

ANALISA FRAKTOGRAFI PADUAN Cu-Zn 70/30 PADA BERBAGAI % DEFORMASI CANAI HANGAT

Eka Febriyanti^{1,2}, Amin Suhadi², Dedi Priadi¹, Rini Riasuti¹

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

²Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi PUSPIPTEK, Serpong, 16314, Indonesia

Email : eka.febriyanti@bppt.go.id

ABSTRAK

TMCP (*Thermo mechanical controlled process*) merupakan suatu proses perubahan bentuk suatu material dengan cara memberikan regangan plastis yang besar dan terkontrol terhadap material. Salah satu metode TMCP yang sedang dikembangkan adalah pengerjaan canai hangat karena memiliki banyak kegunaan seperti dapat memberikan efisiensi energi dan kemudahan dalam pengontrolan dimensi. Pengerjaan canai hangat dengan menggunakan variasi persentase deformasi sebanyak 32,25%; 35,48%; dan 38,7% dari penelitian canai hangat di suhu 500°C secara *double pass reversible* dilakukan pada pelat paduan Cu-Zn 70/30. Dengan melakukan pemeriksaan fraktografi menggunakan analisa *field emission scanning electron microscope* (FESEM) dapat dilihat bahwa patahan uji tarik pada material paduan Cu-Zn 70/30 memiliki ukuran dimple yang semakin kecil dan bentuk dimple yang lebih dangkal seiring dengan bertambahnya persentase deformasi dan regangan canai hangat.

Kata kunci : TMCP, canai hangat, persentase deformasi, ukuran dimple

1. PENDAHULUAN

Pengerjaan canai hangat merupakan salah satu metode TMCP yang sedang dikembangkan karena memiliki banyak kegunaan seperti dapat memberikan efisiensi energi dan kemudahan pengontrolan dimensi yang lebih baik dibandingkan canai dingin [1]. Apabila dibandingkan dengan canai panas, canai hangat akan menghasilkan morfologi struktur butiran yang lebih halus dengan sifat mekanis yang lebih tinggi, kualitas permukaan dan pengendalian dimensi yang lebih baik, serta elemen yang terbuang akibat proses dekarburisasi atau oksidasi yang lebih rendah [2].

Deformasi canai hangat dilakukan pada suhu kerja di antara canai panas dan canai dingin yang bertujuan untuk menghasilkan butiran yang halus. Suhu canai hangat berada pada range di atas suhu ruang, namun lebih rendah

dibandingkan suhu rekristalisasi yaitu $0.4-0.6 T_m$ (*melting temperature*) [3].

Berdasarkan range suhu pengerjaan canai

hangat, setelah terjadi deformasi plastis, material sebagian mengalami pengerasan regangan dan sebagian mengalami rekristalisasi. Selain menghasilkan butir yang lebih halus, proses canai hangat menyebabkan material mengalami pembentukan sub-butir (*subgrain*) baru yang berukuran kecil pada butir yang berukuran lebih besar atau kasar [4].

Dengan semakin meningkatnya persentase deformasi menunjukkan tren positif terhadap peningkatan regangan serta menghasilkan patahan uji tarik yaitu ukuran dimple yang semakin kecil dan bentuk dimple yang lebih dangkal seiring dengan bertambah regangan canai hangat. Pengamatan patahan hasil uji tarik setelah canai hangat dilakukan menggunakan

analisa fraktografi.

Pada dasarnya analisa fraktografi memiliki fungsi sebagai alat untuk melihat dan mengamati permukaan material dengan resolusi tinggi. Sedangkan alat yang digunakan untuk analisa fraktografi adalah FE-SEM (*field emission scanning electron microscope*) dengan perbesaran bervariasi yaitu 1000X, 2000X, 5000X, 10000X, dan 20000X.

Selain untuk mengamati permukaan patahan, fungsi-fungsi lain dari FE-SEM yaitu melihat morfologi struktur mikro seperti ukuran butir dan bentuk butir; melihat tekstur permukaan butir seperti *deformation band* dan distribusinya; melihat orientasi kristalografi material, batas butir material, dan perbedaan fasa serta material.

Oleh karena itu, untuk mengetahui permukaan patahan hasil uji tarik akibat pengaruh deformasi dari proses canai hangat pada benda uji paduan Cu-Zn 70/30 maka dilakukan observasi penampang patahan hasil uji tarik dengan FE-SEM.

2. MATERIAL DAN METODE

Benda uji yang digunakan adalah paduan Cu-Zn 70/30 dengan hasil komposisi yang terlihat pada Tabel 1.

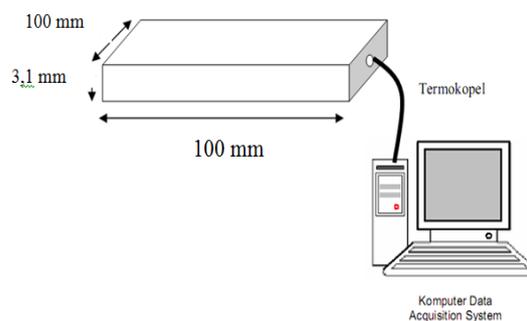
Tabel 1. Komposisi benda uji paduan Cu-Zn 70/30

Unsur	Penelitian (wt%)	UNS C 26000 (wt%)[5]
Cu	69,5	69,5-72
Zn	30,7	sisia
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

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

Ukuran material paduan Cu-Zn 70/30 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 suhu menggunakan data *acquisition system* yang dihubungkan dengan perangkat komputer.

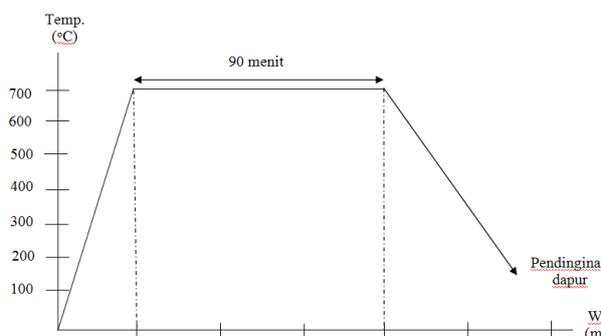


Gambar 2. Contoh rangkaian pengujian canai hangat[2]

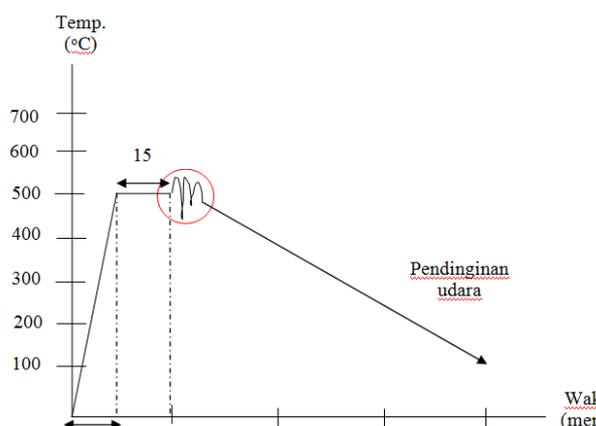
Proses deformasi canai hangat didahului dengan pemanasan sampel pada dapur karbolit dengan temperature 700°C selama 90 menit, yang kemudian dilanjutkan proses canai pada mesin canai kapasitas 20 tonF dengan parameter deformasi canai *double pass reverse*, secara bolak-balik sebanyak 32,25%; 35,48%, dan 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 dan menghilangkan tegangan sisa dari proses manufaktur pelat sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan dalam oven ke suhu ruang seperti yang terlihat pada Gambar 3. 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 4.



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

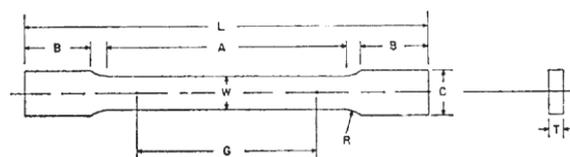


Gambar 4. Diagram tahapan canai hangat pada temperatur 500°C dengan metode *double pass reversible*[2]

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[6] 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 5.



Gambar 5. Sampel uji tarik dimana L = minimal 100 mm, G = 25 mm, dan C = 10 mm

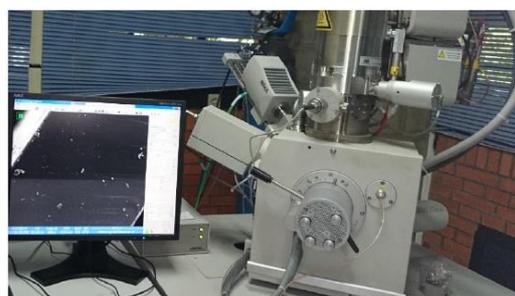
Untuk menghitung nilai UTS (*ultimate tensile strength*), YS (*yield strength*), dan ϵ (elongasi) dari material paduan Cu-Zn 70/30 menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

Setelah dilakukan pengujian tarik selanjutnya dilakukan pengamatan FE-SEM (*Field Emission-Scanning Electron Microscope*). Pengamatan FE-SEM bertujuan untuk mengetahui sifat dan morfologi permukaan patahan hasil uji tarik akibat pengaruh deformasi dari proses canai hangat. Pengamatan FESEM dilakukan dengan perbesaran 1000 X, 2000 X, 5000 X, 10000 X, dan 20000 X. Sebelum dilakukan pengamatan FE-SEM maka diperlukan preparasi benda uji berdasarkan standard ASTM E3-01[7].

Sedangkan alat uji FE-SEM seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat uji FE-SEM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

$$\% \text{ Deformasi} = \frac{H_o - H_f}{H_o} \quad (3)$$

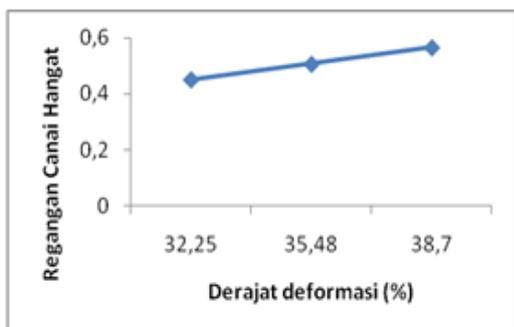
dimana : % deformasi, H_o = tebal awal benda uji (mm), H_f = tebal akhir benda uji (mm). Sedangkan untuk menghitung besar regangan yang terjadi saat proses canai hangat maka digunakan persamaan berikut [8]:

$$\epsilon = 1.155 \ln (h_o/h_f) = 1.155 \ln [1/(1-r)] \quad (4)$$

Sedangkan data % deformasi dan regangan canai hangat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran dimensi material paduan Cu-Zn 70/30 dan regangan setelah canai hangat

H_o (mm)	H_f (mm)	Deformasi (%)	Regangan Hasil 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



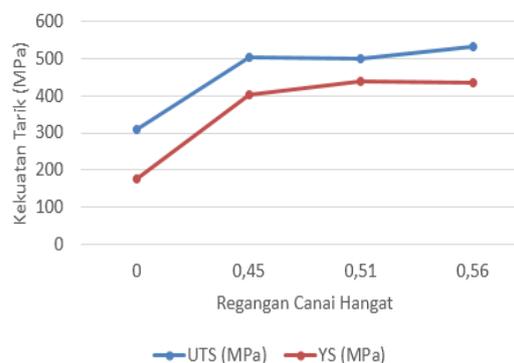
Gambar 7. Hubungan antara % deformasi (%) dengan regangan canai hangat pada

material paduan Cu-Zn 70/30

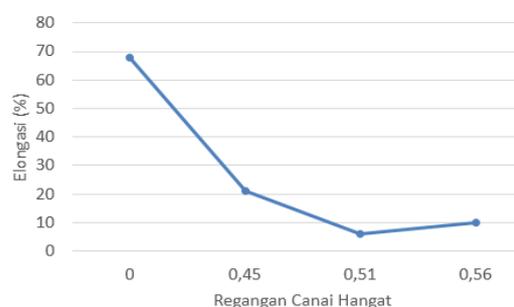
Sedangkan Gambar 7 menunjukkan hubungan antara deformasi (%) dengan regangan canai hangat pada material paduan Cu-Zn 70/30. Dari gambar tersebut terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya % deformasi hingga mencapai 38,7% menunjukkan tren positif terhadap peningkatan regangan hingga 0,565423.

Tabel 3. Data hasil uji tarik paduan Cu-Zn 70/30 setelah diproses canai hangat[2]

Regangan Canai Hangat	UTS (MPa)	YS[9] (MPa)	ϵ (%)
-	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



Gambar 8. Hubungan antara regangan canai hangat dengan kekuatan tarik (MPa)



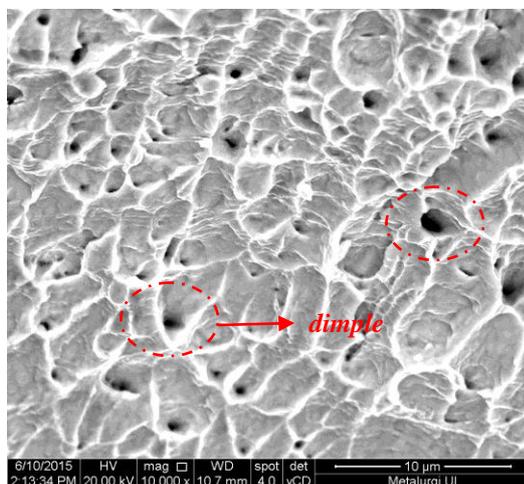
Gambar 9. Hubungan antara regangan canai hangat dengan persen elongasi

Peningkatan % deformasi aktual berbanding lurus dan menunjukkan tren positif dengan penambahan regangan canai

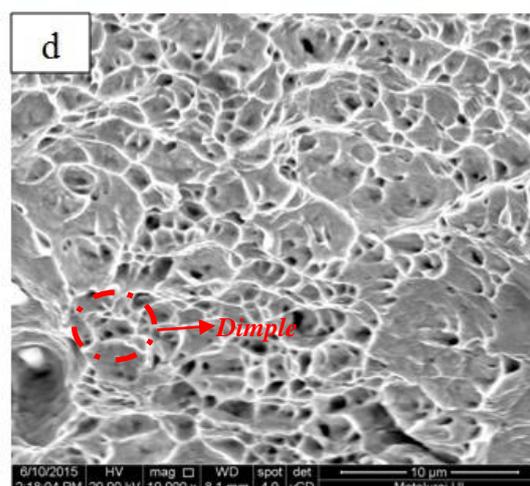
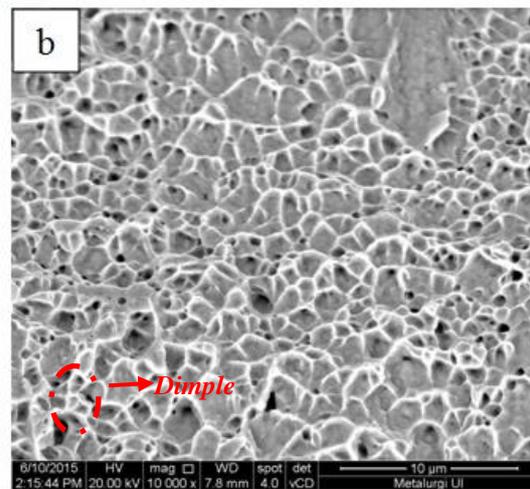
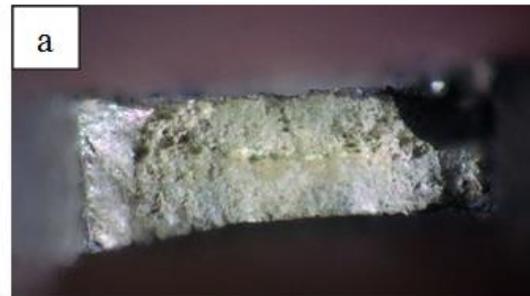
hangat seperti yang terlihat pada Gambar 8 dimana % deformasi aktual mencapai 38,7% regangannya meningkat hingga mencapai 0,5654. Hal ini berdampak pada meningkatnya nilai kekuatan tarik seperti yang terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 8 dan menurunnya persentasi elongasi seperti yang terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 9.

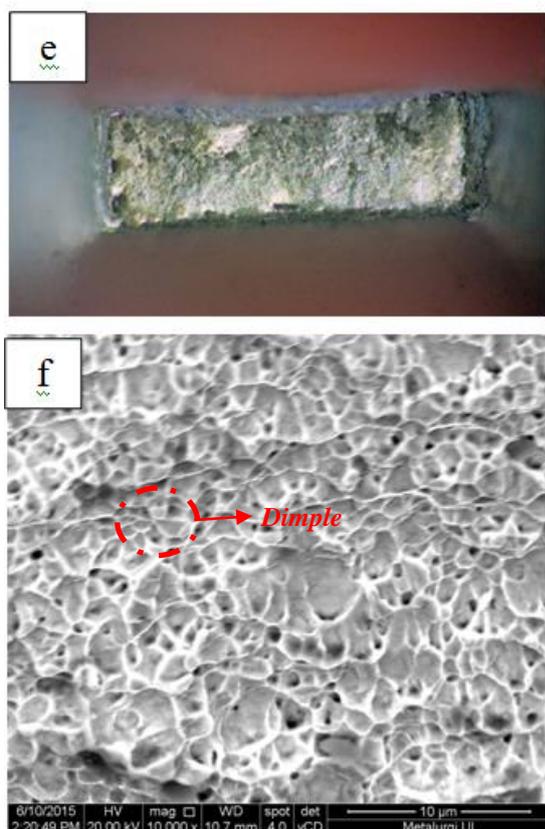
Patahan hasil uji tarik pada Gambar 10 menunjukkan permukaan patahan pelat Cu-Zn 70/30 setelah homogenisasi 700°C selama 90 menit tanpa proses canai hangat. Kedua foto tersebut menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah patah ulet. Selain itu kedua foto tersebut juga memperlihatkan dimple-dimple yang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

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



Gambar 10. Foto SEM penampang patahan benda uji tarik paduan Cu-Zn 70/30 setelah homogenisasi pada suhu 700°C selama 90 menit





Gambar 11. Pengamatan hasil uji tarik (a,b) deformasi aktual 32,25%; (c,d) deformasi aktual 35,48%; (e,f) deformasi aktual 38,7%

Peningkatan % 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 ukuran dimple semakin kecil dengan bentuk dimple yang lebih dangkal seiring dengan bertambahnya regangan canai hangat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. 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

dimple semakin dangkal dan semakin kecil.

Menurut Mallakova[10], dkk 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.

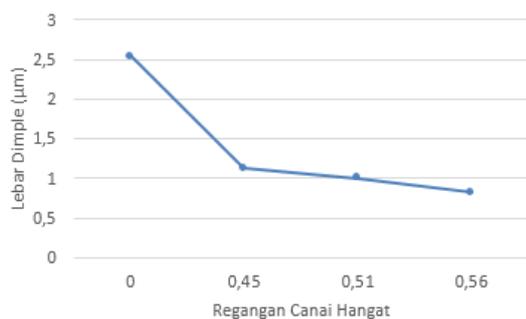
Hasil uji tarik sampel paduan Cu-Zn yang telah diproses ARB sampai 6 pass yang dilakukan Pasebani, dkk[11] menunjukkan patahan dimple yang lebih dangkal. Hal ini menunjukkan paduan Cu-Zn telah menerima regangan yang lebih besar terlihat lebih getas dengan dimple yang lebih halus.

Sedangkan menurut Higuera, dkk [12] menunjukkan penampang putus hasil uji tarik yang diproses *cryogenic DSD* dengan regangan 1,6 terlihat lebih ulet dengan lembah yang lebih dalam.

Jadi, dalam penelitian ini dengan semakin meningkatnya regangan canai hangat hingga mencapai 0,565428 menunjukkan tren yang semakin negatif dengan lebar dimple atau dengan kata lain dengan semakin besar regangan ketika deformasi canai hangat maka ukuran dimple makin dangkal dan lebar dimple makin kecil seperti yang terlihat pada Tabel 4 dan Gambar 12.

Tabel 4. Data ukuran lebar dimple penampang uji tarik paduan Cu-Zn 70/30 setelah diproses canai hangat

Regangan Canai Hangat	Lebar Dimple (μm)
-	2.541 \pm 0.87
0,449832	1.13 \pm 0.31
0,506184	1.005 \pm 0.10
0,565428	0.82 \pm 0.23



Gambar 12. Hubungan antara regangan canai hangat dengan lebar dimple pada benda uji paduan Cu-Zn 70/30

Hasil pengamatan fraktografi sampel uji tarik material paduan Cu-Zn 70/30 apabila dihubungkan dengan pengamatan metalografi maka pada material paduan Cu-Zn 70/30 yang dilakukan canai hangat dengan % deformasi 38,7% menunjukkan bahwa struktur mikronya terdiri atas butir yang lebih halus dan mengarah ke bentuk *equiaxed*. Hal ini menandakan bahwa struktur butiran sudah mendekati *fully recrystallized* atau terekristalisasi secara sempurna seperti yang terlihat pada Gambar Gambar 13 (A) dan (B).



Gambar 13. Pengamatan struktur mikro dari mikroskop optik untuk benda uji canai hangat, % deformasi aktual 38,7% (E) Bagian tepi, (F) Bagian tengah. Etsa 10% FeCl_3

Menurut Radovic, dkk [13] yang melakukan *thermomechanical treatment* pada paduan $\text{AlMg}_4.5\text{Cu}_0.5$ menunjukkan bahwa pertumbuhan mikrostruktur setelah canai dingin dan anil berhubungan erat dengan dengan % deformasi dan suhu anil, peningkatan reduksi canai, dan temperatur anil yang menyebabkan terjadinya rekristalisasi yang menghasilkan struktur butir *partial recrystallized* dan *fully recrystallized*. Setelah anil pada suhu 250°C terjadi *recovery* (pemulihan) untuk semua persen reduksi. Sedangkan setelah anil pada suhu 350°C terjadi *partial recrystallized* pada reduksi 20% dan terjadi *fully recrystallized* pada reduksi 40-60%. Ukuran butir yang terekristalisasi sangat dipengaruhi oleh reduksi canai dingin sebelum anil dan diperhalus lagi dengan reduksi canai dingin.

KESIMPULAN

Dengan bertambahnya regangan canai hangat mencapai 0,565428 maka ukuran dimple yang dihasilkan dari pengujian tarik akan semakin kecil ukuran dimplenya. Hal ini menunjukkan bahwa material akan semakin lebih getas yang dibuktikan dengan hasil dari pengujian tarik seperti kekuatan tarik (UTS dan YS) yang lebih besar dan % elongasi yang lebih kecil pada % deformasi yang lebih tinggi.

Selain itu, apabila dilihat dari hasil canai hangat di suhu 500°C dengan reduksi 38,7% menghasilkan butiran yang halus dan terekristalisasi mendekati sempurna (*fully recrystallized*) sesuai dengan hasil uji tarik dan pengamatan fraktografi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yajima, dkk. 2007. "Extensive Application of TMCP-manufactured High Tensile Steel Plates to Ship Hulls and Offshore Structures." *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. Vol 24, No. 1
- [2] Febriyanti, Eka, Dedi Priadi, dan Rini Riastuti. 2015. Pengaruh Thermo Mechanical Controlled Processed (TMCP) terhadap Penghalusan Butir dan Sifat Mekanik Paduan Cu-Zn 70/30. *Majalah Metalurgi*. Vol.30, No.3, hal. 141-148
- [3] Altan, T., Oh S., dan Gegel H. 2012. *Forming Fundamentals and Applications : Plastic Deformation of Metals and Related Properties*. American Soc. for Metals. Metal Park. OH.
- [4] Dobatkin, S., J. Zrnik. "Ultrafine-Grained Low Carbon Steels by Severe Plastic Deformation." *Journal Metalurgija*. Vol. 47. (2008) hal.181-186
- [5] ASTM B36M-13. 2003. Standard Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar. *American Standard for Testing Materials Press*
- [6] ASTM E8. 2012. Standard Test Method for Tensile Testing of Metallic Materials. *American Standard for Testing Materials Press*
- [7] ASTM E3-01. 2012. Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens. *American Standard for Testing Materials Press*
- [8] Callister, William D., Jr. 2007. *An Introduction : Material Science and Engineering*. John Wiley & Son. Inc., hal.373.2007
- [9] Krishna Chenna, S., dkk. 2013. "On the Prediction of Strength from Hardness for Copper Alloys." *Journal of Materials*. article ID 352578. Hindawi Publishing Corporation. hal.1-6
- [10] Mallakova, Beata dkk. 2013. "Fracture Analysis and Local Mechanical Properties of Copper Processed by ECAR." *Acta Metall-Slovaca Conference*. Vol.3, hal.259-263
- [11] Pasebani, Somayeh, Toroghinejad M.Reza. 2010. "Nano-grained 70/30 Brass Strip Produced by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process." *Material Science & Engineering A*, Vol. 527, No.3. hal.491-497
- [12] Higuera, Cobos, J.M.Cabrera, "Mechanical , Microstructural and Electrical Evolution of Commercially Pure Copper Produced by ECAP", *Mater. Sci. and Eng. A*, 571 (2013), pp.103-114
- [13] Radovic, L.J., et.al. 2008. "The Influence of Thermomechanical Treatment on Recrystallization of Al Mg_{4,5}Cu_{0,5} Alloy." *Metallurgija Journal of Metallurgy, Review Paper AMES*. hal.83-88