



## KETAHANAN KOROSI PADUAN Cu-Zn 70/30 SETELAH PROSES *THERMOMECHANICAL CONTROLLED PROCESS (TMCP)*

Eka Febriyanti<sup>a\*</sup>, Ayu Rizeki Ridhowati<sup>b</sup>, Rini Riastuti<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Kawasan Puspiptek, Serpong, *Tangerang Selatan*, 15314

<sup>b</sup>Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16424  
E-mail: [eka.febriyanti@bppt.go.id](mailto:eka.febriyanti@bppt.go.id)

Masuk Tanggal : 26-10-2016, revisi tanggal : 05-04-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 28-04-2017

### Intisari

Paduan Cu-Zn (70/30) banyak digunakan sebagai saluran pipa untuk menyalurkan air dalam aplikasi industri. Pada saluran pipa tersebut umumnya ditemukan ion klorida. Produk korosi yang terbentuk pada paduan Cu-Zn akibat interaksi dengan ion Cl<sup>-</sup> dapat menurunkan efisiensi kerja alat. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan ketahanan korosi paduan Cu-Zn dengan TMCP (*thermomechanical control process*). Pengerjaan *warm rolling* dilakukan dengan metode bolak-balik dengan reduksi sebesar 25%, 30%, dan 35% pada suhu 300 °C. Ketahanan korosi spesimen diukur menggunakan metode polarisasi dengan 0,1 M HCl. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan peningkatan reduksi dari 31,61% hingga 48,39% terjadi penurunan laju korosi dari 0,564 mm/tahun menjadi 0,426 mm/tahun.

**Kata Kunci:** Paduan Cu-Zn 70/30, TMCP, aniling, efek pengerasan, laju korosi

### Abstract

*Cu-Zn alloy (70/30) alloy is widely used as water tubing in industrial application. From some references reveal that chloride ion exist along pipeline. Interaction between chloride ion and Cu-Zn alloy promote corrosion process then reduce the tube performance. The aim of this research is to improve the corrosion resistance of Cu-Zn alloy by developing TMCP (thermo mechanical controlled process). The specimens are warm rolled at 300 °C with reverse rolling system at deformation 25%, 30%, and 35%. Corrosion resistance of specimen is then measured by polarisation method using 0.1 M HCl. Experimental results indicate that by increasing reduction from 31.61% to 48.39%, the corrosion rate decrease from 0.564 mm/year to 0.426 mm/year.*

**Keywords:** Cu-Zn 70/30 alloy, TMCP, annealing, hardening effect, corrosion rate

## 1. PENDAHULUAN

Paduan Cu-Zn banyak diaplikasikan dalam berbagai industri<sup>[1]</sup> dikarenakan memiliki sifat-sifat yang unggul seperti ketahanan korosi dalam lingkungan atmosfer, konduktivitas panas, dan konduktivitas listrik serta mampu mesin yang baik. Beberapa contoh penggunaan paduan Cu-Zn misalnya digunakan pada sistem pemanasan dan pendinginan, konduktor listrik, saluran pipa, peralatan industri perairan, aplikasi di lingkungan air laut, pipa penukar panas (*heat exchanger*), dan sistem penyerapan *refrigerator*<sup>[2]</sup>. Namun, tembaga dan paduannya memiliki kelemahan yaitu logam-logam tersebut dapat secara mudah bereaksi, terlarut,

dan terkorosi dalam kondisi air laut, khususnya, di dalam larutan yang mengandung ion-ion klorida dan bromida sehingga mendorong terjadinya pelarutan pada tembaga dan paduannya<sup>[3]</sup>. Misalnya paduan Cu-Zn yang digunakan untuk aplikasi saluran pipa dan penyaluran air. Pada saluran pipa tersebut biasanya ditemukan ion klorida yang mendorong terjadinya proses korosi<sup>[4]</sup>.

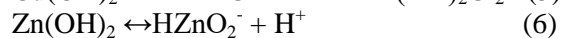
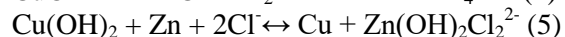
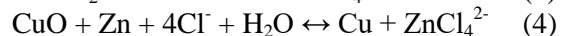
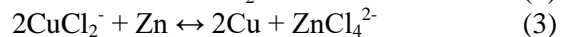
Produk korosi yang dihasilkan memiliki efek negatif pada *heat transfer* sehingga menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi dalam alat pemanas dan pendingin. Penurunan efisiensi menyebabkan terjadinya pengurangan sifat mekanis dan ketahanan korosi dari paduan

Cu-Zn sebagai pipa penyalur. Sifat mekanis suatu material erat kaitannya dengan proses perlakuan terhadap logam atau material tersebut yang bertujuan untuk mengubah struktur mikro dari material itu sendiri.

Selain sifat mekanis, ketahanan korosi paduan Cu-Zn dalam lingkungan yang kaya akan ion klorida perlu diperhatikan. Ion klorida merupakan ion agresif bagi paduan Cu-Zn disebabkan karena kecenderungan ion klorida untuk membentuk lapisan tidak stabil (CuCl) dan ion klorida kompleks yang terlarut (CuCl<sup>2-</sup> dan CuCl<sub>3</sub><sup>2-</sup>) apabila bereaksi dengan paduan Cu-Zn. Oleh karena itu, jumlah kandungan ion klorida dapat mengakibatkan korosi pada paduan Cu-Zn meskipun dalam jumlah yang sangat kecil.

John. W. Bond<sup>[5]</sup> menyebutkan bahwa kuningan dan paduannya mengalami pelarutan secara elektrokimia dalam lingkungan air laut dimana reaksinya melibatkan ion klorida yang memungkinkan untuk terjadi pembentukan senyawa kompleks klor. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa proses korosi pada paduan kuningan dalam media HCl dimulai dari -1,0 V vs SCE, yang dilanjutkan dengan pembentukan ion ZnO/Zn(OH)<sub>2</sub> dan ion *zinc*. Selain itu, menurut John W. Bond, pelarutan tembaga dapat dicegah hingga pembentukan CuCl potensial. Puncak yang diteliti pada potensial yang sangat negatif, yaitu di sekitar -1,3 V, yang berkaitan dengan pembentukan ZnO/Zn(OH)<sub>2</sub>. Namun, puncak ini pada potensial yang sangat negatif belum banyak dipelajari.

John. W. Bond<sup>[5]</sup> juga telah mendemonstrasikan pelarutan *zinc* yang terjadi dengan polarisasi anodik bahkan dalam daerah pasif. Secara aktual, John. W. Bond<sup>[5]</sup> menunjukkan bahwa lapisan pasif yang terbentuk pada paduan kuningan Cu-Zn dalam media klorida terdiri atas film yang memiliki komposisi ZnO.xH<sub>2</sub>O + Cu<sub>2</sub>O + CuO/Cu(OH)<sub>2</sub> + CuCl. Selama polarisasi anodik, pelarutan lapisan *film* muncul di atas potensial tertentu, yang dikenal sebagai potensial kerusakan (*breakdown pasivation*), E<sub>b</sub>, yang bergeser secara negatif sebanding dengan peningkatan konsentrasi klorida. Oleh karena itu, John W. Bond<sup>[5]</sup> berkesimpulan bahwa paduan kuningan kurang tahan terhadap korosi dibandingkan tembaga murni. Kerusakan pasivasi pada paduan kuningan berkaitan dengan pembentukan senyawa terlarut, yaitu pembentukan senyawa kompleks seperti kloro atau oksida. Reaksinya adalah sebagai berikut.<sup>[5]</sup>



Dari hasil pengamatan dan penelitian yang dilakukan oleh John W. Bond tersebut<sup>[5]</sup> dapat disimpulkan bahwa korosi pada paduan kuningan dalam lingkungan klorida dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti komposisi paduan; konsentrasi klorida; kehadiran anion agresif lainnya, misalnya I<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan juga suhu, pH, dan cahaya, serta kehadiran mikroorganisme yang ikut serta mempengaruhi ketahanan korosi kuningan pada media agresif<sup>[5]</sup>.

Untuk menurunkan ketahanan korosi paduan Cu-Zn 70/30 khususnya pada aplikasi perpipaan maka salah satunya dilakukan proses penghalusan butir. Selain untuk meningkatkan sifat kekuatan dan ketahanan aus<sup>[6]</sup> maka untuk meningkatkan ketahanan material logam terhadap proses korosi dapat dilakukan proses penghalusan butir dengan TMCP (*thermo mechanical controlled process*)<sup>[6]</sup>. TMCP merupakan proses deformasi material dengan pengontrolan ataupun perekayasaan proses perlakuan panas dan struktur mikro guna menghasilkan produk dengan sifat-sifat mekanis yang lebih baik lagi.

Argade, G.R., dkk<sup>[7]</sup> menunjukkan bahwa arah perkembangan hubungan antara ukuran butir material yang bertanggung jawab terhadap respon dari korosi. Selain itu, Argade G.R., dkk juga menyatakan adanya efek ukuran butir terhadap sifat korosi pada berbagai variasi sistem logam dan pengaruh penghalusan butir terhadap peningkatan dan penurunan ketahanan korosi.

Salah satu jenis TMCP yang sedang dikembangkan ialah TMCP menggunakan metode *warm rolling* yang dilakukan pada rentang suhu TMCP ialah 0,35T<sub>m</sub><T<sub>m</sub><0,5T<sub>m</sub><sup>[8]</sup>. Material yang mengalami *warm working* akan mengalami pengerasan regangan (*strain hardening*) dan rekristalisasi sebagian<sup>[9]</sup>. Dengan mengatur kondisi proses seperti suhu pada *furnace* dan % deformasi pada mesin rol ketika proses *warm rolling*, maka akan dihasilkan butir yang halus. Semakin halusnya butir, maka batas butir yang terbentuk akan banyak sehingga pergerakan dislokasi akan terhambat.

Pada penelitian yang dilakukan Eka Febriyanti<sup>[10]</sup>, TMCP pada suhu *warm rolling* 300, 400, dan 500 °C dengan media pendingin udara dan metode rol bolak-balik sebanyak dua kali *pass* disimpulkan bahwa semakin besarnya % deformasi, maka butir semakin halus. Selain itu, nilai kekerasan dan kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh pun cenderung menunjukkan peningkatan.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari evolusi struktur mikro termasuk proses penghalusan butir ketika TMCP pada paduan Cu-Zn (70/30) dengan metode *double pass reversible rolling* pada suhu *warm rolling* serta pengaruhnya terhadap ketahanan korosi material paduan tersebut.

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

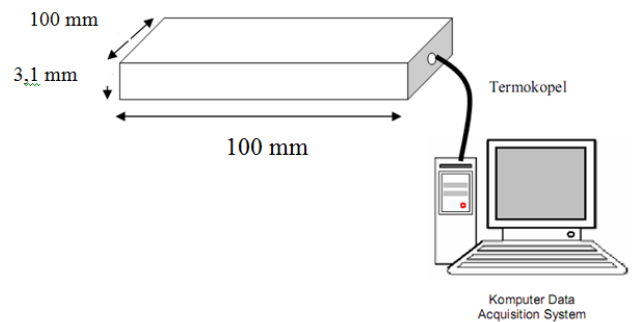
Paduan Cu-Zn yang digunakan merupakan klasifikasi paduan Cu-Zn 70/30 dengan komposisi paduan hasil OES (*optical emission spectroscopy*) seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi sampel paduan Cu-Zn 70/30

Unsur	Penelitian (%berat)	Spesifikasi ASTM B36M-13 <sup>[11]</sup> (%berat)
Cu	69,5	69,5-72
Zn	30,7	sisia
Fe	0,026	~ maks. 0,05
Sn	0,0062	~ maks. 0,03
Al	< 0,002	~ maks. 0,03
Ni	-	~ maks. 0,2
As	< 0,001	~ maks. 0,02
Pb	< 0,005	~ maks. 0,05
Si	< 0,005	~ maks. 0,01
Mn	0,0052	~ maks. 0,04
P	< 0,003	~ maks. 0,05
Sb	-	~ maks. 0,01
Bi	-	~ maks. 0,04

Sampel paduan Cu-Zn 70/30 yang awalnya berdimensi 100 mm x 100 mm x 31 mm lalu dipotong menjadi pelat berdimensi 100 mm x 50 mm x 31 mm. Pada salah satu ujung sampel paduan Cu-Zn 70/30 dibor untuk membuat lubang sebesar 25 mm yang digunakan sebagai penjepit kawat *thermocouple* di mana kawat termokopel berfungsi sebagai alat untuk mengukur suhu. Kawat *thermocouple* tipe K yang dimasukkan ke lubang harus terjepit dengan baik, karena pada saat *rolling*, kawat juga akan ikut terdeformasi. Jika penjepitan kurang sempurna, maka kawat akan terlepas dan data suhu pada proses *rolling* tidak dapat diambil. Sedangkan pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan data

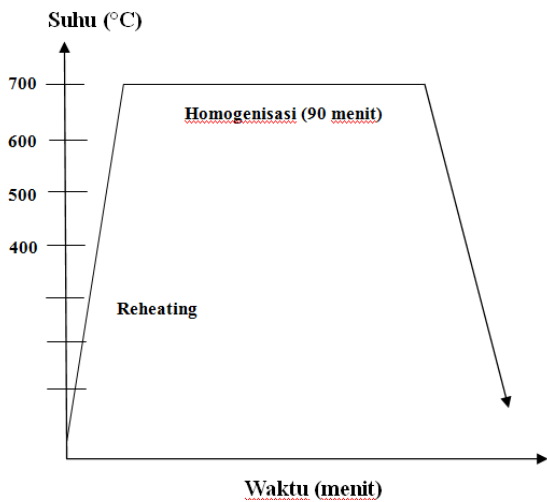
*acquisition system* yang dihubungkan dengan komputer seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



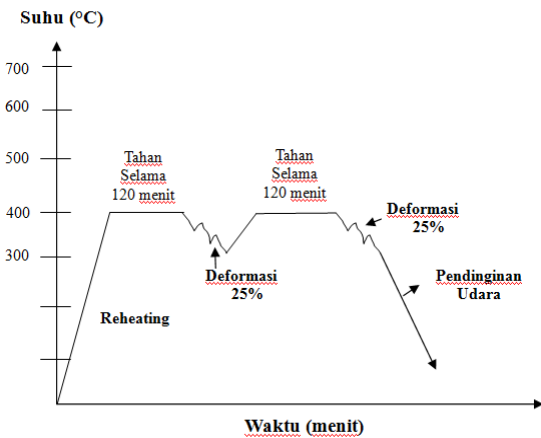
Gambar 1. Contoh rangkaian pengujian *warm rolling*<sup>[10]</sup>

Paduan Cu-Zn 70/30 yang digunakan ada 4 yaitu A adalah sampel paduan Cu-Zn 70/30 awal yang tidak mengalami proses deformasi namun mengalami proses pemanasan awal pada suhu 700 °C selama 90 menit lalu didinginkan lama di dalam tungku seperti yang diilustrasikan dengan Gambar 2. Sedangkan B merupakan sampel paduan Cu-Zn 70/30 yang telah dilakukan diberikan perlakuan panas berupa proses homogenisasi seperti yang telah diberikan pada sampel paduan A lalu dilanjutkan pemanasan pada suhu 300 °C kemudian dideformasi sebesar 25% reduksi, selanjutnya dipanaskan pada suhu 300 °C selama 120 menit setelah itu dideformasi sebesar 25% reduksi lalu didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 3.

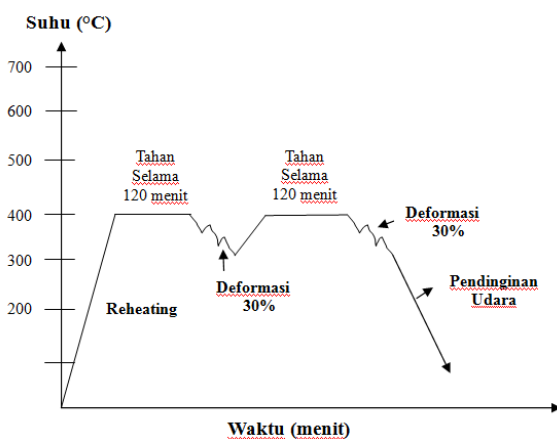
Untuk sampel paduan C dipanaskan hingga suhu 700 °C selama 90 menit lalu dilanjutkan pemanasan pada suhu 300 °C kemudian dideformasi sebesar 30% reduksi selanjutnya dipanaskan pada suhu 300 °C selama 120 menit setelah itu dideformasi sebesar 30% reduksi lalu didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 4. Pada sampel paduan D dipanaskan hingga suhu 700 °C selama 90 menit lalu dilanjutkan pemanasan pada suhu 300 °C kemudian dideformasi sebesar 35% reduksi selanjutnya dipanaskan pada suhu 300 °C selama 120 menit setelah itu dideformasi sebesar 35% reduksi lalu didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 5.



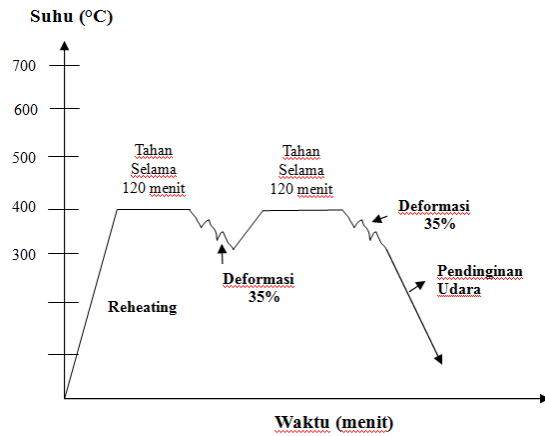
Gambar 2. Diagram tahapan homogenisasi untuk paduan Cu-Zn 70/30 pada suhu 700 °C selama 90 menit



Gambar 3. Diagram tahapan rolling pada paduan Cu-Zn 70/30 dengan suhu proses 300 °C menggunakan metode *double pass reversible* dengan deformasi teoritis 25%+25%



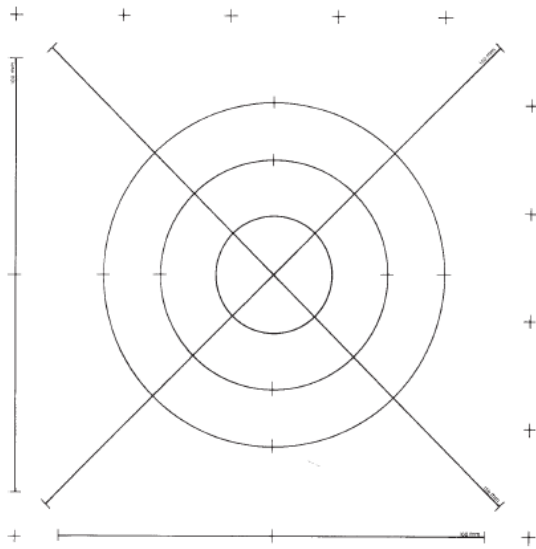
Gambar 4. Diagram tahapan percobaan rolling untuk paduan Cu-Zn 70/30 pada suhu 300 °C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi teoritis 30%+30%



Gambar 5. Diagram tahapan percobaan rolling paduan Cu-Zn 70/30 pada suhu 300 °C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi teoritis 35%+35%

Proses *warm rolling* dilanjutkan dengan pengamatan struktur mikro. Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk melihat struktur mikro material paduan Cu-Zn 70/30. Dalam pengamatan ini digunakan standar ASTM E3 – 01<sup>[12]</sup> “*standard guide for preparation for metallographic specimens*”. Pertama-tama sampel dipotong untuk mempermudah proses pengujian metalografi. Lalu sampel dipasang pada blok polimer untuk memudahkan dalam proses pengampelasan dan pemolesan. Kemudian sampel diampelas dengan kertas amplas dimulai dari grit #80, #200, #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500 (dalam *mesh*). Selanjutnya sampel dipoles dengan ditambahkan pasta kovac sampai mengkilap. Setelah itu sampel dietsa dengan zat etsa ferric klorida atau FeCl<sub>3</sub> 10% yang terdiri atas 10gr FeCl<sub>3</sub> dan 100 ml alkohol 96%. Terakhir sampel diamati dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100x, 200x, dan 500x.

Setelah dilakukan proses pengamatan struktur mikro lalu dilakukan perhitungan besar butir menggunakan standar ASTM E112<sup>[13]</sup> “*standard test method for determining average grain size*”. Pada penelitian ini, digunakan metode Heyn seperti yang diilustrasikan dengan Gambar 6. 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 6. Pengukuran batas butir *equiaxed* dengan metode Heyn<sup>[13]</sup>

Selanjutnya, banyaknya batas butir yang berpotongan (P) dengan ketiga lingkaran tersebut dihitung dan dimasukkan ke rumus berikut<sup>[13]</sup>:

$$P_L = (P \times M) / L_T \quad (8)$$

$$L_3 = 1 / P_L \quad (9)$$

$$G = [-6.643 \log(L_3) - 3.2877] \quad (10)$$

dimana:

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

$P_L$  = jumlah titik potong per satuan panjang

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

$L_T$  = panjang garis total (500 mm)

$L_3$  = panjang garis perpotongan (mm)

Setelah itu dilakukan pengujian korosi menggunakan metode polarisasi dengan instrumen potensiostat yang dilengkapi dengan *software* Nova 1.10 untuk melakukan analisa seperti yang terlihat pada Gambar 7. Selain itu, juga dilakukan pengujian elektrokimia pada sistem sel dengan kapasitas 100 ml yang terdiri dari 3 elektroda, yaitu grafit sebagai *counter electrode* (CE), Ag/AgCl sebagai *reference electrode*, dan sampel paduan Cu-Zn (70/30) sebagai elektroda kerja.

Pengujian linear polarisasi dilakukan dengan *scanning rate* 0,001 mVs<sup>-1</sup>, dengan rentang potensial -350 mV hingga +300 mV dari nilai OCP. Nilai *open circuit potential* (OCP) ditentukan setelah 300 detik, agar didapatkan nilai potensial yang relatif stabil. Nilai rapat arus korosi dan potensial korosi akan didapatkan dari hasil ekstrapolasi Tafel

pada kurva polarisasi. Pengujian polarisasi dilaksanakan sesuai dengan standar ASTM G3.

Pengujian laju korosi dengan metode polarisasi bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir hasil dari proses deformasi terhadap laju korosi. Pada pengujian ini, digunakan larutan korosif 0,1M HCl. Ion klorida merupakan ion yang sangat agresif terhadap paduan Cu-Zn, dikarenakan kecenderungan ion klorida untuk membentuk lapisan pasif yang tidak stabil (CuCl) dan senyawa klorida kompleks yang dapat terlarut (CuCl<sup>2-</sup> dan CuCl<sup>3-</sup>). Sehingga, dengan penambahan sedikit ion klorida dapat menyebabkan korosi pada paduan Cu-Zn<sup>[5]</sup>.



Gambar 7. Alat uji korosi metode polarisasi AUTOLAB

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Ukuran diameter butir paduan Cu-Zn akan berubah setelah dilakukan pengerjaan *rolling* pada suhu 300 °C. Hal ini ditunjukkan oleh hasil perhitungan butir paduan Cu-Zn 70/30 dengan menggunakan metode *Intercept Heyn* sesuai dengan standar ASTM E112<sup>[13]</sup> yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran besar butir paduan Cu-Zn 70/30

Paduan Cu-Zn 70/30	Deskripsi Pengujian	G (ASTM)	Besar Butir (µm)
A	Homogenisasi 700 °C selama 90 menit	4,6	73,05
B	300 °C + deformasi 31,61%	5,15	50,53
C	300 °C + deformasi 41,93%	6,85	33,56
D	300 °C + deformasi 48,39%	7,77	24,41

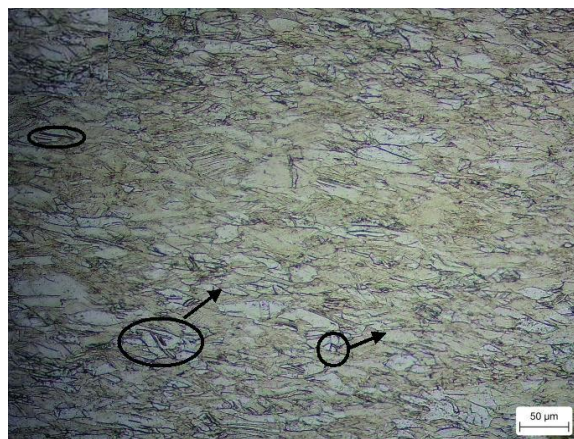
Selanjutnya dilakukan pengujian laju korosi dengan metode polarisasi yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir hasil dari proses deformasi terhadap laju korosi. Pada pengujian ini, digunakan larutan korosif 0,1M HCl. Pada Tabel 2 terlihat bahwa dengan

meningkatnya % reduksi yang diberikan pada proses *warm rolling* mengakibatkan butir yang terbentuk berukuran kecil atau semakin halus. Melalui perlakuan *rolling* pada suhu 300 °C pada material, butir paduan Cu-Zn 70/30 yang awalnya berbentuk *equiaxed* akan memipih karena mengalami elongasi yang menghasilkan pengerasan regang (*strain hardening*) pada struktur mikro paduan Cu-Zn. Sedangkan struktur mikro untuk reduksi 48,39% dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan adanya butiran sangat pipih dan butir kecil (*nuclei*) akibat perlakuan *warm rolling* pada deformasi 48,39%. Kehadiran butir kecil (*nuclei*) merupakan indikasi telah terjadi rekristalisasi dinamis. Rekristalisasi dinamis merupakan kombinasi antara proses deformasi plastis dan pemanasan. Ketika proses rekristalisasi dinamis, saat material mengalami deformasi, terjadi regangan di dalam material, dan apabila regangan tersebut adalah regangan kritis ( $\epsilon_0$ ) maka akan tersedia cukup energi untuk terbentuk nuklei pada batas butir yang terdeformasi<sup>[14]</sup>. Selanjutnya dilakukan pengujian laju korosi dengan metode polarisasi yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir hasil dari proses deformasi terhadap laju korosi. Pada pengujian ini, digunakan larutan korosif 0,1M HCl.

Pada Tabel 3 terlihat dengan semakin meningkatnya persentase deformasi yang diberikan, maka rapat arus korosi (*I<sub>corr</sub>*) akan menurun. Hal ini mengindikasikan terjadinya penurunan laju korosi atau dengan kata lain terjadi peningkatan ketahanan korosi pada paduan Cu-Zn 70/30.

Sumit, Gosh, dkk<sup>[15]</sup> yang melakukan proses TMCP pada Nb-Ti-stabilized *IF steel* dengan metode *controlled rolling* yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi melalui penghalusan butir menunjukkan bahwa tegangan

pasivasi pada baja yang dilakukan *controlled rolling* lebih tinggi dibandingkan pada baja yang hanya dilakukan *homogenized annealed*. Hal ini disebabkan karena adanya pengurangan ukuran butir yang meningkatkan area batas butir. Penurunan ukuran butir menurunkan ion korosif per sel *galvanic*. Oleh karena itu, ketahanan korosi pada *IF steel* semakin meningkat.



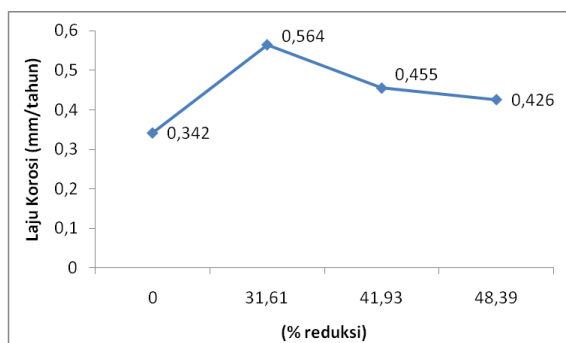
Gambar 8. Foto struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 yang dilakukan deformasi *warm rolling* pada reduksi 48,39%. Etsa : FeCl<sub>3</sub> 10%

Selain itu, Hai Li, dkk<sup>[16]</sup> yang melakukan proses TMCP terbaru pada paduan Al-Mg-Si-Cu (paduan Al seri 6061) dengan metode *pre-aging-rolling* dan *re-aging* yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan korosi batas butir menunjukkan bahwa pada paduan Al seri 6061 yang dilakukan TMCP tidak menunjukkan kerentanan ketahanan korosi batas butir akibat adanya pembentukan butir kecil, area batas butir yang besar, *small angle grain boundary*, distribusi *grain boundary precipitates* yang diskontinu, dan presipitasi matriks yang cukup terlarut selama proses TMCP.

Tabel 3. Hasil uji korosi polarisasi dengan *scan rate* 0,01 mV/detik

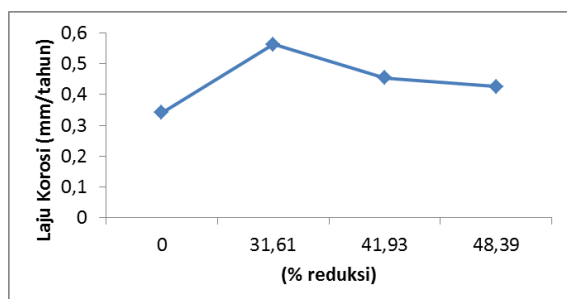
Paduan Cu-Zn 70/30	Deskripsi Pengujian	ba (mV/dec.)	bc (mV/dec.)	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (mA)	Corrosion rate (mm/tahun)
A	Homogenisasi 700 °C selama 90 menit	383,1	67,76	-101,33	20,03	0,342
B	300 °C + deformasi 31,61%	314,32	76,95	-96,59	33,05	0,564
C	300 °C + deformasi 41,93%	368,36	75,01	-99,16	26,63	0,455
D	300 °C + deformasi 48,39%	395,17	72,22	-102,06	23,39	0,426

Penelitian *thermomechanical treatment* yang dilakukan oleh Abishek Telang, dkk<sup>[17]</sup> pada paduan INCONEL 600 dengan metode *rolling* dan *annealing* berulang yang bertujuan untuk memodifikasi *grain boundary character distribution* (GBCD) serta pengaruhnya terhadap presipitasi karbida, sensitisasi, korosi batas butir, dan korosi retak tegang juga menunjukkan penurunan presipitasi karbida dan derajat sensitisasi/pengurangan krom secara signifikan di batas butir pada paduan INCONEL 600 yang dilakukan *thermomechanical treatment* dibandingkan dengan paduan INCONEL 600 yang hanya dilakukan anil saja. Hal tersebut disebabkan karena adanya indikasi terbentuknya jaringan *high angle grain boundary* yang tersusun secara acak dan diskontinu mengurangi terbentuknya presipitasi krom karbida dan pengurangan Cr dibandingkan dengan paduan INCONEL 600 yang hanya dilakukan anil saja.



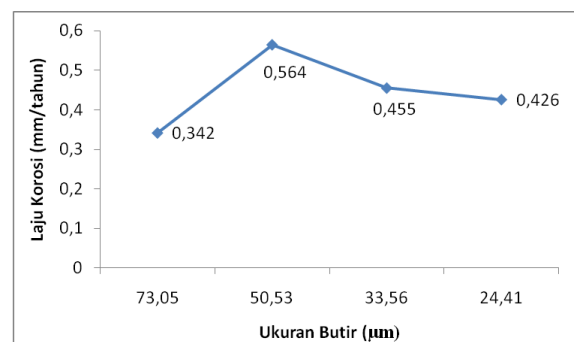
Gambar 9. Hubungan % reduksi dengan laju korosi polarisasi pada material paduan Cu-Zn 70/30

Hasil pemeriksaan uji polarisasi pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa perbandingan kurva polarisasi pada besaran deformasi berbeda, dimana dengan meningkatnya % reduksi, maka besar rapat arus ( $\text{mA/cm}^2$ ) cenderung menurun. Pada deformasi actual 48,94%, kurva polarisasi menunjukkan rapat arus terkecil dibandingkan dengan % deformasi actual lainnya.



Gambar 10. Hubungan % reduksi dengan laju korosi polarisasi

Hal ini membuktikan bahwa deformasi aktual 48,39% memiliki laju korosi terendah dan ketahanan korosi terbaik dibandingkan dengan deformasi actual lainnya. Sedangkan dari hasil pengujian korosi pada Gambar 11 terlihat pengaruh ukuran butir terhadap laju korosi paduan Cu-Zn 70/30. Dari grafik tersebut terlihat bahwa laju korosi cenderung menurun dengan menurunnya ukuran butir. Menurut Ralston<sup>[19]</sup>, semakin halus ukuran butir yang dimiliki oleh material, maka laju korosi akan menurun dikarenakan jumlah batas butir yang semakin banyak sehingga menyebabkan aktifitas elektron di sekitar batas butir semakin meningkat dan lapisan pasif akan lebih mudah terbentuk dibandingkan material dengan butir berukuran kasar. Lapisan pasif yang lebih mudah terbentuk akibat meningkatnya jumlah batas butir cenderung menghambat terjadinya reaksi korosi pada material, sehingga laju korosi secara keseluruhan menurun.



Gambar 11. Hubungan ukuran butir ( $\mu\text{m}$ ) dengan laju korosi polarisasi (mm/tahun) pada material paduan Cu-Zn 70/30

#### 4. KESIMPULAN

Ketahanan korosi pada paduan Cu-Zn 70/30 ketika proses *warm rolling* pada suhu 300 °C berhubungan dengan menurunnya ukuran butir yang menghasilkan *internal stress* dan jumlah batas butir yang semakin meningkat, dimana dengan semakin kecil diameter rata-rata butir mencapai 24,41  $\mu\text{m}$  maka nilai laju korosi menurun mencapai 0,426 mm/tahun. Menurunnya laju korosi disebabkan karena aktifitas elektron di sekitar batas butir yang semakin meningkat sehingga mempercepat terbentuknya lapisan pasif yang menghambat laju korosi. Paduan Cu-Zn 70/30 dengan % reduksi actual terbesar yaitu sebesar 48,39% memiliki laju korosi terendah yakni sebesar 0,426 mm/tahun.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Koordinator Laboratorium Metalurgi, Program Studi Teknik Material ITB yang telah memberikan kesempatan luas untuk melakukan penelitian ini, dan juga kepada para teknisi laboratorium yang telah membantu membuat percobaan yang dilakukan, sehingga penelitian ini dapat memberi hasil yang memuaskan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hongqiang Fan, Shuying Li, Zongchang Zhao, Hua Wang, Zhicong Shi, Lin Zhang, "Inhibition of Brass Corrosion in Sodium Chloride Solutions by Self-Assembled Silane Films," *Corrosion Science.*, vol. 53, hal.4273-4281, 2011.
- [2] Joseph Raj Xavier, Rajendran Nallaiyan, S. Nanjundan, "Electrochemical Adsorption Properties and Inhibition of Brass Corrosion in Natural Seawater by Thiadiazole Derivatives : Experimental and Theoretical Investigation," *Industry Engineering Chemistry.*, vol. 51, hal. 30-42, 2012.
- [3] H. Ma, S. Chen, L. Niu, S. Zhao, S. Li, D. Li, "Inhibition of Copper Corrosion by Several Shifts Bases in Aerated Halide Solutions," *J. Appl. Electrochem.*, vol. 32, hal. 65-72, 2002.
- [4] M.M Al-Abdallah, A.K. Maayta, M.A Al-Qudah, and N.A.F. Al-Rawashdeh, "Corrosion Behavior of Copper in Chloride Media," *The Open Corrosion Journal.*, vol. 2, hal.71-76, 2009.
- [5] W. Bond John., dan Elaine Lieu, "Electrochemical Behaviour of Brass in Chloride Solution Concentration Found in Eccrine Fingerprint Sweat," *Applied Surface Science.*, vol. 313, hal. 455-461, 2014.
- [6] K.D. Ralston, D. Fabijanic, N. Birbilis, "Effect of Grain Size on Corrosion of High Purity Aluminum," *Electrochimica Acta.*, vol. 56, hal. 1729-1736, 2011.
- [7] Gaurav Argade, Rajiv S. Mishra, Sushanta Panigrahi, "Effect of Grain Size on The Corrosion Resistance of Wrought Magnesium Alloy Containing Neodymium," *Corrosion Science.*, vol.58, hal. 145-151, 2012.
- [8] S. Frechard, A. Redjaimia, E. Lach, A. Lichtenberger, "Mechanical Behaviour of Nitrogen-Alloyed Austenitic Stainless Steel Hardened by Warm Rolling," *Materials Science and Engineering A.*, vol. 415, hal.219-224, 2006.
- [9] Kozasu, I., "Constitution and Properties of Steels," *Materials Science and Technology VCH.*, vol.7, 1993.
- [10] Eka Febriyanti, Dedi Priadi, Rini Riastuti, "Pengaruh Anneal Hardening dan % Reduksi Warm Rolling terhadap Sifat Mekanik Paduan Cu-Zn 70/30," *Majalah Metalurgi.*, vol.31, Issue 1, hal.33-42, 2016.
- [11] ASTM B36M-13, "Standard Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar," ASTM, 2003.
- [12] ASTM E3-01, "Standard Guide for Preparation for Metallographic Specimens," ASTM, 2003.
- [13] ASTM E112, "Standard Test Methods for Determining Average Grain Size," ASTM, 2003.
- [14] William D.Callister Jr., "An Introduction : Material Science and Engineering," John Wiley & Son Inc., 2007.
- [15] Sumit Ghosh, Ajay Kumar Singh, Suhrit Mula, Prasenjit Chanda, Vinay V. Mahashabde, T.K. Roy, "Mechanical properties, formability, and corrosion resistance of thermomechanically controlled processed Ti-Nb stabilized IF steel," *Material Science and Engineering A.*, vol. 684, hal. 22-36, 2017.
- [16] Hai Li, Mao Qingzhong, Zhixio Wang, Fenfen Miao, Bijun Fang, Renguo Song, Ziqiao Zheng, "Simultaneously enhancing the tensile properties and intergranular corrosion resistance of Al-Mg-Si-Cu alloy by a thermomechanical treatment," *Material Science and Engineering A.*, vol. 617, hal. 165-174, 2014.
- [17] Abishek Telang, Amninder S. Gill, Mukul Kumar, Sebastien Teyseyre, Dong Qian, Seetha R. Mannava, Vijay K. Vasudevan, "Iterative thermomechanical processing of alloy 600 for improved resistance to corrosion and stress corrosion cracking," *Acta Materialia.*, vol.113, hal. 180-193, 2016.