

## ANALISIS MAMPU BENTUK BAHAN BAKU SELONGSONG MUNISI Cu-Zn 70/30 SETELAH DEFORMASI PADA SUHU 500°C

### ANALYSIS FORMABILITY OF RAW MATERIALS CU - ZN MUNITIONS CASINGS 70/30 AFTER DEFORMATION AT TEMPERATURE 500°C

Eka Febriyanti<sup>a,b</sup>, Amin Suhadi<sup>b</sup>, Dedi Priadi<sup>a</sup>, Rini Riastuti<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok, 16424

<sup>b</sup>Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT, Puspiptek Serpong, 15314

E-mail : <sup>a,b</sup>eka.febriyanti@bppt.go.id atau Eka.Ndut@gmail.com

<sup>b</sup>aminsuhadi@gmail.com atau ax5662@yahoo.co.uk

<sup>a</sup>dedi@metal.ui.ac.id, <sup>a</sup>riastuti@metal.ui.ac.id

#### Abstrak

Deformasi dan perlakuan panas selalu menyertai proses pembuatan selongsong peluru karena kedua proses tersebutlah yang mampu mengatur bahan baku menjadi bentuk dan dimensi yang diinginkan serta sesuai dengan karakteristik yang dikehendaki. Padaun Cu-Zn 70/30 adalah bahan baku yang digunakan untuk pembuatan selongsong peluru, namun mampu bentuk paduan ini akibat deformasi dan perlakuan panas belum banyak diketahui. Oleh karena itu pada penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh deformasi yang dilakukan pada suhu hangat terhadap mampu bentuk dingin dengan metode *thermomechanical controlled processed* menggunakan teknologi canai hangat. Teknologi canai hangat dilakukan dengan metode *double pass reversible* sebanyak 25% x 2, 30% x 2, dan 35% x 2 pada suhu 500°C. Pengamatan mampu bentuk dilakukan dengan pengujian tarik hanya sampai perpanjangan 20% serta uji tarik sampai putus. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa sifat mampu bentuk terbaik diperoleh pada benda uji yang dideformasi canai hangat di *temperatur* 500°C dengan derajat deformasi aktual sebesar 38.7%. Apabila dilihat dari sifat mampu bentuknya maka benda uji yang dideformasi canai hangat pada kondisi parameter penelitian ini memiliki nilai elongasi sebesar 10 % dengan nilai koefisien pengerasan regang yang tinggi sebesar 0.00228, nilai anisotropi normal rata-rata sebesar 0.5452, dan nilai anisotropi planar yaitu  $\Delta r < 1$  sebesar -0.42.

**Kata Kunci** : Cu-Zn70/30, mampu bentuk, deformasi, perlakuan panas

#### Abstract

*Deformation and heat treatment are always done in manufacturing of munition casing because both processes have important role to derive raw material into the required form, dimensions and characteristics. Cu-Zn 70/30 alloy is raw material which normally used as munition casing however, its formability after deformation and heat treatment is not widely known. Therefore, this research has an objective to study the effect of deformation at warm temperature on cold formability by introducing thermomechanical controlled processed in warm rolling. Warm rolling have been conducted by double pass reversible method on 25% x 2, 30% x 2, and 35% x 2 at temperature 500°C. Evaluation of formability have been done by limited tensile test up to 20% elongation and full tensile test until rupture. The result of this research indicates that the best formability of Cu-Zn 70/30 is obtained on specimen which are deformed by warm rolling at actual degree of deformation 38.7%. Formability testing result for his specimen under designated warm rolling parameter has an elongation 10 % with strain hardening coefficient 0.00228, average normal anisotropy value 0.5452, and plannar anisotropy value  $\Delta r < 1$  is: -0.42.*

**Keywords :** Cu-Zn 70/30, formability, deformation, heat treatment

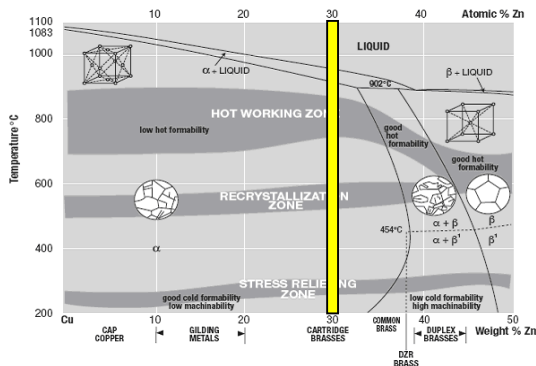
**Diterima (received) :** 13 Oktober 2015, **Direvisi (Revised) :** 16 Oktober 2015,

**Disetujui (Accepted) :** 26 November 2015

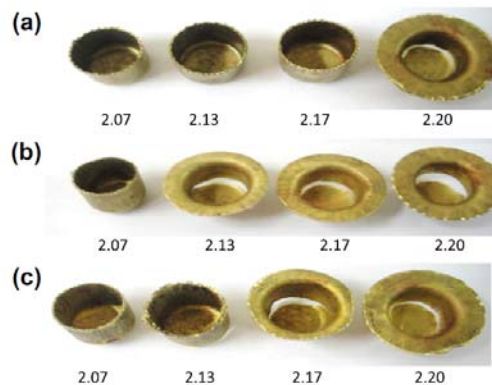
**PENDAHULUAN**

Pada proses pembuatan selongsong munisi, baik yang kaliber kecil maupun kaliber besar selalu mengalami proses pemanasan dan proses deformasi atau perubahan bentuk (*metal forming*) dalam salah satu tahapan proses pembuatannya. Misalnya proses annealing, hot rolling, cold rolling, deep drawing, flow forming serta proses ironing. Proses proses tersebut memberi energi panas, mekanis atau energi panas dan mekanis secara bersamaan kepada atom atom pada material tersebut. Sehingga secara mikroskopis struktur mikronya berubah dan perubahan struktur mikro ini berdampak pada perubahan sifat mekanis dari material. Paduan Cu-Zn70/30 adalah material yang banyak digunakan untuk bahan baku selongsong peluru. Namun permasalahannya pengaruh suhu dan deformasi terhadap karakteristik mekanis termasuk mampu bentuk dari material Cu-Zn 70/30 ini belum banyak diketahui. Karena itu pada penelitian ini dilakukan analisa mampu bentuk material Cu-Zn 70/30 setelah mengalami berbagai derajat deformasi pada suhu 500°C. Dipilihnya suhu 500°C karena pada suhu tersebut material Cu-Zn 70/30 mulai mengalami rekristalisasi (Gambar 1) sehingga fenomena persaingan antara perbaikan struktur mikro karena adanya energi panas dengan perusakan struktur mikro akibat energi mekanis sangat menentukan karakteristik bahan baku selongsong munisi yang akan diproses lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa serta mendalami bagaimana pengaruh persaingan antara perbaikan struktur mikro dan perusakan struktur mikro tersebut terhadap mampu bentuk dari material Cu-Zn 70/30. Khusus sifat mampu bentuk yang diamati karena proses pembuatan selongsong peluru baik munisi kaliber kecil maupun munisi kaliber besar didominasi oleh proses perubahan bentuk. Berhasil tidaknya proses perubahan bentuk tersebut sangat dipengaruhi oleh mampu bentuk dari material. Disamping itu produk akhir juga harus mempunyai sifat mekanis yang sesuai dengan spesifikasi standar dari selongsong peluru. Walaupun mampu bentuknya baik dan hasil proses perubahan bentuknya tanpa cacat, namun jika sifat mekanis lain seperti kekuatan tarik tidak memenuhi spesifikasi standar dari selongsong peluru berarti rangkaian proses dari material tersebut kurang tepat, sebaliknya jika kekuatan tarik terpenuhi tapi materialnya sulit dilakukan perubahan bentuk atau produknya robek, maka rangkaian proses tersebut juga belum sempurna (Gambar 2). Karena itu perlu dicari kondisi optimum dari material agar berhasil dalam proses perubahan bentuk tetapi juga produk akhirnya mempunyai sifat mekanis yang sesuai dengan standar spesifikasi dari selongsong munisi.



Gambar 1. Diagram Biner Cu-Zn dan Suhu Rekristalisasi<sup>1-2)</sup>



Gambar 2. Contoh Hasil Proses Deep Drawing pada Berbagai Suhu<sup>3)</sup>

Pada proses pembuatan selongsong munisi terutama munisi kaliber besar banyak memanfaatkan teknologi metal forming antara lain adalah proses deep drawing atau yang serupa dengan itu yaitu proses ironing yang biasanya dilakukan pada suhu kamar dimana tidak ada energi panas yang berperan. Karena itu keberhasilan proses *ironing* tergantung dari mampu bentuk dingin material Cu-Zn 70/30 yang digunakan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan *thermomechanical controlled processed* pada paduan Cu-Zn 70/30 dengan menggunakan metode teknologi canai hangat pada suhu 500°C dengan berbagai derajat deformasi. Hasil dari proses tersebut kemudian dilakukan pengujian dan pengamatan antara lain pengujian tarik dan pengamatan dengan FESEM. Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk menentukan sifat mampu bentuk dan mampu alir material secara *intrinsic* (non-simulatif). Sedangkan pengamatan FESEM digunakan untuk mengamati tekstur permukaan patahan hasil uji tarik.

Apabila lembaran logam akan digunakan sebagai bahan baku untuk proses *ironing*, diharapkan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap penipisan (anisotropi di arah normal/tegak lurus) yang dinotasikan dengan 'r', sedangkan aliran plastis di bidang lembaran terjadi dengan mudah di semua arah (anisotropi bidang) dinotasikan dengan ' $\Delta r$ ', oleh sebab itu kombinasi nilai 'r' tinggi dan ' $\Delta r$ ' rendah, nantinya akan menghasilkan kemampuan *drawability* yang optimal. Masih ada satu lagi indikator yang menunjukkan kemampuan bentuk pelat yaitu koefisien pengerasan regangan, dinotasikan dengan 'n' yang ditentukan oleh hubungan tegangan *yield* pada tingkat regangan tertentu, sehingga material dengan nilai 'n' tinggi menunjukkan indikasi mampu bentuk pelat yang baik<sup>[6M]</sup>.

## BAHAN DAN METODE

Benda uji yang digunakan adalah paduan Cu-Zn70/30 dengan komposisi yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1.

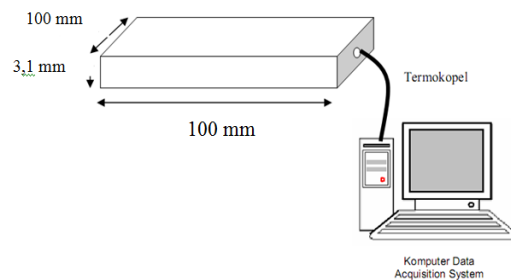
Komposisi Benda Uji Paduan Cu-Zn70/30

Unsur	Penelitian (wt%)	Target* (wt%)
Cu	69.5	69.5-72
Zn	30.7	sisa
Fe	0.026	~ max. 0.05
Sn	0.0062	~ max. 0.03
Al	< 0.002	~ max. 0.03
Ni	-	~ max. 0.2
As	< 0.001	~ max. 0.02
Pb	< 0.005	~ max. 0.05
Si	< 0.005	~ max. 0.01
Mn	0.0052	~ max. 0.04
P	< 0.003	~ max. 0.05
Sb	-	~ max. 0.01
Bi	-	~ max. 0.04

\* Target : standard PINDAD

Pengujian komposisi material paduan Cu-Zn 70/30 dilakukan dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada DTMM FTUI.

Ukuran benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat berdimensi 100 mm x 100 mm x 3,1 mm seperti yang ditampilkan pada Gambar 3, lalu dihubungkan dengan kawat termokopel tipe K berdiameter 2 mm. Pengukuran temperatur menggunakan data *acquisition system* yang dihubungkan dengan perangkat komputer.



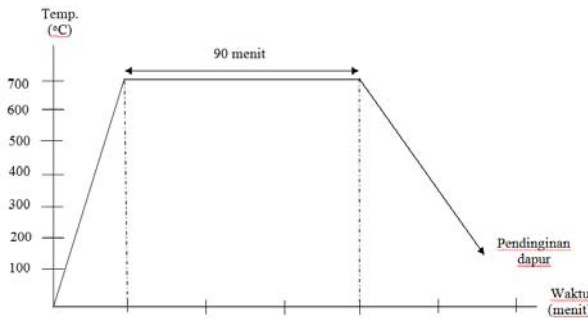
Gambar 3.

Contoh Rangkaian Pengujian Canai Hangat

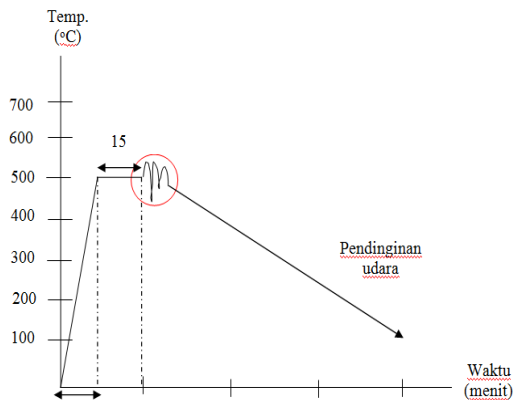
Proses deformasi canai hangat didahului dengan pemanasan sampel pada dapur karbolit dengan temperature 700°C selama 90 menit, yang kemudian dilanjutkan proses canai pada mesin *OnoRoll* kapasitas 20 tonF dengan parameter deformasi canai *double pass reverse*, secara bolak-balik sebanyak 32.25%, 35.48%, dan 38.7% yang dilanjutkan dengan pendinginan udara.

Penelitian ini diawali dengan pemanasan awal benda uji dari suhu ruang ke suhu 700°C selama 30 menit lalu ditahan selama 90 menit untuk proses homogenisasi yang bertujuan untuk menghasilkan ukuran butir yang lebih seragam, kemudian dilanjutkan

dengan pendinginan dalam oven ke suhu ruang seperti yang terlihat pada Gambar 4. Selanjutnya dilakukan pemanasan ke suhu 500°C dengan waktu 15 menit dan ditahan selama 15 menit lalu dilakukan canai hangat secara *double pass reversible* dengan derajat deformasi 32.25%, 35.48%, dan 38.7% kemudian dilanjutkan dengan pendinginan di udara, tahapan proses ditunjukkan pada Gambar 5.



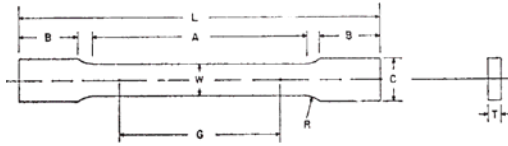
Gambar 4.  
Diagram Tahapan Homogenisasi di Suhu 700°C selama 90 Menit



Gambar 5.  
Diagram Tahapan Canai Hangat pada Suhu 500°C dengan Metode *Double Pass Reversible*

Proses canai hangat dilanjutkan dengan pengujian tarik. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan nilai keuletan. Sampel uji tarik mengacu pada standard ASTM E8<sup>4)</sup> dengan menggunakan mesin uji tarik *Servopulser Shimadzu* dan peralatan tambahan seperti jangka sorong *dial indicator*, dan perlengkapannya.

Sedangkan benda uji untuk pengujian tarik seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6.

Sampel Uji Tarik dimana L = minimal 100 mm, G = 25 mm, dan C = 10 mm

Untuk menghitung nilai UTS (*ultimate tensile strength*), YS (*yield strength*), dan  $\epsilon$  (elongasi) dari material paduan Cu-Zn 70/30 menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{UTS} = F_{max}/A_0 \quad (1)$$

$$\epsilon = (l_{max}-l_0)/l_0 \quad (2)$$

dimana :  $\sigma_{UTS}$  = Tegangan tarik maksimum;  $F_{max}$  = Gaya tarik maksimum;  $A_0$  = Luas penampang sampel awal;  $\epsilon$  = Pertambahan panjang/elongasi;  $l_{max}$  = Panjang sampel ketika kuat tarik maksimum;  $l_0$  = Panjang sampel awal

Sedangkan beberapa sifat mekanis yang menunjukkan mampu bentuk (*formability*) material yaitu :

1. Koefisien pengerasan regang/*Strain hardening coefficient* (n)
2. Anisotropi normal/*Strain plastic ratio* (R )
3. Anisotropi planar ( $\Delta R$ )

Pada pengujian tarik uniaksial untuk mendapatkan nilai kuat tarik maksimum, elongasi dan 'n' (koefisien pengerasan regang) benda uji dilakukan pengujian tarik sampai mengalami perpatahan, sedangkan dalam pengujian tarik untuk mencari nilai 'r' (anisotropi normal), pengujian tarik yang dilakukan pada sampel hanya sampai mengalami perpanjangan 10-20% dari panjang awal, dalam penelitian ini sampel ditarik hingga mengalami perpajangan 20% dari panjang awal. Sedangkan untuk nilai n berdasarkan standard E646<sup>5)</sup> menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = k \times \epsilon^n \quad (3)$$

$$\log \sigma t = \log k + n \cdot \log \epsilon t \quad (4)$$

$$n = \log \sigma t / \log \epsilon t \quad (5)$$

$$n = (n_0 + n_{45} + n_{90})/4 \quad (6)$$

dimana :  $\sigma$  = Tegangan plastis; k = koefisien kekuatan; n = koefisien pengerasan regang.

Untuk mendapatkan nilai r dan  $\Delta r$  maka pengujian tarik uniaksial dilakukan sampai material benda uji mengalami perpanjangan sebesar 10-20% dari perpanjangan awal dan perhitungannya berdasarkan standard ASTM E517<sup>6)</sup> adalah sebagai berikut :

$$r = \epsilon_w/\epsilon_t = \ln(w_o/w_i)/\ln(t_o/t_i) \quad (7)$$

$$ra = (r_o + 2r_{45} + r_{90})/4 \quad (8)$$

$$\Delta r = (r_o - 2r_{45} + r_{90})/2 \quad (9)$$

$r$  = Anisotropi normal;  $t_o$  = Tebal awal;  $\epsilon_w$ : True Strain arah lebar;  $t_i$  = Tebal akhir;  $\epsilon_t$  = True Strain arah tebal;  $w_o$  = Lebar awal;  $w_i$  = Lebar akhir

Setelah dilakukan pengujian tarik selanjutnya dilakukan pengamatan FE-SEM (*Field Emission-Scanning Electron Microscope*). Pengamatan FE-SEM bertujuan untuk mengamati tekstur permukaan patahan, sifat patahan, dan lebar dimple setelah pengujian tarik akibat pengaruh deformasi dari proses canai hangat pada benda uji paduan Cu-Zn 70/30.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses canai hangat maka dilakukan pengukuran tingkat deformasi melalui persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ Deformasi} = \frac{H_o - H_f}{H_o} \quad (10)$$

dimana : % deformasi = derajat deformasi,  $H_o$  = tebal awal benda uji (mm),  $H_f$  = tebal akhir benda uji (mm)

Sedangkan untuk menghitung besar regangan yang terjadi saat pencanaian hangat maka dapat digunakan rumus sebagai berikut<sup>7)</sup>:

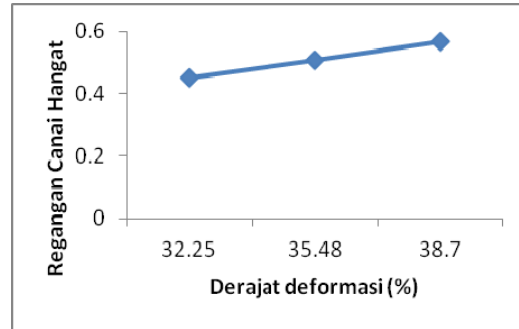
$$\epsilon = 1.155 \ln(h_o/h_f) = 1.155 \ln[1/(1-r)] \quad (11)$$

### Pengujian Tarik

Untuk data derajat deformasi (%) dan regangan canai hangat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.  
Hasil Pengukuran Dimensi Benda Uji dan Regangan setelah Canai Hangat

Ho (mm)	Hf (mm)	Derajat Deformasi (%)	Regangan Canai Hangat
3.1	2.1	32.25	0.449832
3.1	2	35.48	0.506184
3.1	1.9	38.7	0.565428



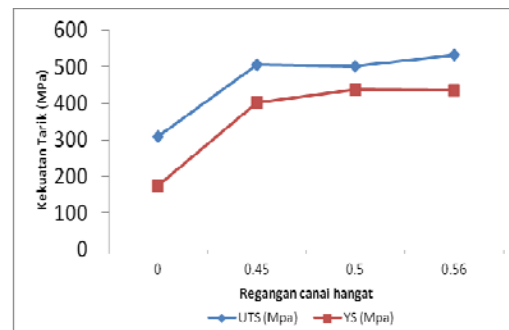
Gambar 7.  
Hubungan antara Derajat Deformasi (%) dengan Regangan Canai Hangat

Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya derajat deformasi hingga mencapai 38.7% menunjukkan tren positif terhadap peningkatan regangan hingga 0.565423.

Tabel 3.  
Data Hasil Uji Tarik Paduan Cu-Zn70/30 setelah Diproses Canai Hangat

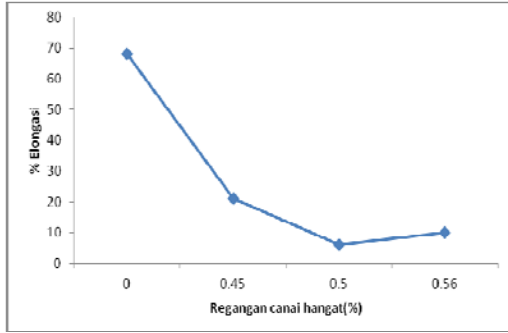
Regangan Canai Hangat	UTS (MPa)	YS[11] (MPa)	$\epsilon$ (%)
0	308.58	174.53	68
0.449832	505.18	402.04	21
0.506184	502.29	437.50	6
0.565428	533.05	435.26	10

Dari hasil uji tarik diperoleh data seperti batas kekuatan tarik (UTS), perpanjangan hingga putus (% Elongasi), dan kekuatan luluh (YS)<sup>8)</sup> dari paduan Cu-Zn 70/30. Data hasil uji tarik pelat Cu-Zn 70/30 yang telah diproses canai hangat seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 yaitu grafik hubungan regangan canai hangat terhadap kekuatan tarik UTS dan kekuatan tarik YS dan Gambar 9 yaitu grafik hubungan regangan canai hangat terhadap persentase elongasi.



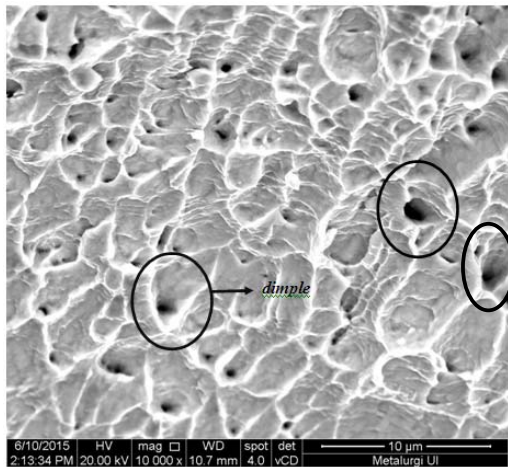
Gambar 8.  
Hubungan antara Regangan Canai Hangat dengan Kekuatan Tarik (MPa)





Gambar 9.  
Hubungan antara Regangan Canai Hangat dengan % Elongasi

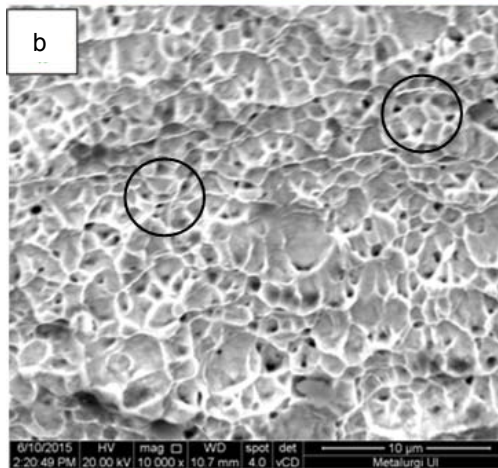
**Hasil Pengamatan FESEM Penampang Putus Uji Tarik**



**Gambar 10.**  
Foto SEM Penampang Patahan Benda Uji Tarik Pelat Cu-Zn70/30 setelah Homogenisasi pada Temperatur 700°C selama 90 Menit

Gambar 10 menunjukkan permukaan patahan pelat Cu-Zn 70/30 setelah homogenisasi 700°C selama 90 menit tanpa proses canai hangat. Kedua foto tersebut menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah patah ulet. Selain itu kedua foto tersebut juga memperlihatkan dimple-dimple yang berukuran besar (lingkaran).

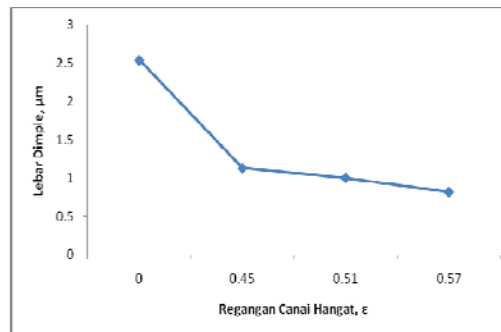
Sedangkan untuk paduan Cu-Zn 70/30 yang telah diproses canai hangat menunjukkan ukuran dimple yang relatif makin kecil dengan semakin meningkatnya regangan canai hangat. Namun, tetap menunjukkan patah ulet pada batas butir seperti yang terlihat pada 11.



Gambar 11.  
Pengamatan Patahan Hasil Uji Tarik untuk Benda Uji Canai Hangat dengan FE-SEM (a-b) Deformasi Aktual 38.7%

Tabel 4.  
Pengukuran Lebar Dimple (Mm) Penampang Putus Benda Uji Tarik

Derajat Deformasi (%)	Regangan Canai Hangat	Lebar Dimple (µm)
0	-	2.54±0.87
32.25	0.449832	1.13±0.31
35.48	0.506184	1.005±0.10
38.7	0.565428	0.82±0.23



Gambar 12  
Hubungan antara Regangan Canai Hangat dengan Lebar Dimple pada Benda Uji Paduan Cu-Zn70/30

Peningkatan derajat deformasi aktual berbanding lurus dengan penambahan regangan canai hangat seperti yang terlihat pada Gambar 7 dimana dengan semakin meningkatnya derajat deformasi aktual hingga mencapai 38.7% menunjukkan tren positif terhadap peningkatan regangan mencapai 0.565428 yang menyebabkan lebar dimple semakin kecil seiring dengan bertambahnya regangan canai hangat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Hal tersebut juga sesuai dengan beberapa penelitian yang dilakukan terhadap logam Cu-Zn dan tembaga murni juga menunjukkan kecenderungan yang sama dimana dengan semakin besar regangan maka ukuran/lebar dimple semakin kecil.

Menurut Beata Mallakova<sup>9)</sup> melaporkan bahwa fraktografi penampang putus dari tembaga murni yang diproses dengan *Equal Channel Angular Rolling* (ECAR) sampai 33 pass menunjukkan bahwa tembaga yang diproses ECAR adalah *transcrystalline ductile* dengan morfologi *dimple* yang disertai dengan deformasi yang cukup besar.

Hasil uji tarik sampel paduan Cu-Zn yang telah diproses ARB sampai 6 pass yang dilakukan S.Pasebani dkk<sup>10)</sup> menunjukkan patahan dimple yang lebih dangkal. Hal ini menunjukkan paduan Cu-Zn telah menerima regangan yang lebih besar terlihat lebih getas dengan dimple yang lebih halus. Sedangkan menurut J.M Cobos<sup>11)</sup> menunjukkan penampang putus hasil uji tarik yang diproses *cryogenic* DSD dengan regangan 1.6 terlihat lebih ulet dengan lembah yang lebih dalam.

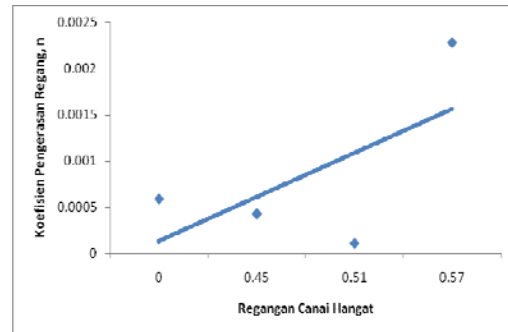
### Pengujian Mampu Bentuk

#### Hasil Perhitungan Koefisien Pengerasan Regang (n)

Koefisien pengerasan regang (n) merupakan kemampuan pelat untuk diregangkan dalam keadaan tarik dua sumbu terhadap profil permukaan berbentuk pelat. Nilai n atau koefisien pengerasan regang ditentukan oleh ketergantungan dari tegangan alir (luluh) pada tingkat tegangan tertentu. Material dengan nilai n tinggi, tegangan alir meningkat cepat dengan regangan<sup>12)</sup>.

Tabel 5.  
Pengukuran Nilai Koefisien Pengerasan Regang

Derajat Deformasi (%)	Regangan Canai Hangat	Nilai n
0	-	0.00059
32.25	0.449832	0.00043
35.48	0.506184	0.00011
38.7	0.565428	0.00228



Gambar 13.

Hubungan antara Regangan Canai Hangat dengan Koefisien Pengerasan Regang (nilai n) pada Benda Uji Paduan Cu-Zn70/30

Nilai n pada Gambar 13 menunjukkan tren yang positif dimana dengan semakin meningkatnya regangan mencapai 0.5654 maka nilai koefisien pengerasan regang (n) semakin tinggi. Jadi, dengan semakin meningkatnya koefisien pengerasan regang maka regangan maksimum yang tercapai untuk proses *deep drawing* dan *stretching* semakin tinggi.

#### Hasil Perhitungan Anisotropi Normal/Anisotropi Platis dan Anisotropi Planar (Δr)

Anisotropi normal ialah sifat ketahanan bahan terhadap penipisan. Semakin besar nilai ra suatu bahan berarti ketahanan terhadap penipisan arah penebalannya juga besar.

Tabel 6.  
Pengukuran Nilai Anisotropi Normal (r) dan Anisotropi Planar (Δr)

Derajat Deformasi (%)	Regangan Canai Hangat	Nilai r	Nilai Δr
0	-	0.38	0.19
32.25	0.449832	1.277	0.286
35.48	0.506184	1.003	0.280
38.7	0.565428	0.916	-0.21

Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (7-9)<sup>6)</sup> pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai  $r$  tertinggi terdapat pada benda uji yang dilakukan canai hangat dengan regangan canai hangat mencapai 0.45.

Sedangkan nilai  $\Delta r$  yang lebih besar dari 0 menunjukkan cacat *earing* yang terbentuk semakin tinggi terutama pada arah canai 0° dan 90° pada produk hasil tarik dalam. Dari Tabel 6 didapatkan data bahwa  $\Delta r$  terendah terdapat pada benda uji yang diberi perlakuan canai hangat 500°C dengan regangan canai hangat mencapai 0.57

Oleh karena itu, dari hasil pengujian secara intrinsic (non-simulasi) hasil perlakuan yang memenuhi persyaratan untuk mampu tarik dalam adalah benda uji yang memiliki nilai  $n$  dan  $r$  tertinggi. Namun, karena produk hasil *ironing* diharuskan memiliki cacat pengupingan yang rendah maka nilai  $\Delta r$  harus di bawah nol sehingga benda uji yang sesuai untuk persyaratan aplikasi mampu tarik dalam adalah yang diberi perlakuan canai hangat di temperatur 500°C dengan regangan canai hangat mencapai 0.57.

## SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada pelat paduan Cu-Zn70/30 di atas diperoleh kesimpulan bahwa, dari semua parameter yang digunakan dalam penelitian ini, maka yang menghasilkan mampu bentuk dingin terbaik dari paduan Cu-Zn70/30 yaitu proses deformasi canai hangat yang dilakukan dengan derajat deformasi aktual 38.7% dan regangan canai hangat 0.565428.

Dengan peningkatan regangan canai hangat menghasilkan penurunan persentase elongasi mencapai 6% di regangan 0.51 lalu meningkat sebesar 10% di regangan 0.57. Pada regangan canai hangat 0.57 menghasilkan nilai koefisien pengerasan regang ( $n$ ) tertinggi sebesar 0.00228.

Pada regangan canai hangat 0.57 menghasilkan nilai anisotropi normal/anisotropi plastis ( $r_a$ ) yang tinggi sebesar 0.916, dan Pada regangan canai hangat 0.57 menghasilkan nilai anisotropi planar di bawah nol sebesar -0.21 yang berarti menurunkan terbentuknya cacat pengupingan pada produk pelat paduan Cu-Zn70/30

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada seluruh karyawan B2TKS khususnya dan kegiatan MKB (Munisi Kaliber Besar), sebagai

tempat dilakukannya penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan lancar.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Zhiming Li, Liming Fu, Bin Fu, Aidang San, *Effect Annealing on Microstructure and Mechanical Properties of Nano-grained Titanium Produced by Combination Asymmetric and Symmetric Rolling*, Material Science and Engineering An 568, 2012, pp.309-318
2. William D.Callister Jr., *An Introduction : Material Science and Engineering*, John Wiley & Son, Inc., 2007, pp.373
3. K.Hajizadeh, et.al., *Study of Texture, Anisotropy, and Formability of Cartridge Brass Sheets*, Journal of Alloys and Compounds, vol.588, 2014, pp.690-696
4. ASTM E8, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, 2003
5. ASTM E646, *Standard Test Methods for Tensile Strain Hardening Exponents*, 2003
6. ASTM E517, *Standard Test Methods for Plastic Strain Ratio  $r$  for Sheet Metal*, 2003.
7. Guy and Hren, *Elements of Physical Metallurgy*, Addison Wesley, 1974
8. M.Aghaie-Khafri, A.Mohebbati-Jouibari, *Thermomechanical Treatment of 70/30 Brass Containing Iron Impurity*, Journal of Material Science, vol. 41, 2006, pp.7585-7589
9. Beata Mallakova, et.al, *Fracture Analysis and Local Mechanical Properties of Copper Processed by ECAR*, Acta Metall-Slovaca Conference, vol.3, 2013, pp.259-263
10. Pasebani, Somayah, Toroghinejad M.Reza, M. Hosseini, Jerzy Szpunarc, *Textural Evolution Nano-grained 70/30 Brass Produced by Accumulative Roll-Bonding*, Material Science and Engineering A, vol.527, 2010, pp.2050-2056
11. Cobos-Higuera, J.M.Cabrera, *Mechanical , Microstructural and Electrical Evolution of Commercially Pure Copper Produced by ECAP*, Material Science and Engineering A, vol. 571, 2013, pp.103-114
12. *Strain Hardening and Formability*, Technical Tidbits, vol. 6, no.5, November-Desember 2005