

## **Analisa Statik dan Mulur Cetakan pada Pembuatan Bakalan Produk Kuningan melalui Pengecoran Fasa Lumpur**

Edy Yulianto (edyulianto@yahoo.com), Nur Muhammad Fuad (nmfuad@gmail.com), Arif Krisbudiman (areve\_23@yahoo.com), Arga Lazuardy Djoharis (argalazuardy@yahoo.com)

Balai Mesin Perkakas, Teknik Produksi dan Otomasi (MEPPO)  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)  
Gedung Teknologi II No. 251 Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang - Banten 15314, Indonesia

### **Abstrak**

Proses pengecoran fasa lumpur (semisolid casting) material aluminium dan kuningan pada saat ini banyak digunakan dalam pembuatan berbagai macam komponen untuk industri otomotif, pesawat, maupun komponen industri lainnya, dengan proses ini dapat dihasilkan kualitas produk dan tingkat produktivitas yang lebih baik dibanding dengan proses pengecoran (casting) biasa. Selain untuk produk jadi proses ini dapat digunakan untuk produk setengah jadi yang akan dilakukan proses pembentukan lainnya.

Pada pembuatan produk melalui proses ironing, diperlukan bakalan produk (preform) sehingga proses ironing bisa lebih optimal. Pembuatan bakalan produk (preform) dapat dilakukan dengan proses semisolid casting karena hasil proses ini mempunyai struktur mikro yang baik untuk dilakukan proses ironing. Proses pengecoran fasa lumpur (semisolid casting) dilakukan dengan melakukan penekanan (press) dengan gaya sebesar 42 ton pada cairan lumpur (semisolid) kuningan yang bersuhu 900-950 derajat celcius di dalam cetakan (dies) selama 180 detik. Cetakan (dies) terbuat dari material SKD 61 yang terdiri dari tiga komponen utama, cetakan atas (upper dies), cetakan bawah (bottom dies), dan komponen untuk mengeluarkan produk (ejector). Persyaratan yang harus dipenuhi oleh cetakan (dies) adalah deformasi maksimal sebesar 20  $\mu\text{m}$ , dan tegangan maksimal yang dialami sebesar 158.5 MPa. Pada makalah ini akan dibahas mengenai analisa static dan mulur (creep) cetakan (dies) pada pembuatan bakalan produk (preform) dengan metoda pengecoran fasa lumpur (semisolid).

Dari hasil analisa diperoleh bahwa deformasi yang dialami cetakan atas (upper dies) adalah sebesar 16,27  $\mu\text{m}$ , cetakan bawah (bottom dies) sebesar 11,32  $\mu\text{m}$ , dan defleksi yang dialami komponen untuk mengeluarkan produk (ejector) sebesar 3,66  $\mu\text{m}$ . Tegangan yang dialami dies, cetakan atas (upper dies) mengalami tegangan sebesar 1,087e+05 kPa, cetakan bawah (bottom dies) sebesar 1,568e+05 kPa dan komponen untuk mengeluarkan produk (ejector) sebesar 2,8 e+05 kPa, dan pembebanan suhu mulur (creep) maksimal adalah 1273 derajat celcius. Dari hasil ini diperoleh bahwa cetakan (dies) memenuhi syarat untuk digunakan dalam proses pembuatan bakalan produk (preform) yang digunakan pada proses pengecoran fasa lumpur (semisolid casting) ini.

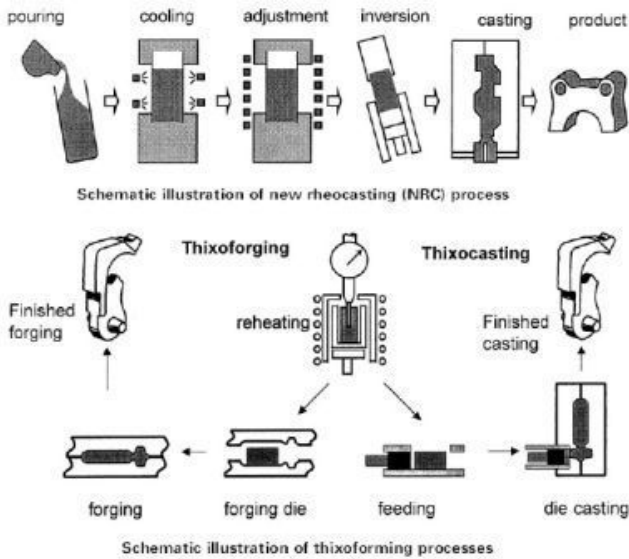
Kata kunci : fasa lumpur (semisolid), cetakan (dies), ejector, deformasi, tegangan, mulur

### **Pendahuluan**

Pada awal tahun 1980 proses pengecoran semi solid mulai digunakan secara komersial terutama untuk pembuatan komponen untuk industri otomotif dan pesawat dengan material paduan aluminium dan paduan tembaga.[1] Pembentukan semisolid dilakukan pada temperature antara fasa cair dan padat, dengan perbandingan fraksi fasa padat 30% sampai 65%. [2][3] Dibandingkan dengan proses pembentukan lainnya proses pembentukan semisolid lebih hemat biaya, energy, material, dan mengurangi dampak negative seperti yang ditimbulkan pada proses pengecoran biasa. [2]

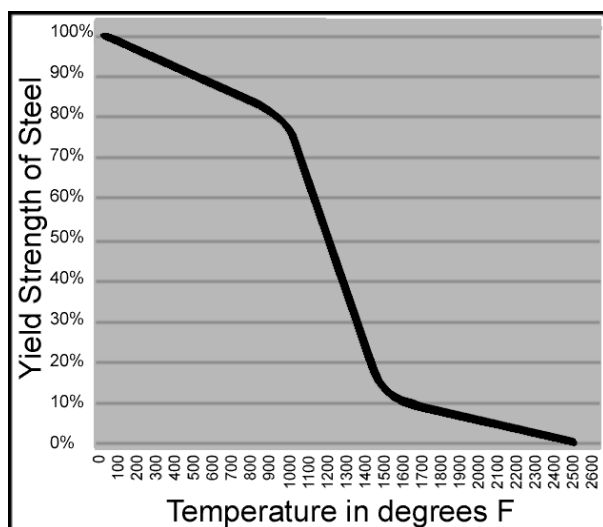
Ada tiga macam metode pembentukan melalui fasa semisolid yang digunakan dalam dunia industry, yaitu thyxoforging, thyxocasting, dan rheocasting.[4] Metode thyxoforging dilakukan dengan memanaskan material benda kerja sampai suhu semisolid kemudian dimasukkan ke dalam cetakan (dies) dan dilakukan pengepersesan. Metode thyxocasting dilakukan dengan memasukkan material yang dipanaskan pada suhu semisolid kemudian dilakukan penekanan material semisolid ke dalam cetakan (dies). Dan metode rheocasting dilakukan dengan mencairkan material benda kerja, kemudian dituang ke dalam crucible untuk didinginkan sampai suhu semisolid

dan dilakukan proses penekanan ke dalam cetakan (dies).



Gambar 1.1. Alur Produksi Proses Pembentukan Fasa Lumpur [4]

Dalam proses pembentukan dengan metode pengecoran, ada beberapa permasalahan yang sering terjadi pada proses pengecoran seperti penyusutan, aliran cairan dalam pengisian cairan yang menyebabkan porositas, dan pendinginan yang mengakibatkan mikrostruktur yang kurang baik, Maka dengan metoda pengecoran fasa lumpur (semisolid casting) cacat-cacat tersebut dapat dikurangi, penyusutan dapat dikurangi karena fraksi fasa cair yang mengalami pendinginan pendinginan lebih kecil, dan porositas akibat gas yang terperangkap dalam cairan dapat dikurangi karena fasa semisolid mempunyai aliran yang lebih laminar disbanding fasa cair.[5]



Gambar 1.2. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Yield Strength pada Material Baja [6]

Pengecoran fasa lumpur kuningan dilakukan pada temperature 900-950 derajat celcius dengan tekanan 43 ton. Sehingga factor penting yang di perhatikan adalah pengaruh panas terhadap komponen yang digunakan, baik pada struktur mesin, piston hidrolik, dan cetakan yang digunakan.

Seperti pada Gambar 1.2. Grafik Pengaruh Suhu terhadap Yield strength material logam,. Pada makalah ini akan dilakukan pembahasan pada komponen cetakan (dies) yang digunakan dengan melakukan analisa statis dan mulurnya.

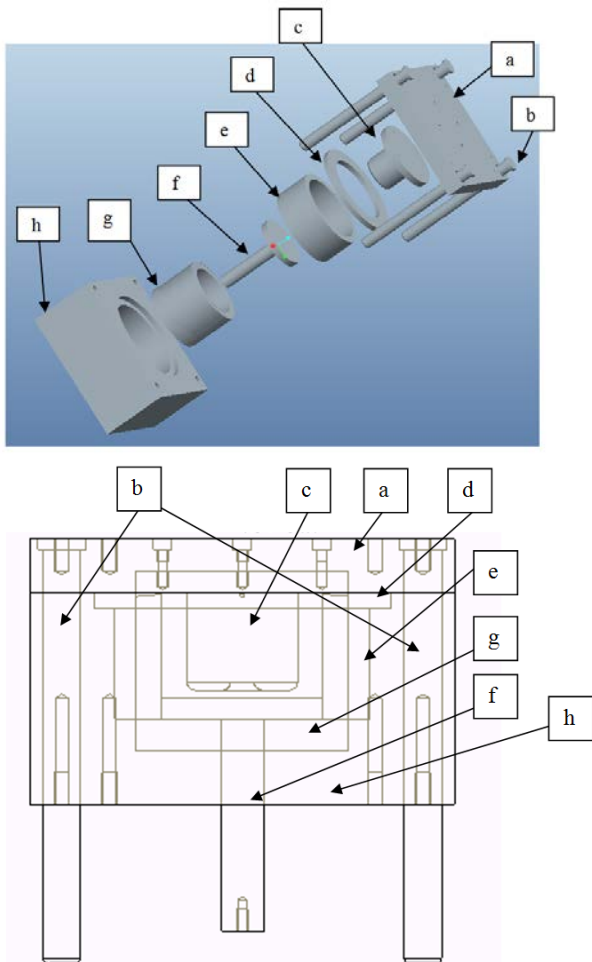
**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisa software dan eksperimen pada cetakan (dies) yang digunakan untuk proses pengecoran fasa lumpur. Analisa software dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimal dan deformasi yang dialami secara numeric, yang kemudian dilakukan pengukuran dimensi benda kerja yang dihasilkan dari pengecoran



Gambar 2.1. Mesin Press Yang Digunakan dalam Pengecoran

fasa lumpur untuk mengetahui deformasi yang terjadi dalam cetakan saat dilakukan proses pengecoran fasa lumpur. Pengecoran fasa lumpur dilakukan dengan melakukan pengepresan kuningan fasa lumpur di dalam cetakan. Pengepresan dilakukan saat cairan kuningan mempunyai suhu 900-950 derajat celcius dengan gaya sebesar 43 ton.



Gambar 2.2. Design Konstruksi Cetakan (dies)

Keterangan Gambar 2.2 :

- a.cavity plate
- b.guide pin & guide bush
- c.upper dies
- d.heater lock
- e.heater
- f.ejector
- g.Bottom Dies
- h.core plate



Gambar 2.3. Konstruksi Cetakan (dies)

Fasilitas yang digunakan untuk analisa software

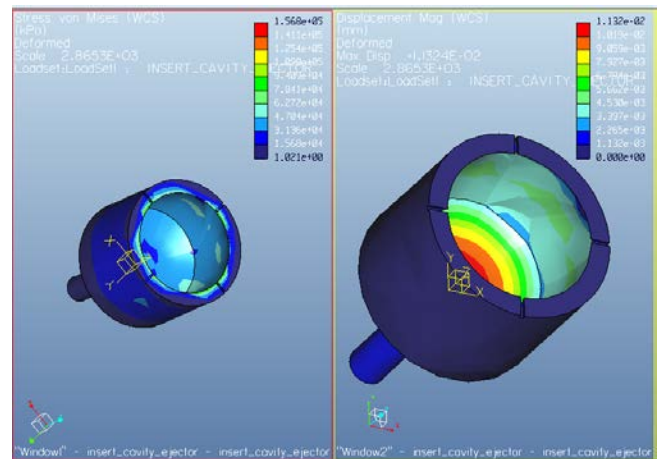
digunakan software Pro Engineer Wildfire 2.0 dan peralatan pengujian pengecoran fasa lumpur digunakan tungku peleburan kapasitas 50 kg, mesin press 43 T (Gambar 2.1) , dan cetakan (dies) dengan bentuk mangkok (Gambar 2.2). Cetakan (dies) yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Material : SKD 61
- Ultimate strength : 1990 MPa [7]
- Yield strength pada suhu ruang 1585 MPa [7]
- Diameter luar upper dies : 76 mm
- Diameter dalam bottom dies : 100 mm
- Tinggi dies 200 mm

**Hasil dan Pembahasan**

Analisa static digunakan untuk mengetahui kemampuan cetakan (dies) saat digunakan, terutama kekuatan dan deformasi yang dialami. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan software dilakukan pada tiga komponen utama cetakan, yaitu upper dies, bottom dies, dan ejector.

Analisa software Pro Engineer diperoleh hasil sebagai berikut :



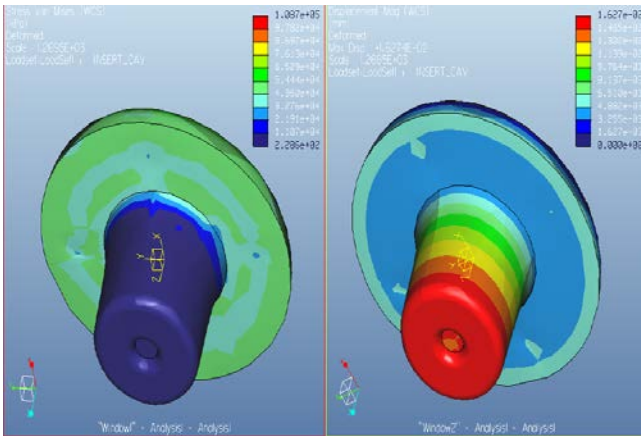
Gambar 3.1. Analisa pada Bottom Dies

Pada bottom dies dihasilkan tegangan maksimum sebesar 156.8 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,01132 mm atau 11,32 μm. Karena besarnya tegangan maksimum kurang dari tegangan yield strength,  $\sigma_{yield} = 158.5 \text{ MPa}$  dan besarnya defleksi maksimum kurang dari 20μm, sehingga bottom dies semi-solid dapat digunakan untuk proses pengecoran ini, walaupun safety factornya hamper tidak ada. Sehingga diperlukan adanya penambahan ketebalan dari bottom dies ini sehingga meningkatkan safety faktornya.

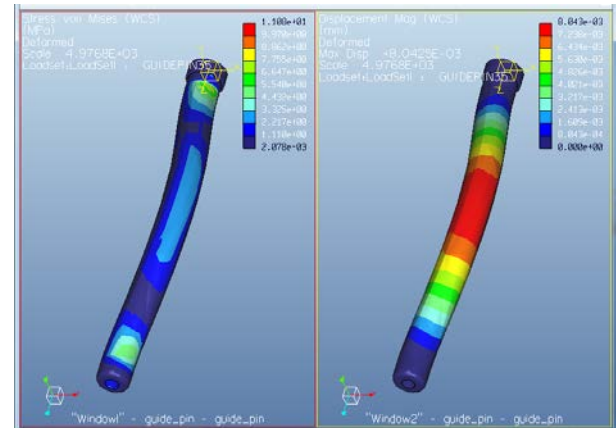
Analisa software pada bagian upper dies dihasilkan bahwa pada bagian ini tegangan maksimum yang dialami sebesar 108 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,01627 mm atau 16,27 μm. Karena besarnya tegangan maksimum kurang dari tegangan yang diijinkan ( $\sigma_{yield} = 158.5 \text{ MPa}$ ) dan besarnya defleksi

maksimum kurang dari 20µm, maka desain upper dies semi-solid dinyatakan aman digunakan.

$$D = (85000 \times 0.1) / (3.14 \times 0.0375^2 \times 165 \times 10^9) = 3.66 \times 10^{-6} \text{ m} = 3.66 \text{ mikron}$$



Gambar 3.2. Analisa pada Bottom Dies



Gambar 3.3. Analisa pada Ejector

Perhitungan defleksi untuk komponen ejector adalah sebagai berikut :

$$D = (PxL)/(Ax E) \quad [8]$$

Dimana :

- D : defleksi (m)
- P : Gaya yang dialami (N)
- L : Panjang benda kerja (m)
- A : Luas penampang benda kerja (m<sup>2</sup>)
- E : Modulus Elastisitas (Pa)

Gaya yang dibutuhkan untuk mengeluarkan produk dari dalam cetakan adalah

$$Pe = 4 \cdot S \cdot E \cdot A_c \cdot u / [d \cdot (2 \cdot d/t - v \cdot d/t)] \quad [9]$$

Dimana :

- P : Ejector force (N)
- E : Modulus of elasticity (MPa) yellow brass (21000kgf/mm<sup>2</sup>)
- A : The contact area of the mould and product parting line.  $(3.14 \cdot 15.196 \cdot 10) + (0.25 \cdot 3.14 \cdot 15.196^2)$
- U : Coefficient of friction of the Brass and steel. (0.35)
- D : The diameter on the core (cm) (15.196 cm)
- T : Thickness of the product (cm) (10 cm)
- V : 0.331
- S : Shrinking volume cross diameter.
- $S = a \cdot (T_g - T_m)$
- In the formula,
- A : Thermal expansion coefficient  $(10.8 \times 10^{-6} / \text{Oc})$
- T<sub>g</sub> : temperature (°C) (1000)
- T<sub>m</sub> : mould temperature (°C) (900)

Sehingga diperoleh gaya untuk ejector sebesar 8.5 ton.

Dengan gaya sebesar 8.5 ton, maka defleksi yang terjadi adalah :

Dari analisa diatas didapatkan tegangan maksimum sebesar 2,8 MPa dan defleksi maksimum sebesar 3.56 µm. Karena besarnya tegangan maksimum kurang dari tegangan yang diijinkan ( $\sigma_{yield} = 158.5 \text{ MPa}$ ), maka ejector aman digunakan

Untuk perhitungan mulur karena pengaruh gaya dan panas akan dihitung secara teoritis.

$$S = (Po / 2) \cdot ((Do / te) - 1) \quad [10]$$

S : tekanan hoop dies (MPa), 2/3 dari yield strength = 276 MPa

Po : tekanan dalam dies (MPa)

Do : diameter luar dies (mm)

te : tebal minimal dies (mm)

sehingga tebal minimal dies adalah

$$te = Do / ((2S / Po) + 1) = 101 / ((2 \times 276 / 52.57) + 1) = 8.78 \text{ mm}$$

Tebal dies yang digunakan adalah 12.5 mm, sehingga aman untuk digunakan dalam menghadapi kelelahan mulur.

$$PLM = T(\log t + C) \quad [11]$$

Dimana :

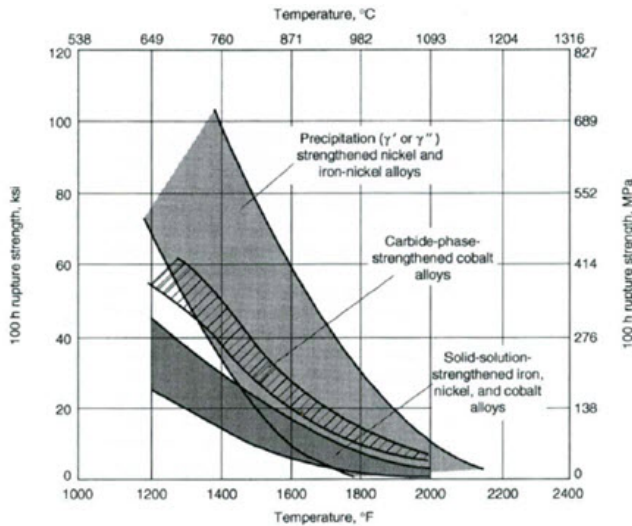
PLM : Parameter Larson Miller (K.log(h))

T : temperature kerja (K)

t : waktu kerja (jam)

C : Konstanta Larson Miller





Gambar 3.5. Benda Kerja Hasil Pengecoran

Gambar 3.4. Grafik Hubungan Tegangan dengan waktu Lelah [11]

$$\begin{aligned}
 PLM &= T (\log (h) + C) \\
 &= 1517 (\log(10/60) + 22) \\
 &= 32.193 K.\log (h)
 \end{aligned}$$

Sehingga suhu kerja yang diperbolehkan untuk proses pengecoran selama 3 menit adalah :

$$\begin{aligned}
 T &= PLM/(\log t + C) \\
 &= 32.000/(\log 0.05 + 22) \\
 &= 1546 K \\
 &= 1273 \text{ derajat celcius}
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk pemakain proses pengecoran selama 180 detik, cetakan (dies) aman untuk digunakan.

Dan dari hasil percobaan pembuatan bakalan produk mangkok dengan pengecoran fasa lumpur diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 3.1. Ukuran Benda Kerja Hasil Pengecoran Fasa Lumpur

No Sam pel	Diameter Luar (mm)	Diameter Dalam (mm)	Penyusutan Luar (%)	Penyusutan dalam (%)
1	98.5	74.8	2.5	2.9
2	99	75.6	2.0	1.8
3	99.2	76.3	1.8	0.9
4	98.8	76.2	2.1	1.0
5	99	76	2.0	1.3
6	98.7	76.2	2.2	1.0
7	98.8	76	2.2	1.3
8	98.6	75.7	2.4	1.7
9	99	76.2	2.0	1.0

Dari hasil percobaan tersebut diperoleh bahwa terjadi perbedaan diameter antara dies dan hasil cor semisolid. Di analisa tegangan dan deformasi yang telah dilakukan diketahui bahwa dies mampu untuk menahan gaya yang diberikan saat proses pengecoran semisolid, dengan hasil deformasi di bawah 20 mikron atau sekitar 0.2% dari diameter dies, sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan diameter hasil cor semisolid dan dies adalah dikarenakan penyusutan, dengan rata-rata penyusutan hasil cor kuningan yang 2.1% untuk diameter luar dan 1.4% untuk diameter dalam. Angka penyusutan ini lebih kecil dibanding dengan penyusutan yang terjadi pada pengecoran kuningan cair dengan penyusutan sebesar 5%. [12]

**Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan teoritis, analisa software, dan pengujian pengecoran semisolid dapat disimpulkan bahwa :

- Dies yang digunakan dalam proses pengecoran semisolid ini dapat digunakan untuk memperoleh hasil seperti yang dipersyaratkan, dimana deformasi yang dialami cetakan atas (upper dies) adalah sebesar 16,27 μm, cetakan bawah (bottom dies) sebesar 11,32 μm, dan defleksi yang dialami komponen untuk mengeluarkan produk (ejector) sebesar 3,66 μm. Tegangan yang dialami dies, cetakan atas (upper dies) mengalami tegangan sebesar 1,087e+05 kPa, cetakan bawah (bottom dies) sebesar 1,568e+05 kPa dan komponen untuk mengeluarkan produk (ejector) sebesar 2,8 e+05 kPa.
- Dari analisa mulur diperoleh bahwa dies mampu digunakan sampai pada suhu 1273 derajat celcius dalam waktu 3 menit, sehingga aman untuk digunakan pada proses pengecoran semisolid ini, dimana

pengepressan dilakukan pada suhu dies 650 derajat celsius selama 15 detik.

- Perbedaan diameter hasil coran dan diameter dies dengan rata-rata 2% dan 1.4% disebabkan adanya penyusutan benda hasil cor, yang untuk pengecoran kuningan mempunyai penyusutan sekitar 5%.

### Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada :

1. Anak dan istri yang memberikan kesempatan waktu untuk mengerjakan penyelesaian makalah ini.
2. Tim kegiatan Program Baja Balai MEPPPO BPPT yang mendukung terlaksananya pembuatan makalah ini.

### Nomenklatur

A	Luas penampang benda kerja (m <sup>2</sup> )
Ac	Thermal expansion (1/C)
C	Konstanta Larson Miller
Def	defleksi (m)
Do	diameter luar dies (mm)
Di	diameter dalam dies (mm)
E	Modulus Elastisitas (Pa)
L	Panjang benda kerja (m)
P	Gaya yang dialami dies (N)
Pe	Gaya ejector (N)
Po	tekanan dalam dies (MPa)
PLM	Parameter Larson Miller (K.log(h))
S	penyusutan (mm).
T	Suhu (K)
Tp	ketebalan produk (cm)
t	waktu (jam)
te	tebal minimal dies (mm)
Tg	temperature cairan (°C)
Tm	mould temperature (°C)
U	Coefficient of friction of the Brass and steel
V	poison rasio

### Referensi

- [1] P.Kapranos, D.H.Kirkwood and C.M. Sellars, Semisolid Processing of Tool Steel, Journal De Physique IV, Volume III (1993)
- [2] Mr. Chuck Stark, Dr. Kenneth P. Young, Semisolid Metal Casting- Reducing the Cost of Copper Alloy Parts, didownload 3 September 2012
- [3] S.L. George and R.D. Knutsen, Solidification of an Al-Zn alloy During Semisolid Processing, The Journal of The Southern African Institute of Mining and

Metalurgy, Volume 11 (2011)

[4] Z. Fan, Semisolid Metal Processing, International Materials Reviews, Vol.47 (2002)

[5] W.L. Winterbottom, Semi-solid Forming Applications : High Volume Automotive Products Metalurgical Science dan Technology, Vol. 18 (2000)

[6] WTC\_Conspiracy\_Assholes.htm (2007)

[7]<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx>, Material Property Data, download September 2012

[8] [10] Help for ENGFIT Toolbox™ © TWI Ltd, Page 1 of 3 Revision 1, Calculation Example - Creep Assessment (2005)

[9][www.mathalino.com/reviewer/mechanics-and-strength-of-materials/axial-deformation](http://www.mathalino.com/reviewer/mechanics-and-strength-of-materials/axial-deformation), download September 2012

[10] Nurmuhammad Fuad, Technical Notes, Kegiatan Baja Balai MEPPPO (2012)

[11] Norman E. Dowling, Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall Int. Edition (1993)

[12][www.nadmes.org](http://www.nadmes.org), Tbel Penyusutan Kuningan, didownload Septemeber 2012