27% compare to the same conditions but  $\dot{\epsilon}$  = 0,01 second<sup>-1</sup>. For increasing strain rate from 0,01 to 1 second<sup>-1</sup> on the temperature range (850-950 °C) increases UTS about 33 – 50 % and flow stress about 46–53%.

*Keywords : forgeability, flowstress, temperature, strain rate, hot tensile testing*

---

### 1. Pendahuluan

Pada proses penempaan cetakan tertutup sering ditemukan masalah mampu tempa (*forgeability*) yang dihadapkan pada ketergantungannya pada tipe logam atau paduan, temperatur tempa, temperatur cetakan serta kecepatan/laju regangan [1]. Adapun kesulitan penempaan yang dihadapi berkaitan erat dengan pola aliran-butir (*grain-flow patterns*) yang tidak sesuai, cetakan yang tidak terisi sepenuhnya (*lack of die fill*) dan kualitas produk (sifat mekanik, struktur mikro yang tidak sesuai dengan standar). Uji coba untuk mendapatkan parameter proses yang cocok tanpa kegagalan produk sering dilakukan pada setiap material yang akan digunakan hal ini tentunya dapat memakan waktu dan biaya [2].

Karakterisasi bahan baku untuk proses tempa menjadi penting untuk mendapatkan perilaku yang sesungguhnya untuk proses tempa. Karakterisasi yang digunakan adalah pengujian tarik panas karena banyak dan mudah dilakukan. Karakterisasi ditujukan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan laju regangan terhadap aliran tegangan material. Pada penelitian ini material yang menjadi objek adalah baja S48C untuk roda gigi yang akan ditempa panas.

### 2. Metode Eksperimental

Metode eksperimental untuk karakterisasi/pengujian sifat mekanik mengacu kepada standar pengujian (ASTM) sedangkan penentuan temperatur dan kecepatan

regangan diatur sesuai dengan kondisi kemampuan peralatan yang ada.

Material S48C adalah material jenis baja karbon sedang yang banyak digunakan untuk bahan baku roda gigi. Komposisi unsur paduan baja S48C yang diteliti adalah pada Tabel 1.

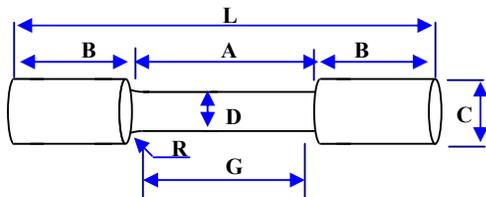
Uji tarik panas dilakukan pada mesin uji Servopulser Shimadzu tipe EHF-FB 20 yang memiliki kapasitas beban 20 ton. Pengujian nonsimulasi ini dilakukan pada 3 variasi temperatur yang berbeda, yaitu 850, 900 dan 950°C. Dimana tungku pemanas memiliki toleransi + 5°C.

Spesimen uji tarik yang digunakan mengikuti standar ASTM-E8 seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Pengujian nonsimulasi ini ditujukan untuk mendapatkan karakteristik dasar sifat plastis baja S48C. Dari hasil pengujian ini akan diperoleh kekuatan tarik maksimum (UTS) dan aliran tegangan, berupa kurva tegangan-regangan sejati ( $\sigma$ - $\epsilon$ ), kurva pengaruh tegangan alir terhadap temperatur dan laju regangan, serta mendapatkan suatu persamaan konstitutif yang berguna untuk mengestimasi tegangan alir [3].

Tabel 1. Komposisi Kimia S48C

| No | Nama Unsur | Komposisi Komersial (%) | Komposisi Aktual (%) |
|----|------------|-------------------------|----------------------|
| 1. | C          | 0,45 – 0,51             | 0,49                 |
| 2. | Si         | 0,15 – 0,35             | 0,15                 |
| 3. | Mn         | 0,6 – 0,9               | 0,66                 |
| 4. | P          | 0,030                   | 0,018                |
| 5. | S          | 0,035                   | 0,011                |



- G – Gage Length 2,000 ± 0,005 in
- D – Diameter 0,500 ± 0,010 in
- R – Radius of fillet, min 3/8 in
- A – Length of reduced sect. 2,25 in
- L – Over-all length 5 in
- B – Length of end section 1,75 in
- C – Diameter of end section 0,75 in

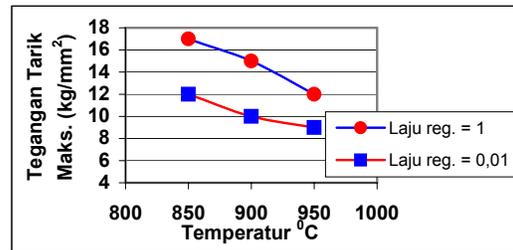
Gambar 1. Gambar Spesimen Uji Tarik Standar ASTM-E8.

### 3. Hasil dan Pembahasan

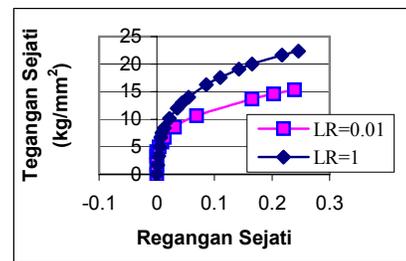
Tabel 2. Kekuatan Tarik Maksimum

| T (°C) | UTS (kg/mm <sup>2</sup> )                  |   |
|--------|--|---|
|        | $\dot{\epsilon} = 0,01 \text{ detik}^{-1}$ | $\dot{\epsilon} = 1 \text{ detik}^{-1}$ |
| 850    | 12   | 17                                      |
| 900    | 10   | 15                                      |
| 950    | 9  | 12                                      |

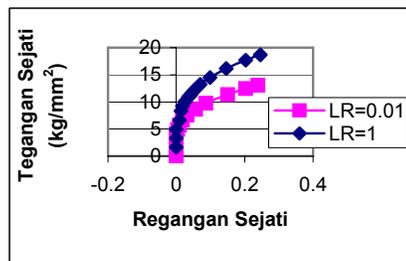
(\*) Data dari standar JIS<sup>(6)</sup>, UTS pada T 25°C, LR = 0,01 adalah 58-62 kg/mm<sup>2</sup>



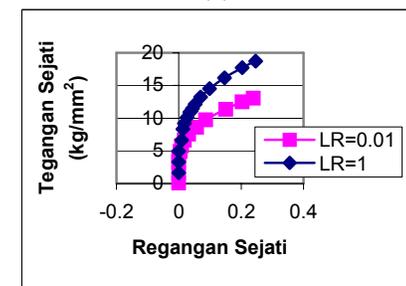
Gambar 2. Grafik Hubungan Tegangan Tarik Maksimum vs Temperatur Baja S48C



(a)

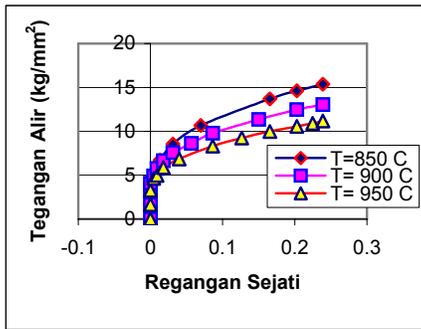


(b)

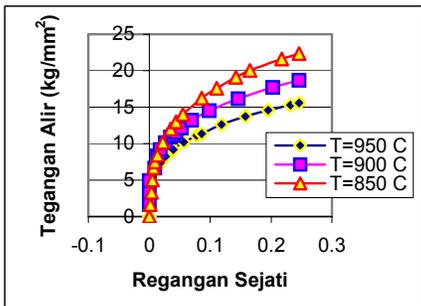


(c)

Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Seragam Sejati untuk Kondisi Laju Regangan 1 dan 0,01 detik<sup>-1</sup> Pada Temperatur (a) 850°C, (b) 900°C, (c) 950°C

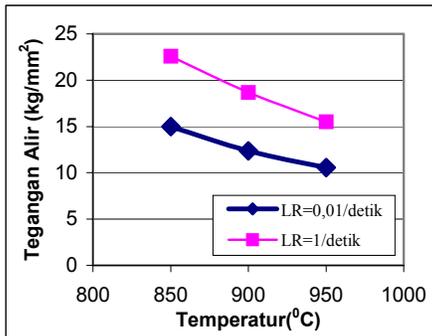


(a)



(b)

Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Seragam Sejati pada Temperatur (850, 900, 950°C) untuk Kondisi (a)  $\dot{\epsilon} = 1 \text{ detik}^{-1}$  dan (b)  $\dot{\epsilon} = 0,01 \text{ detik}^{-1}$



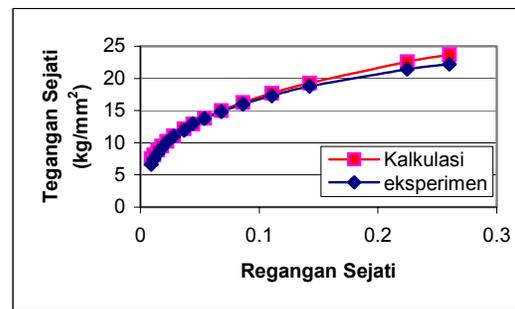
Gambar 5. Grafik Hubungan Tegangan Alir vs Temperatur Saat  $\dot{\epsilon} = 0,23$  pada Kondisi Laju Regangan 1 detik<sup>-1</sup> dan Laju Regangan 0,01 detik<sup>-1</sup>

Berdasarkan hasil uji tarik panas pada temperatur 850, 900, 950°C dengan laju regangan 0,01 dan 1 detik<sup>-1</sup>, maka didapat suatu persamaan konstitutif sebagai berikut :

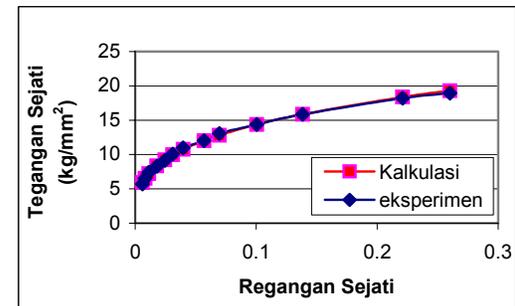
$$\sigma = K \epsilon^n \dot{\epsilon}^m \exp(Q/RT)$$

dengan :

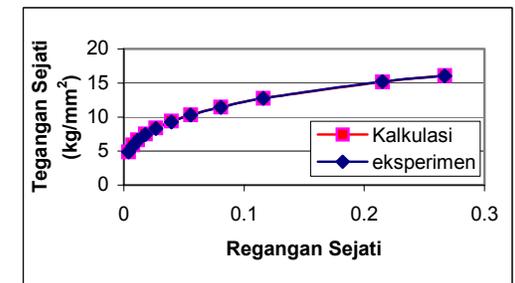
| $\sigma$         | hasil perhitungan             | hasil perhitungan             |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| K                | $34,69 \exp [-0,0008(T-273)]$ | $0,8882 \exp [-0,001(T-273)]$ |
| n                | $-0,0005(T-273)+0,7261$       | $-0,0006(T-273)+0,8514$       |
| $\dot{\epsilon}$ | 0,01                          | 1                             |
| m                | 0,88                          | 0,88                          |
| Q                | 9565,4                        | 10252,0                       |
| R                | 1,987                         | 1,987                         |
| T                | variabel                      | variabel                      |
| $\epsilon$       | variabel                      | variabel                      |



(a)



(b)

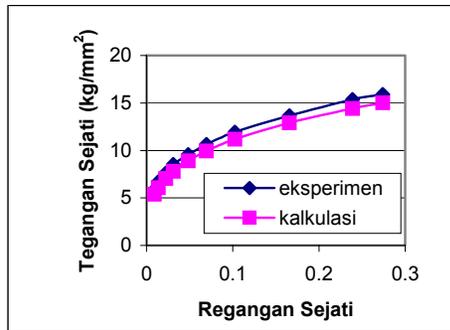


(c)

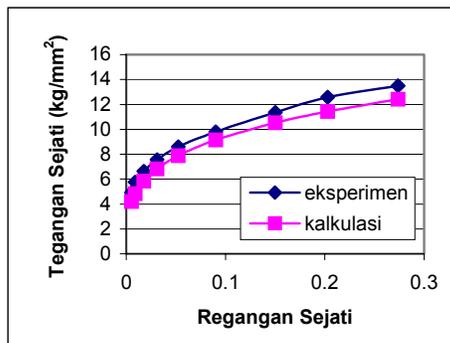
Gambar 6. Kurva Perbandingan Tegangan Regangan Seragam Sejati Hasil Eksperimen dengan Hasil Kalkulasi pada  $\dot{\epsilon} = 1 \text{ detik}^{-1}$  masing-masing untuk: (a)  $T = 850^\circ\text{C}$ , (b)  $T = 900^\circ\text{C}$  dan (c)  $T = 950^\circ\text{C}$

Faktor temperatur sangat dominan mempengaruhi kekuatan tarik maksimum terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 2 semakin tinggi temperatur, semakin turun kekuatan tarik maksimum (UTS).

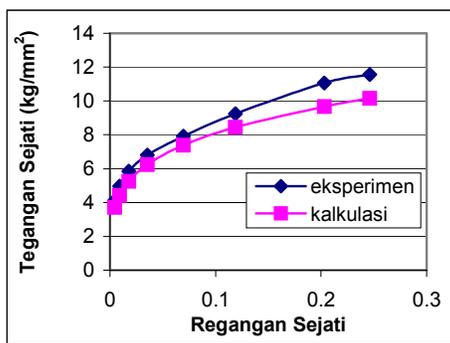
Hasil yang dicapai memiliki pola yang sama dengan studi yang pernah dilakukan sebelumnya untuk jenis baja karbon yang lain [4].



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Kurva Perbandingan Tegangan Regangan Seragam Sejati Hasil Eksperimen dengan Hasil Kalkulasi pada  $\dot{\epsilon}$  0,01 detik<sup>-1</sup>, masing-masing untuk : (a) T = 850<sup>o</sup>C, (b) T = 900<sup>o</sup>C dan (c) T = 950<sup>o</sup>C

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada laju regangan 0,01 detik<sup>-1</sup>, kenaikan temperatur pengujian menyebabkan turunnya UTS yang signifikan, yaitu berkisar 80-85% dibanding kekuatan tarik maksimum pada temperatur kamar. Penurunan yang paling besar terjadi pada temperatur 950<sup>o</sup> C sebesar 85 %. Fenomena ini berkaitan erat dengan perbedaan ukuran butir austenit (fasa  $\gamma$ ). Bertambah tinggi temperatur menyebabkan ukuran butir austenit bertambah besar, sehingga akan menurunkan kekuatan baja S48C [3].

Pada Tabel 4 terlihat, bahwa bila laju regangan dinaikkan dari 0,01 detik<sup>-1</sup> menjadi 1 detik<sup>-1</sup> (dalam kisaran temperatur 850-950<sup>o</sup>C), maka akan meningkatkan UTS baja S48C sebesar 33 – 50 %. Naiknya laju regangan menyebabkan pengerasan regangan menjadi lebih besar sehingga dibutuhkan tegangan lebih tinggi untuk mengatasinya [5].

Pengaruh kenaikan temperatur dan laju regangan terhadap tegangan alir baja S48C sama seperti terhadap UTS. Pada kurva tegangan dan regangan seragam sejati, Gambar 3, menunjukkan bahwa kenaikan laju regangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan tegangan alir baja S48C. Semakin tinggi temperatur (dengan kondisi temperature yang sama) dibutuhkan tegangan alir yang semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa baja S48C sensitive terhadap kenaikan laju regangan. Sebaliknya pada Gambar 4 memperlihatkan pengaruh yang berbeda yaitu dengan naiknya temperature, tegangan alir menurun. Hasil yang dicapai memiliki pola yang sama dengan studi yang pernah dilakukan sebelumnya untuk jenis baja karbon yang lain [4]. Gambar 5 menunjukkan pengaruh temperatur dan laju regangan pada tegangan alir yang signifikan untuk regangan  $\epsilon$  sebesar 0,23.

Dari Tabel 5 dapat dilihat, bila dijadikan temperatur pegujian 850<sup>o</sup>C sebagai acuan terhadap temperatur pengujian lain (900<sup>o</sup>C dan 950<sup>o</sup>C), maka dengan bertambahnya temperatur menyebabkan penurunan

Tabel 3. Prosentase Penurunan Kekuatan Tarik dengan Naiknya Temperatur Terhadap Temperatur Ruang pada Laju Regangan 0,01 detik<sup>-1</sup>

| NO | UTS Pada $\dot{\epsilon}$ = 0,01 detik <sup>-1</sup> |                    | UTS T ruang | Penurunan (%) |
|----|--|--------------------|-------------|---------------|
|    | T (°C)   | kg/mm <sup>2</sup> |             |               |
| 1. | 850  | 12                 | 60          | 80            |
| 2. | 900  | 10                 |             | 83            |
| 3. | 950  | 9                  |             | 85            |

tegangan alir sebesar 13 – 27 % (untuk  $\dot{\epsilon}$  0,01 detik<sup>-1</sup>) dan 17 - 31% (untuk  $\dot{\epsilon}$  1 detik<sup>-1</sup>). Terlihat bahwa prosentase penurunan terbesar terjadi pada temperatur pengujian yang paling tinggi (950<sup>0</sup> C), masing-masing sebesar 27 % dan 31 % .

**Tabel 4. Prosentase Kenaikan Kekuatan Tarik pada T Pengujian yang Sama Terhadap Peningkatan Laju Regangan**

| NO | T (°C) | UTS (kg/mm <sup>2</sup> )                   |  | Kenaikan (%) |
|----|--------|---|--|--------------|
|    |        | $\dot{\epsilon} = 0,01$ detik <sup>-1</sup> | $\dot{\epsilon} = 1$ detik <sup>-1</sup> |              |
| 1. | 850    | 12  | 17                                       | 42           |
| 2. | 900    | 10  | 15                                       | 50           |
| 3. | 950    | 9   | 12                                       | 33           |

**Tabel 5. Prosentase Penurunan Tegangan Alir dengan Naiknya Temperatur Terhadap Temperatur Pengujian 850<sup>0</sup>C**

| NO | Tegangan Alir Pada $\epsilon = 0,23$ & $\dot{\epsilon} = 0,01$ detik <sup>-1</sup> |                   | Tegangan Alir Pada T=850 <sup>0</sup> C, $\epsilon = 0,23$ & $\dot{\epsilon} = 0,01$ detik <sup>-1</sup> | $\Delta$ (%) |
|----|--|-------------------|--|--------------|
|    | T (°C)   | kg/m <sup>2</sup> |  |              |
| 1. | 900  | 13                | 15   | 13           |
| 2. | 950  | 11                |  | 27           |
| NO | Tegangan Alir Pada $\epsilon = 0,23$ & $\dot{\epsilon} = 1$ detik <sup>-1</sup>    |                   | Tegangan Alir Pada T=850 <sup>0</sup> C, $\epsilon = 0,23$ & $\dot{\epsilon} = 1$ detik <sup>-1</sup>    | $\Delta$ (%) |
|    | T (°C)   | kg/m <sup>2</sup> |  |              |
| 1. | 900  | 19                | 23   | 17           |
| 2. | 950  | 16                |  | 31           |

**Tabel 6. Prosentase Kenaikan Tegangan Alir pada T Pengujian yang Sama Terhadap Perubahan Laju Regangan, Bila regangan  $\epsilon = 0,23$**

| NO | T (°C) | Tegangan Alir (kg/mm <sup>2</sup> )         |  | Kenaikan (%) |
|----|--------|---|--|--------------|
|    |        | $\dot{\epsilon} = 0,01$ detik <sup>-1</sup> | $\dot{\epsilon} = 1$ detik <sup>-1</sup> |              |
| 1. | 850    | 15  | 23                                       | 53           |
| 2. | 900    | 13  | 19                                       | 46           |
| 3. | 950    | 11  | 16                                       | 46           |

Kurva tegangan-regangan alir yang didapat dengan pengujian tarik panas, berlangsung dalam kondisi temperatur yang terjaga konstan (berada dalam tungku), dimana temperatur pengujian yang dilakukan diatas 0,6 T<sub>m</sub>. Oleh karena itu pada saat deformasi seragam berlangsung ( dari titik *yield* sampai pada batas beban maksimum), bersamaan juga terjadi pemulihan [3,6] yang diikuti terjadinya rekristalisasi, sehingga tidak terjadi pengerasan regang yang berarti. Dengan semakin tinggi temperatur, menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir (*growth*). Hasilnya, kekuatan dan kekerasan menurun dan terjadi kenaikan keuletan, sehingga energi yang diperlukan untuk terjadinya deformasi menjadi turun dan meningkatkan kemampuan alir.

Pada Tabel 6. dapat diketahui, bahwa terjadi kenaikan tegangan alir sebesar 46-53 %, bila laju regangan dinaikkan dari 0,01 detik<sup>-1</sup> menjadi 1 detik<sup>-1</sup>.

Analisa matematis dari pengujian tarik panas dibuat berdasarkan hubungan tegangan fungsi regangan laju regangan dan temperature  $\sigma = K \epsilon^n \dot{\epsilon}^m \exp(Q/RT)$  dimana nilai koefisien/konstanta n, m dan Q didapat dari pengolahan data tegangan-regangan sejati hasil pengujian tarik panas. Pada Gambar 6 dan 7 dapat dilihat bentuk kurva perbandingan tegangan regangan seragam sejati hasil eksperimen baja S48C dengan hasil kalkulasi melalui persamaan konstitutif yang didapat, pada  $\dot{\epsilon} = 1$  dan 0,01 detik<sup>-1</sup>, masing-masing untuk temperatur: (1) 850<sup>0</sup>C, (2) 900<sup>0</sup>C dan (3) 950<sup>0</sup>C. Terlihat grafik tegangan hasil perhitungan sedikit lebih tinggi dari hasil eksperimen pada  $\dot{\epsilon} = 1$  detik<sup>-1</sup>, sedangkan pada  $\dot{\epsilon} = 0,01$  detik<sup>-1</sup> memberikan hasil sebaliknya. Hal ini dimungkinkan karena data hasil pengujian pada laju regangan 0,01 detik<sup>-1</sup> diperoleh masing-masing dari 1 sampel untuk setiap temperatur uji, sehingga kurang akurat.

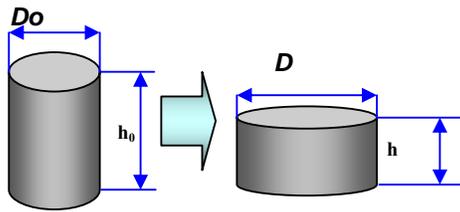
Dengan memasukkan besarnya deformasi ( $\epsilon$ ) yang diinginkan dan temperatur pengerjaan yang digunakan pada persamaan konstitutif baja S48C yang diperoleh, maka dapat diestimasi tegangan alir yang dibutuhkan. Sebagai contoh adalah perhitungan tegangan alir untuk mendeformasi silinder dari diameter Do menjadi D, seperti yang ditunjukkan Gambar 8.

Besar deformasi yang terjadi ditinjau dari perubahan diameter dapat dihitung dari perumusan regangan ( $\epsilon$ ), yaitu:

$$\epsilon = (D_{akhir} - Do)/(Do)$$

$$\epsilon = (40,9 - 21,1)/21,1 = 0,94$$

$$Do=21,1 \text{ mm dan } D=40,9 \text{ mm}$$



Gambar 8. Contoh Produk

Bila dianggap temperatur proses deformasi (seperti temperatur tempa)  $1000^{\circ}\text{C}$  dan besarnya laju regangan ( $\dot{\epsilon}$ ) yang dipakai adalah  $1 \text{ detik}^{-1}$ , maka dari persamaan konstitutif dapat diestimasi tegangan alir yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\sigma = K \epsilon^n \dot{\epsilon}^m \exp(Q/RT),$$

dimana :

| $\dot{\epsilon}$ | $1 \text{ detik}^{-1}$        |
|------------------|-------------------------------|
| $\sigma$         | Hasil perhitungan             |
| $K$              | $0.8882 \exp [-0,001(T-273)]$ |
| $n$              | $-0.0006(T-273)+0.8514$       |
| $m$              | 0,88                          |
| $Q$              | 10252,0                       |
| $R$              | 1,987                         |
| $T$              | 1273                          |
| $\epsilon$       | 0,94                          |

Jadi tegangan alir yang dibutuhkan adalah **18,5 kg/mm<sup>2</sup>**.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian Karakterisasi Mampu Tempa Baja S48C Melalui Pengujian Tarik Panas, dapat disimpulkan

bahwa semakin tinggi temperatur akan menurunkan tegangan tarik maksimum (UTS) baja S48C. Penurunan yang paling besar terjadi pada temperatur  $950^{\circ}\text{C}$ , yaitu sebesar 85% dari kondisi temperatur kamar. Naiknya temperatur juga menurunkan tegangan alir. Prosentase penurunan terbesar terjadi pada temperatur pengujian  $950^{\circ}\text{C}$  sebesar 31% dibanding temperatur  $850^{\circ}\text{C}$ , regangan ( $\epsilon$ ) 0,23 & laju regangan ( $\dot{\epsilon}$ )  $1 \text{ detik}^{-1}$  dan sebesar 27% dibanding temperatur & regangan yang sama tetapi ( $\dot{\epsilon}$ )  $0,01 \text{ detik}^{-1}$ . Kenaikan laju regangan dari  $0,01 \text{ detik}^{-1}$  menjadi  $1 \text{ detik}^{-1}$  pada kisaran temperatur  $850\text{-}950^{\circ}\text{C}$  akan meningkatkan UTS sebesar 33 – 50 % dan tegangan alir sebesar 46–53%. Dengan pengujian tarik panas dapat ditentukan nilai konstanta persamaan konstitutif ( $K, n, m$  dan  $Q$ ).

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terselenggara berkat bantuan material dan sarana pelaksanaan Penempaan dari PT Pulo Gadung Tempa Jaya.

#### Daftar Acuan

- [1] Anders Bisgaard, Jens Grønbaek, Proceedings of the 2nd JSTP International Seminar on Precision Forging, Osaka, Japan, 2000, p.187.
- [2] C.A.L. Bailer-Jones, D.J.C. MacKay, T.J. Sabin, P.J. Withers, Australian Journal on Intelligent Processing System 5 (1998) 10.
- [3] M. Golja, M. Buršák, Metalurgija 43 (2004) 55.
- [4] Sokeizai Center, Instruction Manual on Forging Technology, Sokeizai Center, Japan, 1986.
- [5] G.E. Dieter, Metalurgi Mekanik, terjemahan Sriati Djaprie, Ed. 3, Erlangga, Jakarta, 1988.
- [6] B.R. Schlenker, Introduction to Material Science, SI Ed., Jacaranda Press, 1986.