

# PERUBAHAN MORFOLOGI STRUKTUR MIKRO PADUAN Cu-Zn 70/30 YANG DILAKUKAN TMCP DI SUHU 300°C

Eka Febriyanti<sup>1,\*</sup>, Amin Suhadi<sup>1</sup>, Ayu Rizeki Ridhowati<sup>2</sup>, Rini Riastuti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi PUSPIPTEK, Serpong, 16314, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

\*Email: [eka.febriyanti@bppt.go.id](mailto:eka.febriyanti@bppt.go.id)

Diterima: 20-02-2017

Direvisi: 18-04-2017

Disetujui: 01-06-2017

## ABSTRAK

Paduan Cu-Zn 70/30 kerap digunakan dalam berbagai alat untuk aplikasi industri. Namun, paduan Cu-Zn memiliki kelemahan yaitu mudah terserang korosi akibat terpapar lingkungan korosif seperti ion klorida (Cl<sup>-</sup>). Oleh karena itu, karakteristik tersebut dapat menurunkan efisiensi kerja alat. Pada penelitian ini digunakan metode pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan ketangguhan dan ketahanan korosi sekaligus kualitas permukaan paduan Cu-Zn 70/30 dengan *Thermomechanical Control Process* (TMCP). Pengerjaan canai hangat dilakukan dengan metode bolak-balik sebanyak 2x25%, 2x30%, dan 2x35% pada suhu 300°C. Suhu hangat merupakan suhu di antara pengerjaan panas dan dingin untuk memperoleh butiran kecil dengan batas butir yang sempit. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pada peningkatan deformasi dari 31.63% menjadi 48.93% maka terjadi penurunan ukuran diameter butir rata-rata dari 50.53µm menjadi 24.41µm. Hal tersebut disebabkan karena adanya *partial recrystallization* yang diindikasikan dengan adanya butir kecil baru.

**Kata kunci :** Paduan Cu-Zn 70/30, canai, TMCP, ukuran butir

## ABSTRACT

*Cu-Zn 70/30 alloy are used for various equipment to industry application. However, Cu-Zn 70/30 alloy has a weakness that is susceptible corrosion due to exposure to corrosive environments such as chloride ion (Cl<sup>-</sup>). Therefore, these characteristics can reduce working efficiency and performance equipment. This research focuses to study about increasing of toughness, corrosion resistance, and surface quality from Cu-Zn 70/30 alloy by conducting Thermomechanical Control Process (TMCP). Warm rolling on temperature 300°C is experienced by double pass reversible method with deformation 2x25%, 2x30%, and 2x35%. Warm temperature is temperature between hot and cold work for obtain small grains with a narrow grain boundaries. The result showed that as the increase of deformation degree from 31.6% to be 48.93% causes a decrease diameter grain size, the size of the average grain size decrease from 50.53 µm to be 24.41 µm. This phenomenon is due to partial recrystallization which is indicated by existence of nuclei.*

**Keywords :** Cu-Zn 70/30 alloy, rolling, TMCP, grain size

## PENDAHULUAN

*Thermomechanical Control Process* (TMCP) ialah proses deformasi material dengan pengontrolan ataupun perancangan proses perlakuan panas dan struktur mikro

guna menghasilkan produk dengan sifat-sifat mekanis

yang lebih baik lagi. Salah satu jenis TMCP yang sedang dikembangkan ialah TMCP menggunakan metode canai yang dilakukan pada rentang temperature TMCP ialah

$0.35T_m < T_m < 0.5T_m$ [1]. Material yang mengalami pengerjaan hangat (*warm working*) akan mengalami pengerasan regangan (*strain hardening*) dan rekristalisasi sebagian[2]. Dengan mengatur kondisi proses seperti temperatur, % deformasi, dan mesin canai padapengerjaan hangat, maka akan dihasilkan butir yang halus. Semakin halusnya butir maka batas butir yang terbentuk akan banyak sehingga pergerakan dislokasi akan terhambat.

Pada penelitian oleh Eka Febriyanti [3], dilakukan TMCP pada temperature pengerjaan hangat  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ , dan  $500^{\circ}\text{C}$  dengan media pendingin udara dan metode canai bolak-balik sebanyak dua kali *pass*. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin besarnya % deformasi, maka butir semakin halus. Hasil penelitian tersebut memang sesuai dengan metode penghalusan butir menggunakan parameter Hall-Petch, namun derajat deformasi aktual tidak sesuai dengan teoritis. Berdasarkan hal tersebut, dirasa perlu untuk mempelajari lebih dalam mekanisme penghalusan butir melalui proses canai hangat dengan pengontrolan temperature pemanasan sebelum benda diberikan pengerjaan canai hangat.

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari evolusi struktur mikro pada paduan Cu-Zn (70/30) setelah dilakukan proses canai hangat di suhu  $300^{\circ}\text{C}$  dengan metode *double pass reversible*.

## METODE PENELITIAN

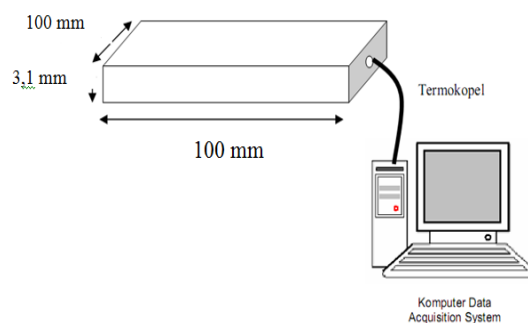
Paduan Cu-Zn yang digunakan merupakan klasifikasi *paduan Cu-Zn (70/30)* (Cu-Zn 70/30) dengan komposisi benda uji hasil *Optical Emission Spectroscopy* seperti yang terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi benda uji paduan Cu-Zn 70/30

Unsur	Penelitian (wt%)	UNS C 26000 (wt%)[4]
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

Benda uji yang awalnya berdimensi 100 mm x 100mm x 31 mm dipotong menjadi pelat berdimensi 100 mm x 50 mm x 31 mm. Pada salah satu ujung benda uji dibor untuk membua lubang sebesar 25 mm yang digunakan sebagai penjepit kawat *thermocouple*. Kawat termokopel berfungsi sebagai alat untuk mengukur temperature. Kawat *thermocouple* tipe K yang dimasukkan ke lubang harus terjepit dengan baik karena pada saat canai, kawat juga akan ikut terdeformasi. Jika penjepitan kurang sempurna, maka kawat akan terlepas dan data suhu pada proses canai tidak dapat diambil. Pengukuran temperatur menggunakan data *acquisition system* yang dihubungkan dengan komputer seperti pada.



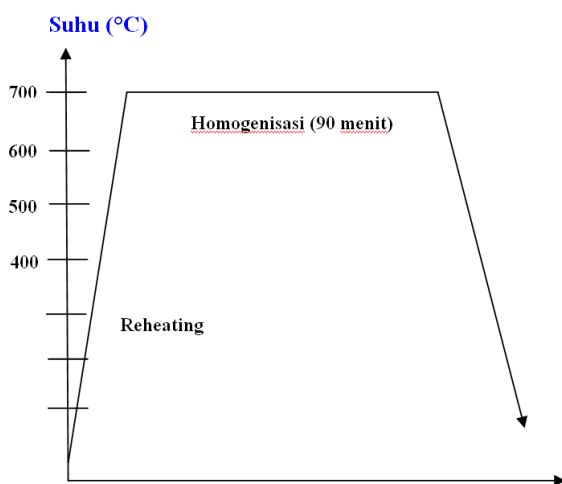
**Gambar 1.** Contoh rangkaian pengujian canai hangat [3]

Proses TMCP yang dilakukan yaitu seluruh benda yang telah dipreparasi selanjutnya dilakukan proses canai pada Temperatur  $300^{\circ}\text{C}$ . Benda uji dipanaskan sampai suhu  $700^{\circ}\text{C}$  kemudian ditahan selama 90 menit lalu suhu diturunkan ke suhu deformasi yaitu  $300^{\circ}\text{C}$  lalu ditahan selama 120 menit sebelum dicanai menggunakan mesin rol. Sesudah material dicanai, material dipanaskan kembali sampai suhu  $300^{\circ}\text{C}$  lalu ditahan selama 120 menit.

Benda uji yang digunakan ada 4 yaitu masing-masing benda uji A, B, C, dan D.

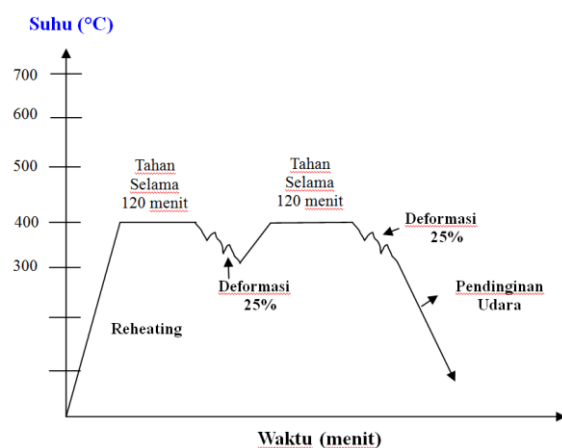
Benda uji A adalah benda uji awal yang tidak mengalami proses deformasi namun

mengalami proses pemanasan awal pada temperature 700°C selama 90 menit lalu



**Gambar 2.** Diagram tahapan homogenisasi di suhu 700°C selama 90 menit[[3]]

Benda uji B benda uji yang telah dilakukan diberikan perlakuan panas berupa proses homogenisasi seperti yang telah diberikan pada benda uji A lalu dilanjutkan pemanasan pada suhu 400°C dengan deformasi sebesar 25%, kemudian dipanaskan pada suhu 400°C dengan deformasi sebesar 25% lalu didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 3.

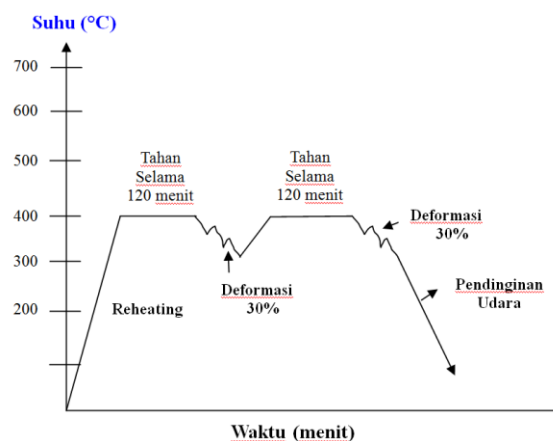


**Gambar 3.** Diagram tahapan canai pada suhu 400°C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi teoritis 25%+25%

Benda uji C dipanaskan hingga suhu 700°C selama 90 menit lalu dilanjutkan pemanasan pada suhu 400°C dengan deformasi sebesar 30%, kemudian dipanaskan pada suhu 400°C dengan deformasi sebesar 30% lalu

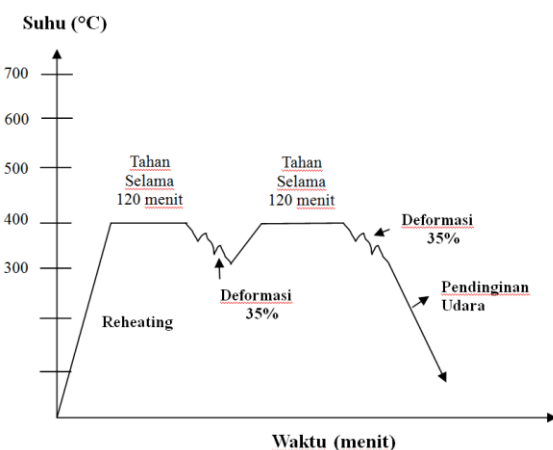
didinginkan dengan media dapur yang diilustrasikan dengan Gambar 2.

didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram tahapan canai pada suhu 400°C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi teoritis 30%+30%

Benda uji D dipanaskan hingga suhu 700°C selama 90 menit lalu dilanjutkan pemanasan pada suhu 400°C dengan deformasi sebesar 35%, kemudian dipanaskan pada suhu 400°C dengan deformasi sebesar 35% lalu didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram tahapan canai pada suhu 400°C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi teoritis 35%+35%

**Tabel 2.** Pengkodean benda uji paduan Cu-Zn 70/30

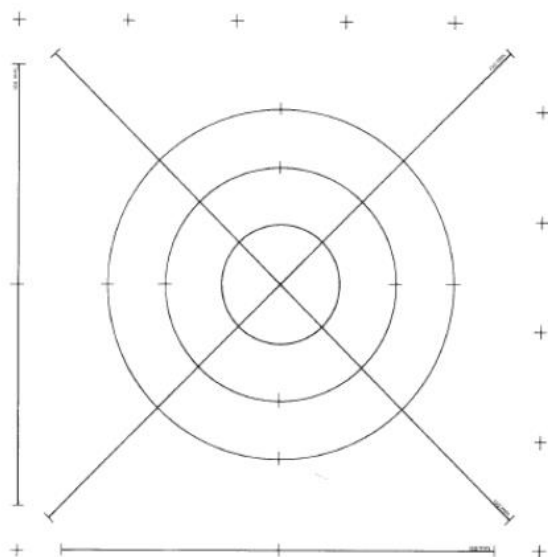
No.	Kode	Suhu (°C)	Waktu Tahan (menit)	% Teori	Ket. Cooling
1	A	700	90	-	
2	B	400	120	25-25	Udara
3	C	400	120	30-30	Udara
4	D	400	120	35-35	Udara

Proses canai hangat dilanjutkan dengan pengamatan metalografi. Pengamatan metalografi ini bertujuan untuk melihat struktur mikro material paduan Cu-Zn 70/30. Dalam pengamatan ini digunakan standar ASTM E3 – 01. “*Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens*”[5]. Pertama-tama, sampel dipotong untuk mempermudah proses pengujian metalografi. Lalu sampel dipasang pada blok polimer untuk memudahkan dalam proses pengamplasan dan pemolesan. Kemudian, sampel diampelas dengan kertas amplas dimulai dari grit #80, #200, #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500 (dalam *mesh*). Proses pengamplasan dilakukan dengan mengubah arah pengamplasan setiap pergantian tingkat kekerasan kertas amplas, sehingga bisa dipastikan sisa pengamplasan sebelumnya telah hilang dan didapat permukaan benda uji yang halus. Selanjutnya, sampel dipoles dengan ditambahkan pasta kovac sampai mengkilap. Setelah itu, sampel dietsa dengan zat etsa ferric klorida atau 10% FeCl<sub>3</sub> yang terdiri atas 10gr FeCl<sub>3</sub> dan 100 ml alcohol 96%. Terakhir dilakukan pengamatan sampel di mikroskop mdengan perbesaran 100x, 200x, dan 500x menggunakan mikroskop optik pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Mikroskop optik

Setelah dilakukan pengamatan metalografi, lalu dilakukan pengukuran besar butir *equiaxed*. Untuk pengujian dan perhitungan besar butir digunakan standar ASTM E112 “*Standard Test Method for Determining Average Grain Size*”[6]. Pada penelitian ini, digunakan metode Heyn seperti yang diilustrasikan dengan Gambar 7. Pertama-tama, dibuat 3 lingkaran yang memiliki diameter masing-masing sebesar 79,58 mm, 53,05 mm, dan 26,53 mm dimana ketiga lingkaran tersebut digabung menjadi satu dengan panjang total ketiga garis lingkaran tersebut 500 mm. Kemudian perpotongan garis ketiga lingkaran dengan batas butir antara satu butir dijumlah dengan mengabaikan butir twins.



**Gambar 7.** Pengukuran batas butir equiaxed dengan metode intercept heyn

Kemudian, banyaknya batas butir yang berpotongan (P) dengan ketiga lingkaran tersebut dihitung. Lalu, dimasukkan ke rumus berikut:

$$PL = (P \times M) \div Lt \quad (1)$$

$$L3 = 1 \div PL \quad (2)$$

$$G = [-6,643 \log(L3) - 3,2877] \quad (3)$$

dimana:

P = jumlah titik potong (P) batas butir dari total garis yang dalam hal ini berbentuk lingkaran

PL = jumlah titik potong per satuan panjang

M = perbesaran (jika 200x, nilai M=200)

LT = panjang garis total (500 mm)

L3 = panjang garis perpotongan (mm)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengukuran Benda Uji

Berdasarkan persamaan 4 maka didapatkan hasil pengukuran ketebalan benda uji setelah dilakukan canai pada suhu 300°C:

$$\% \text{ reduksi} = ((hf - ho) \div ho) \times 100\% \quad (4)$$

**Tabel 3.** Hasil pengukuran dimensi benda uji sebelum dan sesudah proses pencanaian pada temperatur 300°C dengan media pendingin udara

Kode	Ho (m)	Hf (mm)	$\Delta Hh$ (mm)	% Teori	% Aktual	Error Canai (%)
A	3,1	-	-	-	-	-
B	3,1	2,12	0,98	50	31,61	63,22
C	3,1	1,8	1,3	60	41,39	69,89
D	3,1	1,6	1,5	70	48,39	69,13

Ketidaksesuaian untuk tiap persentase deformasi tertuang dalam persentase error canai dimana deformasi teoritis 2x25% kesalahan canai sebesar 63,22%. Untuk deformasi teoritis 2x30% kesalahan canai sebesar 69,99%. Sedangkan untuk deformasi teoritis 2x35% kesalahan canai sebesar 69,13%. Ketidaksesuaian antara deformasi actual dengan teoritis disebabkan beberapa hal yaitu faktor alat akibat keterbatasan kemampuan alat. Pencanaian hangat dengan menggunakan metode *double pass* dilakukan agar suhu material benda uji saat proses canai pada suhu 300°C terjaga, namun proses *double pass* membutuhkan gaya tekan yang lebih besar dibandingkan dengan *multipass* saat canai pada suhu 300°C. Oleh karena kebutuhan gaya tekan yang besar tidak dapat diakomodir oleh alat *roller*, maka target deformasi tidak sesuai dengan target teoritis yang diinginkan.

Faktor lainnya diindikasikan karena adanya faktor dari material benda uji paduan Cu-Zn 70/30. Ketika deformasi canai pada suhu 3000C ternyata terdapat efek *anneal hardening*. Efek *anneal hardening* terjadi dibawah suhu rekristalisasi, yakni dalam range 152-300°C [7] selama 120-240 menit [8].

Fenomena *anneal hardening* telah diinvestigasi pada paduan Cu yang mengandung Al, Ni, Au, Ga, Pd, Rh, dan Zn. Fenomena ini terjadi karena adanya segregasi unsur paduan dalam Zn kearah dislokasi yang dapat dianalogikan seperti pembentukan atmosfer Cottrell pada larutan padat interstisi. Hal ini menyebabkan tegangan alir meningkat karena pengikatan atom paduan Zn dengan dislokasi. Oleh karena itu, dibutuhkan gaya yang lebih tinggi untuk melanjutkan proses

deformasi [8]. Untuk menghilangkan *anneal hardening* pada paduan Cu-Zn yang ingin dideformasi lebih dari 20%, maka sampel uji perlu dianil kembali pada temperature kritis selama 120-240 menit sebelum proses deformasi selanjutnya. Pada penelitian ini, pemanasan tiap *pass* dilakukan pada suhu 400°C selama 120 menit, maka kekerasan benda uji sebelum proses deformasi kedua masih sangat tinggi.

Sedangkan untuk menghitung besar ( $\epsilon$ ) dan laju regangan ( $\dot{\epsilon}$ ) maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\epsilon = 1,155 \ln(h_o \div h_f) \quad (5)$$

$$= 1,155 \ln[1 \div (1 - r)]$$

$$\dot{\epsilon} = \epsilon \times vR \div \sqrt{[R(h_o - h_f)]} \quad (6)$$

dimana  $vR$  adalah kecepatan *roll* (mm/s) dan  $R$  adalah jari-jari *roll* (mm). Pada penelitian ini, digunakan kecepatan *roll* sebesar 8m/menit atau 133,34 mm/detik dan besar jari-jari rol adalah 52 mm.

**Tabel 4.** Hasil pengukuran regangan dan laju regangan sampel

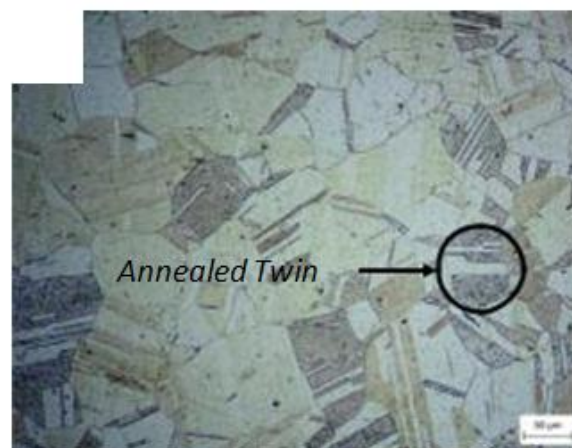
Kode	Ho (mm)	Hf (mm)	$\epsilon$	$\dot{\epsilon}$
A	3,1	0	0	0
B	3,1	2,12	0,439	7,139
C	3,1	1,8	0,628	8,222
D	3,1	1,6	0,764	11,533

### Hasil Pengamatan Metalografi

Benda uji pada penelitian ini ialah pelat yang sebelumnya telah diberikan perlakuan berupa canai panas sebanyak 10 pass yang kemudian diberikan canai dingin sebanyak 40 pass, kemudian dilanjutkan dengan anil yang bertujuan untuk mendapatkan struktur mikro yang halus dari proses canai dingin.

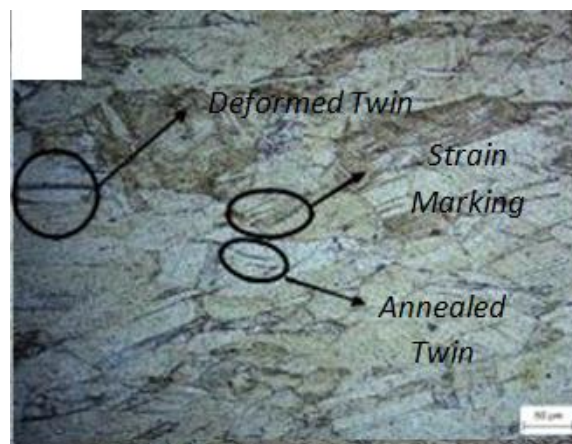
Gambar 8 merupakan struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 pertama dihomogenisasi pada temperatur 700°C selama 90 menit dengan tujuan untuk menghasilkan struktur mikro yang lebih seragam. Dari pengukuran besar butir menghasilkan diameter butir rata-rata sebesar 73,05 $\mu$ m. Adapun terlihat butir dengan *twin* berbentuk garis-garis

sejajar[9-11] yang ditunjukkan pada Gambar 8.



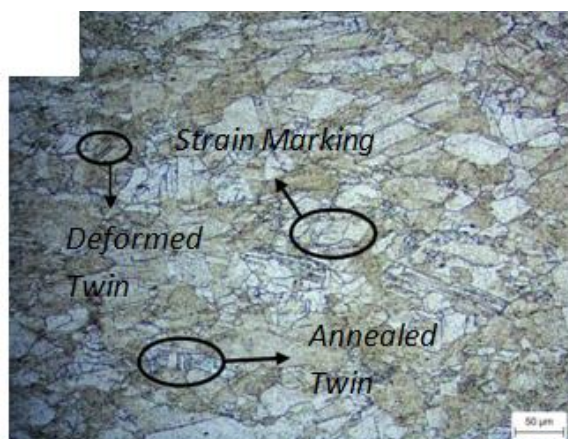
**Gambar 8.** Struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 dengan besar deformasi 0%

Kemudian pada Gambar 9 terlihat adanya pemipihan butir dari butir yang awalnya *equiaxed* (Gambar 8) menjadi lebih *elongated* searah pencanaian akibat deformasi sebesar 31,61%. Selain itu, terlihat adanya *strain marking*, *annealed twin* dan *deformed twin*.



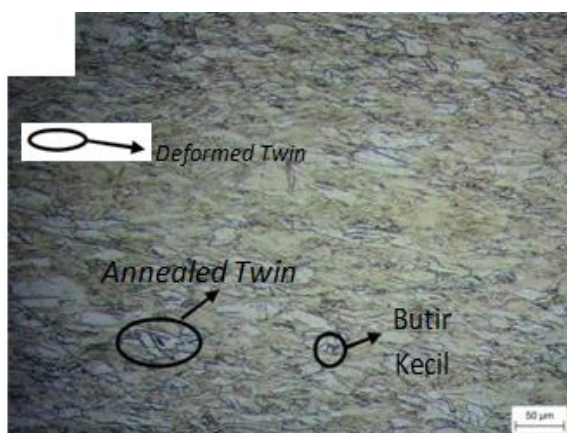
**Gambar 9.** Struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 dengan besar deformasi 31,61%

Hampir sama dengan Gambar 9, pada Gambar 10 terlihat adanya *strain marking*, *deformed twin*, dan *annealed twin*. Namun, pada Gambar 10 butir yang lebih pipih dibandingkan Gambar 9 akibat pencanaian hangat dengan deformasi sebesar 41,93%.



**Gambar 10.** Struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 dengan besar deformasi 41,93%

Selanjutnya pada Gambar 11 tampak butir sangat pipih dan terbentuknya butir kecil (*nuclei*) akibat perlakuan pencanaan dingin dengan deformasi sebesar 48,39%. Kehadiran *nuclei* ini merupakan indikasi bahwa telah terjadi rekristalisasi dinamis sebagian.



**Gambar 11.** Struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 dengan besar deformasi 48,39%

### Hasil Pengukuran Besar Butir

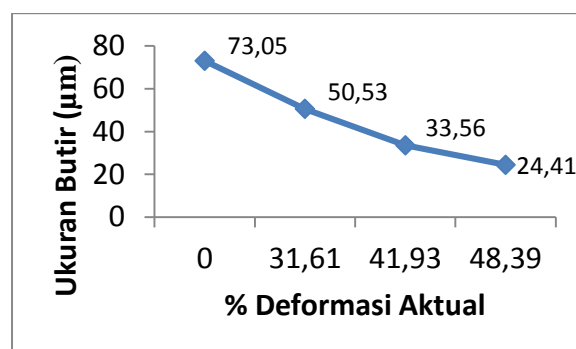
Ukuran diameter butir paduan Cu-Zn akan berubah setelah dilakukan pengerjaan canai pada temperatur 300°C. Hal ini ditunjukkan oleh hasil perhitungan butir paduan Cu-Zn dengan menggunakan metode *Intercept Heyn* sesuai dengan standar ASTM E112[6] yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

**Table 5.** Hasil pengukuran besar butir paduan Cu-Zn 70/30

Benda Uji	Deskripsi	G (ASTM)	Perbesaran x (kali)	Besar Butir (µm)
A	Homogenisasi 700°C (90 menit)	4,6	200	73,05
B	300°C + 31,61%	5,15	200	50,53
C	300°C + 41,93%	6,85	200	33,56
D	300°C + 48,39%	7,77	200	24,41

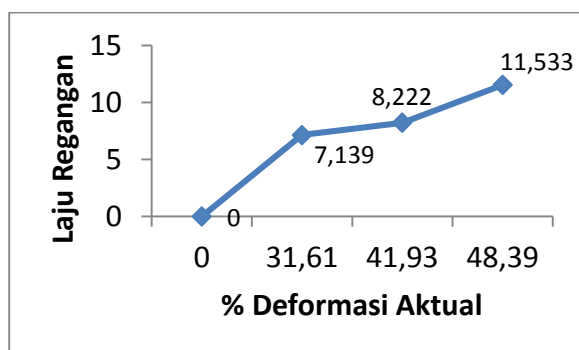
### Hubungan Besar Deformasi dengan Ukuran Butir

Pada Gambar 12 terlihat bahwa dengan meningkatnya besar deformasi aktual yang diberikan pada proses hangat mengakibatkan butir yang terbentuk berukuran kecil atau semakin halus. Melalui perlakuan canai pada suhu 300°C pada material, butir sampel yang awalnya berbentuk *equiaxed* akan memipih karena mengalami elongasi yang menghasilkan pengerasan regang (*strain hardening*) pada struktur mikro paduan Cu-Zn.



**Gambar 12** Hubungan besar deformasi dengan besar butir

Pada Gambar 13 terlihat hubungan besar ukuran butir hasil deformasi dengan besar laju regangan (*strain rate*) yang dihasilkan dari proses canai. Semakin meningkatnya besar deformasi yang diberikan pada sampel, maka laju regangan juga akan meningkat akibat semakin meningkatnya nilai regangan material setelah proses canai yang mengakibatkan terjadinya reduksi pada ketebalan sampel.



**Gambar 13.** Hubungan besar deformasi aktual dengan laju regangan

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengerjaan canai hangat pada suhu 300°C metode bolak-balik dapat disimpulkan bahwa proses canai hangat pada suhu 300°C menunjukkan semakin besar deformasi yang diberikan maka ukuran butir akan semakin mengecil. Benda uji yang mengalami deformasi aktual terbesar (48,39%) mempunyai diameter rata-rata butir yang paling kecil yaitu 24,41µm, benda uji dengan deformasi 41,93% mempunyai diameter rata-rata butir sebesar 33,56µm, benda dengan deformasi 31,61% mempunyai diameter butir 31,61% dan benda uji dengan deformasi mempunyai diameter rata-rata 73,05µm.

Selain itu, proses canai hangat pada suhu 300°C menunjukkan adanya *strain marking*, *deformed twin* dan *annealed twin* pada deformasi sebesar 31,61% dan 41,93%. Sedangkan pada deformasi 48,39% terlihat adanya butir baru hasil dari rekristalisasi dinamis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Frechard, S., dkk, Mechanical Behaviour of Nitrogen-Alloyed Austenitic Stainless Steel Hardened by Warm Rolling, *Material Science and Engineering A*, 2006, Vol. 415, pp.219-224
- [2] Kozasu, I., *Material Science and Technology: Constitution and Properties of Steels Ed.VCH* (2007), hal.184
- [3] Febriyanti, Eka, Dedi Priadi, dan Rini Riastuti., Pengaruh Thermo Mechanical Controlled Processed (TMCP) terhadap Penghalusan Butir dan Sifat Mekanik Paduan Cu-Zn 70/30, *Majalah Metalurgi*, 2015, Vol.30, No.3, pp. 141-148
- [4] ASTM B36M-13, Standard Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar. *American Standard for Testing Materials Press* (2003)
- [5] ASTM E3-01, Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens. *American Standard for Testing Materials Press* (2012)
- [6] ASTM E112, Standard Test Method for Determining Average Grain Size. *American Standard for Testing Materials Press* (2012)
- [7] Nestorovic, S., dkk, Anneal Hardening Effect in Sintered Copper Based Alloy, *Journal Science of Sintering*, 2002, Vol.34, pp.169-174
- [8] Nestorovic, S., dkk, Influence of Deformation Degree at Cold Rolling on The Anneal Hardening Effect in Sintered Copper Based Alloy, *Journal of Mining and Metallurgy*, 2004, Vol.40B, Issue 1, pp.101-109
- [9] Humphreys, F.J., dan M. Hatherly, *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*, Pergamon Press (2004)
- [10] Ozgovic, W., dkk, The Microstructure and Mechanical Properties of The Alloy Cu-Zn 70/30 after Recrystallization Annealing". *Journal of Achieve in Material and Manufacturing (JAMME)*, 2010, Vol.40, Issue 1
- [11] Radovic, L.J., dkk, The Influence of Thermomechanical Treatment on Recrystallization of Al Mg<sub>4,5</sub> Cu<sub>0,5</sub> Alloy". *Metallurgija Journal of Metallurgy*, 2008, pp.83-88