



KETAHANAN KOROSI PADUAN Cu-Zn 70/30 TERHADAP PERBEDAAN WAKTU TAHAN PADA PROSES *THERMO MECHANICAL CONTROLLED PROCESS* (TMCP)

Eka Febriyanti¹, Amin Suhadi¹, Ahmad Fadli², Rini Riastuti²

¹Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), PUSPIPTEK, Serpong, 16314, Indonesia

²Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

E-mail: amin.suhadi@bppt.ac.id

Masuk : 17 April 2021

Direvisi : 19 Agustus 2021

Disetujui : 2 September 2021

Abstrak :Paduan Cu-Zn (70/30) banyak diaplikasikan dalam radiator otomotif, selongsong amunisi, dan *architectural hardware* tentunya tidak terlepas dari paparan lingkungan sehingga diperlukan ketahanan korosi yang baik. Meskipun paduan Cu-Zn 70/30 memiliki ketahanan korosi yang cukup baik terhadap atmosfer ruang, air laut, dan industri petrokimia, namun paduan Cu-Zn sangat rentan terhadap lingkungan amonia. Terutama pada paduan dengan kandungan Zn lebih dari 15% sangat rentan terjadinya korosi *dealloying* (*dezincification*) atau dikenal juga dengan *selective leaching*. Pengerjaan TMCP (*thermo mechanical controlled process*) dilakukan dengan metode bolak-balik dengan reduksi sebesar 60% (30%-30%) pada suhu 300°C dimana pada setiap *pass*-nya paduan Cu-Zn dipanaskan terlebih dahulu pada temperatur 300°C dengan waktu tahan berbeda mulai dari 30, 60, dan 120 menit. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan peningkatan waktu tahan dari 0 ke 30 menit awalnya terjadi peningkatan laju korosi baik dengan metode uji *weight loss* pada larutan NaCl 3,5% dari 0,02187 mm/tahun menjadi 0,02292 mm/tahun dan pada larutan Mattson's solution dari 0,1493 mm/tahun menjadi 0,24062 mm/tahun maupun metode polarisasi pada larutan NaCl 3,5% dari 0,12981 mm/tahun menjadi 0,30845 mm/tahun dan pada larutan Mattson's solution dari 4,5149 mm/tahun menjadi 5,4076 mm/tahun. Selanjutnya laju korosi menurun dengan semakin meningkatnya waktu tahan baik dengan metode uji *weight loss* yaitu masing-masing mencapai 0,02182 mm/tahun pada larutan NaCl 3,5% dan 0,196083 mm/tahun pada Mattson's solution maupun metode polarisasi yaitu masing-masing mencapai 0,14044 mm/tahun pada larutan NaCl 3,5% dan 5,12099 mm/tahun pada Mattson's solution.

Kata kunci : paduan Cu-Zn 70/30, TMCP, waktu tahan, laju korosi

Abstract : Cu-Zn alloy (70/30) are used automotive radiator, munition sleeve, and *architectural hardware* certainly can not be separated from corrosive environment so those are needed good corrosion resistance. Although, Cu-Zn 70/30 alloys have better corrosion resistance to atmosphere, sea water, and petrochemical industry, but Cu-Zn alloy is to susceptible to amoniac environment. Especially copper alloy with Zn content over 15 wt% is very susceptible to *dealloying corrosion* (*dezincification*) or *selective leaching*. TMCP process was conducted in reversible way with deformation degree of 60% (30%-30%) and before each pass of the rolling the material is heated up to temperature 300°C with different holding time from 30, 60, and 120 minutes. From the research results, it was found that with an increase in holding time from 0 to 30 minutes initially there was an increase in the corrosion rate both with the weight loss test method in 3.5% NaCl solution from 0.02187 mm/year to 0.02292 mm/year and in Mattson's solution. solution from 0.1493 mm/year to 0.24062 mm/year and the polarization method in 3.5% NaCl solution from 0.12981

mm/year to 0.30845 mm/year and in Mattson's solution from 4.5149 mm/year to 5.4076 mm/year. Furthermore, the corrosion rate decreased with the increasing holding time both with the weight loss test method, which respectively reached 0.02182 mm/year in NaCl 3.5% and 0.196083 mm/year in Mattson's solution and the polarization method, respectively. reached 0.14044 mm / year in 3.5% NaCl solution and 5.12099 mm/year in Mattson's solution.

Keywords : Cu-Zn 70/30 alloy, TMCP, holding time, corrosion rate

PENDAHULUAN

Cartridge Brass memiliki sifat kemampuan hantar panas dan listrik serta ketahanan korosi yang baik sehingga umumnya digunakan untuk aplikasi *core* dan *tank* radiator otomotif, *architectural hardware* seperti *fasteners, locks, hinges, pins* dan *rivets*, serta komponen amunisi[1]. Aplikasi paduan Cu-Zn seperti radiator otomotif, komponen amunisi, dan *architectural hardware* tentunya tidak terlepas dari paparan lingkungan sehingga diperlukan ketahanan korosi yang baik. Korosi sendiri merupakan degradasi material karena adanya reaksi kimia antara logam dengan lingkungannya[2].

Paduan Cu-Zn memiliki ketahanan korosi yang cukup baik terhadap atmosfer ruang, air laut, dan industri petrokimia namun paduan Cu-Zn sangat rentan terhadap lingkungan ammonia. Terutama pada paduan dengan kandungan Zn lebih dari 15% sangat rentan terjadinya korosi *Dealloying (Dezincification)* atau dikenal juga dengan *Selective Leaching*[3].

Selain dengan paduan (*alloying*), sifat mekanik tembaga juga dapat ditingkatkan dengan perlakuan lain diantaranya adalah dengan metode *Thermo-Mechanical Controlled Processing (TMCP)*. TMCP merupakan rangkaian proses pembentukan (deformasi) dan pemanasan secara simultan untuk mendapatkan kualitas sifat material yang meningkat, umumnya sifat mekanik seperti kekuatan[4]. Metode TMCP yang dilakukan berupa canai (*rolling*) pada sekitar suhu rekristalisasi (300-350°C) serta deformasi yang diaplikasikan pada suhu ini tidak terlalu besar layaknya pada *hot rolling*. Pemilihan metode *rolling* di sekitar suhu rekristalisasi ini dipertimbangkan karena dapat menurunkan biaya produksi serta kualitas permukaan dan pengontrolan dimensi lebih baik[5].

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Eka Febriyanti[6], dimana pada penelitian tersebut dilakukan metode TMCP canai *double-pass reversible* pada suhu hangat 300°C, 400°C, dan 500°C dengan masing-masing deformasi 50%, 60%, dan 70% dengan media pendingin berupa udara. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya fenomena *Anneal Hardening* pada suhu 300°C. S. Nestorovic et al[7] pada penelitiannya juga menjelaskan bahwa dengan semakin besar derajat deformasi pengerjaan dingin dan waktu tahan pemanasan maka efek *anneal hardening* semakin meningkat. Dengan semakin meningkatnya waktu tahan pemanasan maka kekerasan juga meningkat akibat pengaruh dari *anneal hardening*. Jadi, menurut S.Nestorovic, dkk efek *anneal hardening* dipengaruhi oleh unsur paduan, derajat deformasi, dan juga waktu *annealing*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa penambahan waktu tahan pemanasan 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.

METODOLOGI

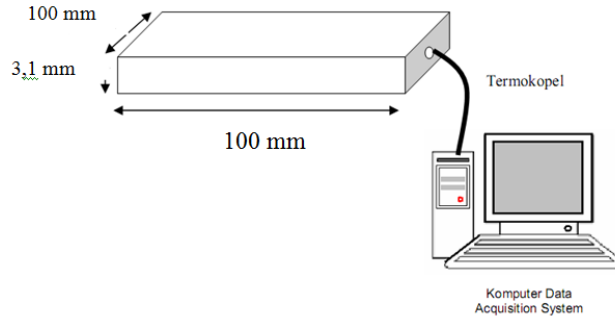
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembaran pelat Paduan Cu-Zn 70/30 yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya[6], maka pengujian komposisi spesimen material pada penelitian ini telah dilakukan di laboratorium menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)* dengan hasil seperti yang terlihat pada Tabel 1.

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

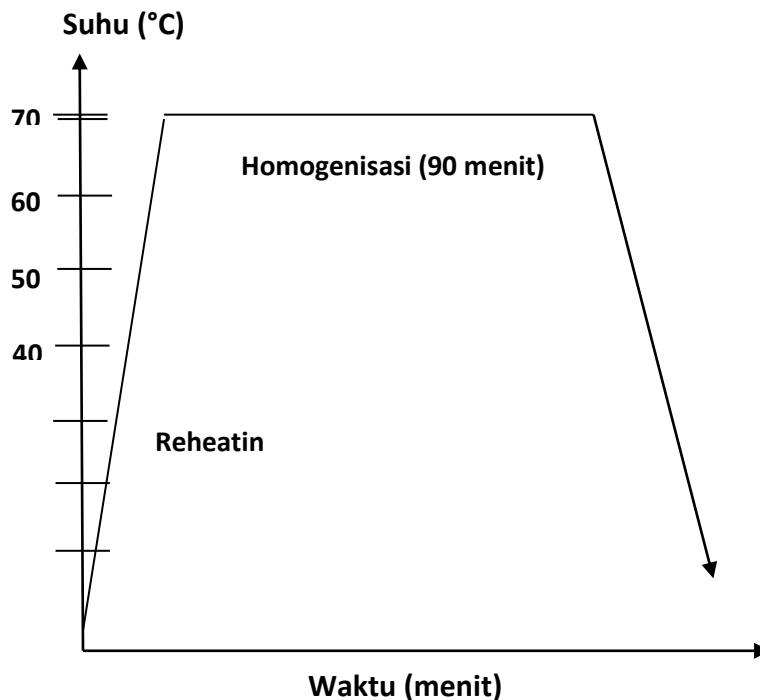
Unsur	Penelitian (%berat)	Spesifikasi ASTM B36M-13 ^[8] (% berat)
Cu	69,5	69,5-72
Zn	30,7	sisia
Fe	0,026	~ maks. 0,05

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

Spesimen pada penelitian merupakan lembaran pelat dengan dimensi ukuran panjang 100 mm, lebar 50 mm, dan tebal 3.1 mm. Spesimen diberi lubang sedalam kurang lebih 5 mm dan diameter lubang kurang lebih 2 mm sebagai tempat untuk meletakkan kawat pengukur suhu benda uji (*Thermocouple*) Tipe K. Kawat *Thermocouple* berfungsi sebagai alat untuk mengukur suhu spesimen. Pengukuran suhu menggunakan *Data Acquisition System* yang dilengkapi dengan *Lutron Software* yang terhubung dengan komputer. Perangkaian spesimen dapat dilihat seperti pada Gambar 1 berikut:

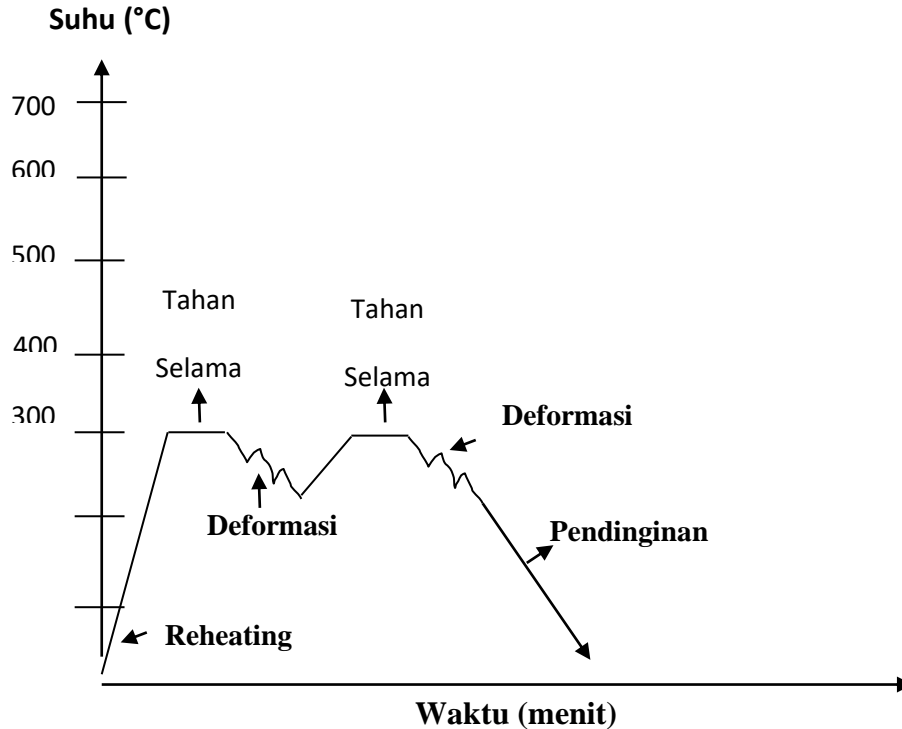


Gambar 1. Contoh rangkaian pengujian *warm rolling*[6]



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

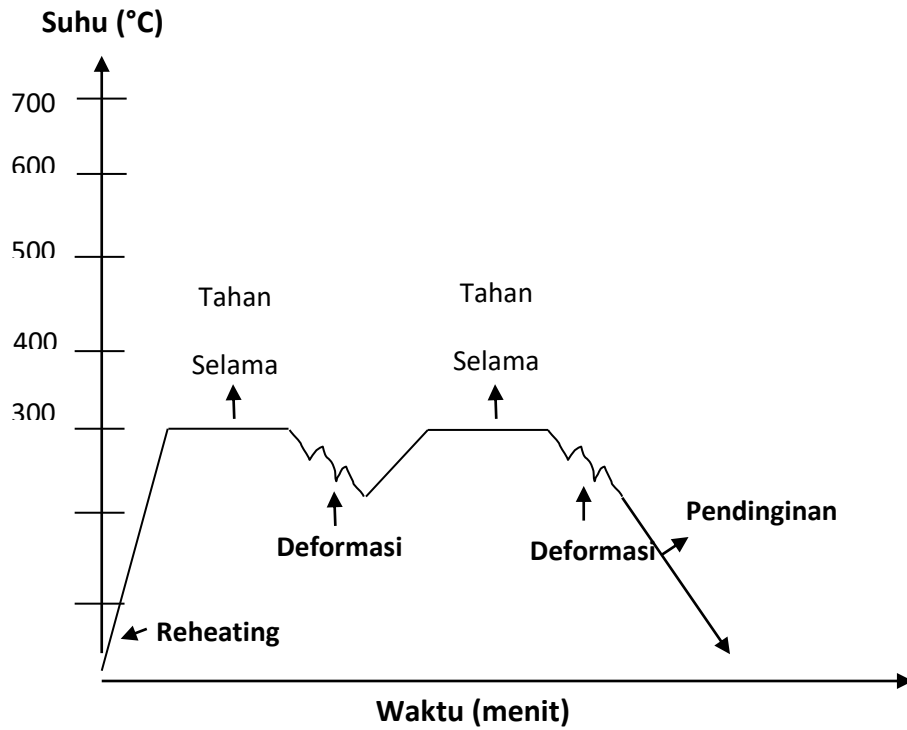
Paduan Cu-Zn 70/30 yang digunakan ada 4 yaitu Sampel 1 adalah spesimen paduan Cu-Zn 70/30 awal yang hanya mengalami pemanasan awal hingga suhu 700°C dan ditahan selama 90 menit lalu didinginkan ke suhu ruang dengan pendinginan dapur seperti yang terlihat pada Gambar 2.



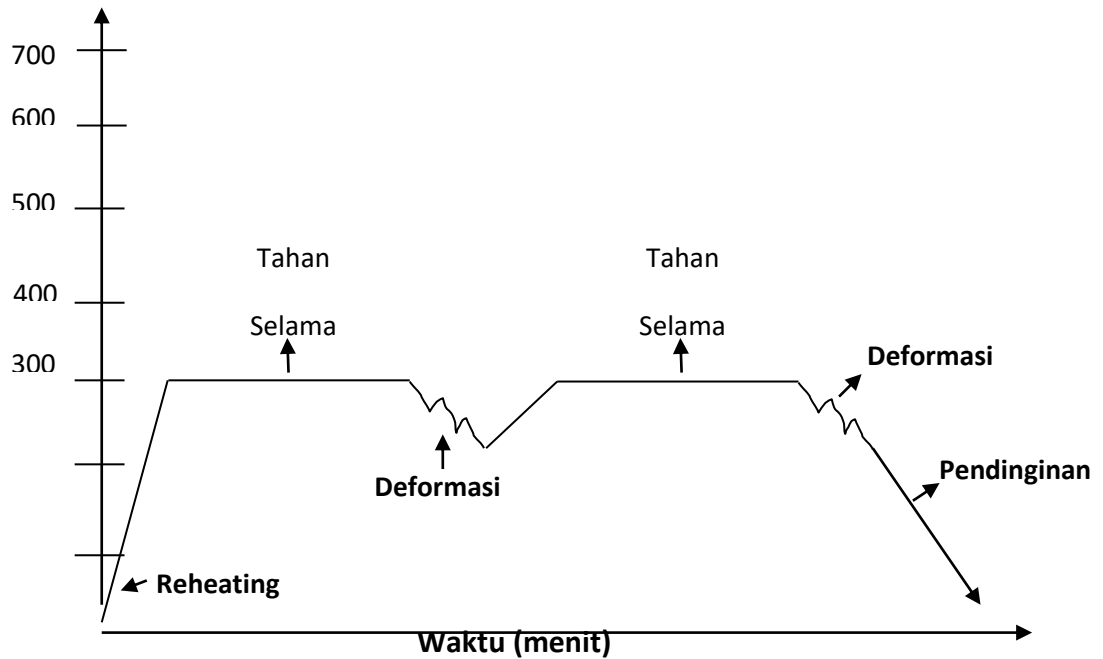
Gambar 3. Diagram tahapan TMCP pada suhu 300°C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi canai teoritis 30%+30% dan waktu tahan pemanasan 30 menit

Pada Sampel 2 merupakan sampel paduan Cu-Zn 70/30 yang telah diberi perlakuan awal seperti sampel 1 (Gambar 2), kemudian dilanjutkan deformasi canai teoritis pada suhu 300°C sebesar 60% (30%-30%) *double-pass reversible* dengan waktu tahan pemanasan selama 30 menit kemudian didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 3.

Untuk sampel 3 diberi perlakuan awal seperti sampel 1 (Gambar 2), kemudian dilanjutkan deformasi canai teoritis pada suhu 300°C sebesar 60% (30%-30%) *double-pass reversible* dengan waktu tahan pemanasan selama 60 menit kemudian didinginkan dengan media udara seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram tahapan percobaan TMCP pada suhu 300°C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi canai teoritis 30%+30% dan waktu tahan pemanasan 60 menit



Gambar 5. Diagram tahapan percobaan TMCP pada suhu 300°C dengan metode *double pass reversible* dengan deformasi canai teoritis 30%+30% dan waktu tahan pemanasan 120 menit

Pada sampel 4 diberi perlakuan awal seperti sampel 1 (Gambar 2), kemudian dilanjutkan deformasi canai teoritis pada suhu 300°C sebesar 60% (30%-30%) *double-pass reversible* dengan waktu tahan pemanasan selama 120 menit kemudian didinginkan dengan media udara yang diilustrasikan dengan Gambar 5.

Proses *warm rolling* dilanjutkan dengan pengujian korosi. Pengujian korosi bertujuan untuk melihat respons perilaku material terhadap ketahanan korosi di lingkungannya dengan mengukur laju korosinya. Metode pengujian korosi yang dilakukan dalam penelitian ini ada tiga yaitu *weight loss*, polarisasi, dan *ammonia vapor test*. Pengujian *Weight Loss* dan Polarisasi menggunakan masing-masing dua larutan yang berbeda yaitu NaCl 3.5% dan *Mattsson's Solution* dengan tujuan untuk melihat perilaku dan ketahanan korosi paduan Cu-Zn di lingkungan agresif air laut dan ammonia sedangkan larutan yang digunakan pada *Ammonia Vapor Test* adalah *Ammonia Solution*. Komposisi *Mattsson's Solution* mengacu pada standard ASTM G37[9], sedangkan *Ammonia Solution* mengacu pada standard B858[10].

Pengujian *Weight Loss* dilakukan untuk menentukan laju korosi Paduan Cu-Zn 70/30 melalui metode pemaparan spesimen terhadap lingkungan korosif selama waktu yang ditentukan. Pengujian *Weight Loss* skala laboratorium ini mengacu pada standard ASTM G31[11]. Untuk sampel pengujian *weight loss*, material Cu-Zn dipotong dengan dengan ukuran masing-masing 20mm x 20mm x 3.1mm untuk Sampel 1 dan 20mm x 20mm x 1.8mm untuk Sampel 2, 3, dan 4 kemudian sampel tersebut dilubangi menggunakan mesin bor dengan diameter mata bor sebesar 5 mm sebagai tempat mengaitkan benang saat dilakukan perendaman untuk pengujian *weight loss*. Setelah itu, masing-masing sampel kemudian diampelas dengan menggunakan kertas amplas grit 80 hingga grit 600 seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Sebelum melakukan pengujian kehilangan berat (*weight loss*), dilakukan preparasi permukaan sampel agar terbebas dari pengotor seperti karat, oli, minyak, dan pengotor lain. Preparasi permukaan sampel dilakukan sesuai dengan standar NACE RP0775-2005[12], yaitu: pertama memasukkan sampel ke dalam *beaker glass* berisi larutan HCl 15% untuk menghilangkan karat dan pengotor lain, lalu memasukkan sampel ke dalam larutan Natrium Bikarbonat (NaHCO₃) selama satu menit untuk menetralkan asam pada proses *pickling*, selanjutnya membilas sampel secepatnya ke dalam akuades, kemudian alkohol atau aseton, dan dikeringkan dengan udara.



Gambar 6 Contoh kupon spesimen *weight loss*



Gambar 7. Pengujian *weight loss*

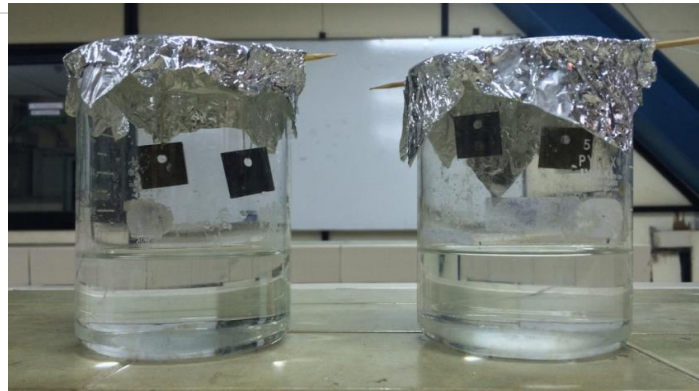
Setelah preparasi permukaan, sampel ditimbang untuk mengetahui berat awal sebelum direndam. Kemudian sampel direndam selama 7 hari masing-masing di dalam larutan NaCl 3.5% dan *Mattsson's Solution*. Setelah 7 hari, sampel diangkat dan dilakukan pembersihan permukaan sesuai standar NACE RP0775-2005 kemudian ditimbang berat akhirnya seperti yang terlihat pada Gambar 7.

Selanjutnya dilakukan Pengujian Polarisasi yang bertujuan untuk menentukan laju korosi Paduan Cu-Zn 70/30 melalui kurva polarisasi dengan Ekstrapolasi Tafel sehingga diperoleh densitas arus korosi (I_{corr}) dan potensial korosi (E_{corr}). Untuk spesimen pada pengujian polarisasi, material Cu-Zn berukuran masing-masing 20mm x 20mm x 3.1mm untuk Sampel 1 dan 20mm x 20mm x 1.8mm, sedangkan untuk Sampel 2, 3, dan 4 kemudian diamplas menggunakan kertas amplas grit 80 hingga grit 600. Pengujian polarisasi dilakukan pada suhu ruang dengan sel elektrokimia tiga elektroda yang terdiri dari karbon grafit sebagai *Counter Electrode*, *Silver Chloride* (AgCl) sebagai *Reference Electrode*, dan Cu-Zn sebagai *Working Electrode* yang direndam dalam larutan NaCl 3.5% ataupun *Mattsson's Solution* dengan luas area 2 cm² dimana sel elektrokimia tersebut terhubung dengan alat AUTOLAB seperti yang ter terlihat pada Gambar 8 dan juga sudah dilengkapi dengan software NOVA 1.10. Selanjutnya pengujian polarisasi dilakukan dengan laju *scanning* 5 mVs-1 dan rentang potensial dari -300mV ke 300mV terhitung dari nilai OCP. Nilai *Open Circuit Potential* (OCP) terukur setelah 1800 detik dengan tujuan mendapatkan nilai potensial yang stabil. Kemudian densitas arus dan potensial laju korosi dapat ditentukan dari ekstrapolasi grafik Tafel yang diperoleh.



Gambar 8. Alat uji korosi metode polarisasi AUTOLAB NOVA 1.10

Kemudian dilakukan Pengujian *Ammonia Vapor Test* yang bertujuan untuk melihat respons perilaku korosi Paduan Cu-Zn 70/30 ketika terpapar oleh lingkungan ammonia. Pengujian ini mengacu pada standard ASTM B858[13]. Untuk spesimen pengujian *ammonia vapor test*, material Cu-Zn berukuran masing-masing 20mm x 20mm x 3.1mm untuk Sampel 1 dan 20mm x 20mm x 1.8mm untuk Sampel 2, 3, dan 4 kemudian diamplas menggunakan kertas amplas grit 80 hingga grit 600. Setelah itu sampel dicuci asam dengan campuran 5% H₂SO₄ dan H₂O₂ 20-30 ml/L. Kemudian sampel dapat digantungkan didalam *beaker glass*/botol yang telah berisi *Ammonia Solution* seperti yang terlihat pada Gambar 9. Suhu pengujian diset pada rentang suhu ruang 20°C hingga 30°C dengan waktu pengujian atau paparan selama 24 jam. Setelah pengujian selesai, sampel diberi tegangan atau tekukan sedikit yang bertujuan agar observasi retak dapat diamati lebih mudah. Untuk pengamatan dilakukan pada perbesaran 10 sampai 15x.



Gambar 9. Pengujian ammonia vapor test

HASIL DAN PEMBAHASAN

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[14] yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

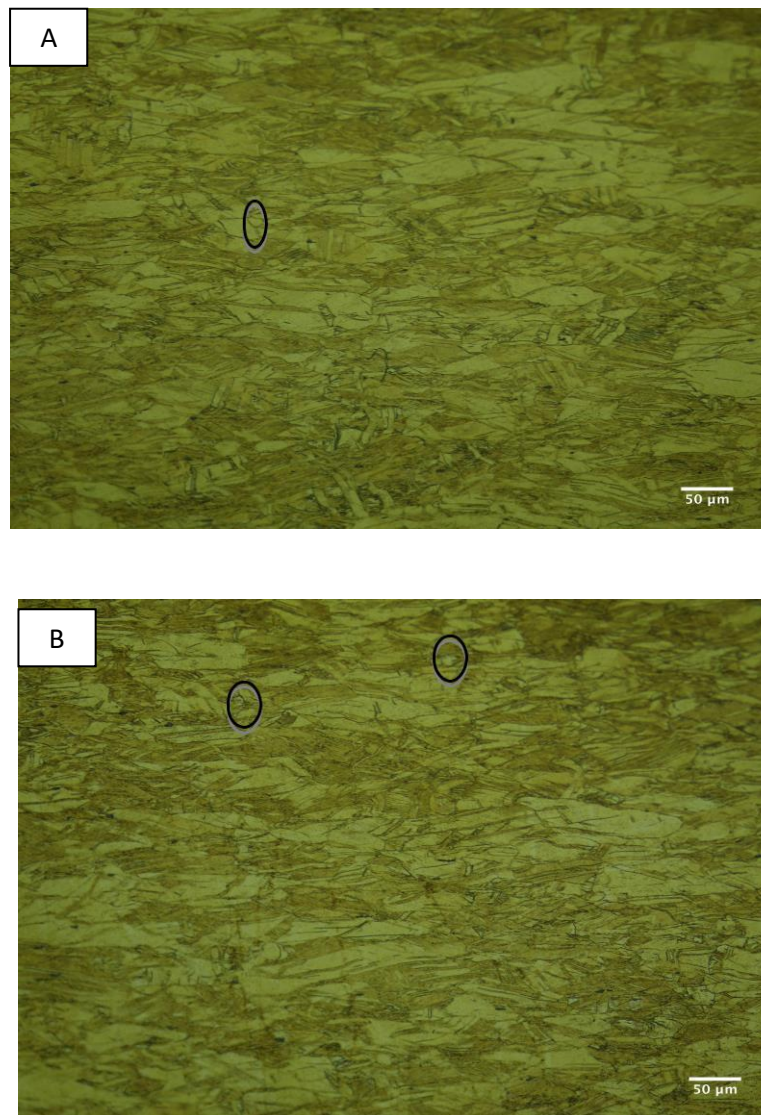
Tabel 2. Hasil pengukuran besar butir paduan Cu-Zn 70/30

Paduan Cu-Zn 70/30 (Sampel)	Deskripsi Pengujian	Rata-rata Besar Butir (µm)
1	Homogenisasi 700°C selama 90 menit	92,2
2	300°C + waktu tahan 30 menit + deformasi aktual 41,94%	82,1
3	300°C + waktu tahan 60 menit + deformasi aktual 45,16%	48,9
4	300°C + waktu tahan 120 menit + deformasi 45,16%	36,5

Nilai deformasi sebesar 41,94% dan 45,16% pada Tabel 2 merupakan nilai deformasi aktual canai yang disebabkan karena mekanisme *roll flattening* pada proses canai. Ketika sampel masuk ke dalam rol terjadi interaksi antara rol dengan sampel dimana rol melakukan gaya atau tekanan sehingga sampel menerima reaksi. Jika sampel memiliki kekerasan yang cukup tinggi, reaksi tersebut akan meningkat sehingga mengakibatkan rol mengalami deformasi elastis[15].

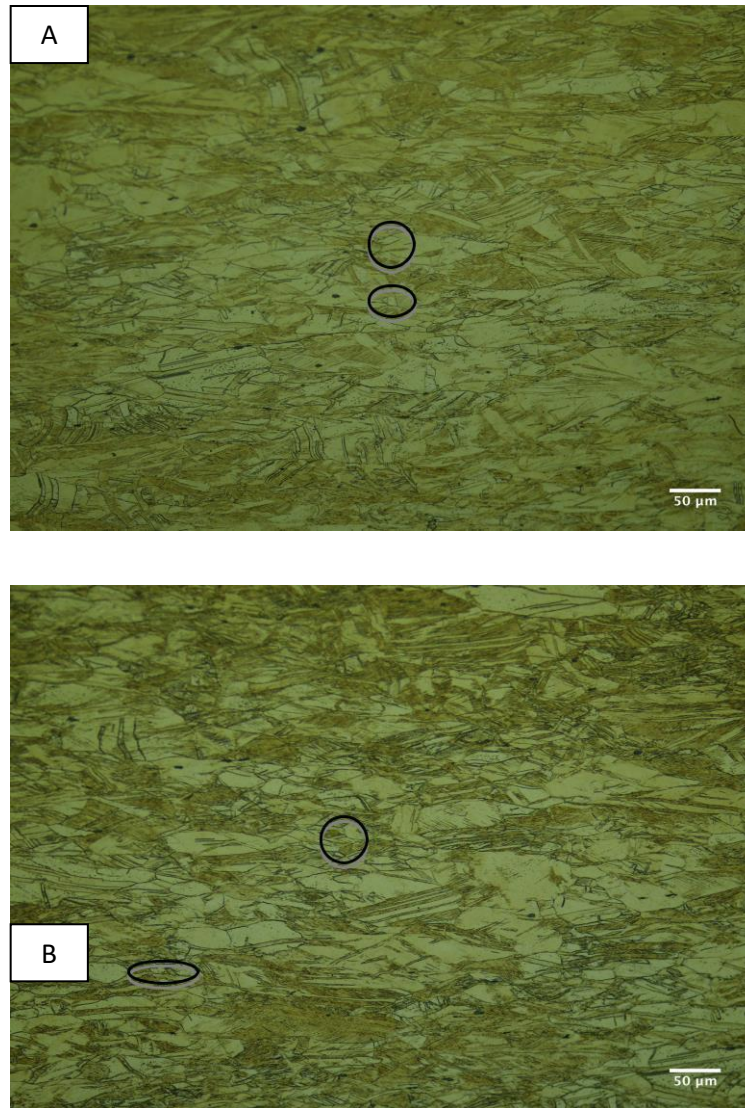
Tabel 2 menunjukkan bahwa dengan semakin lama waktu pemanasan maka ukuran butir yang diperoleh akan semakin kecil atau semakin halus dari diameter butir sebesar 92,2 µm untuk sampel 1 menjadi 36,5 µm untuk sampel 4. Hal ini disebabkan karena dengan waktu pemanasan yang sesuai walaupun berada dibawah suhu rekristalisasinya maka material tetap dapat mengalami rekristalisasi sehingga mulai muncul inti-inti butir baru yang bebas regang (ditandai dengan bulatan hitam) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11. Inti-inti butir tersebut akan tumbuh akibat difusi dari atom suatu butir menuju butir lainnya dimana pertumbuhan ini dipengaruhi oleh deformasi, suhu, dan waktu pemanasan. Jika inti butir ini tumbuh dan sudah relatif besar kemudian dilanjutkan dengan proses deformasi selanjutnya maka akan menghasilkan butir yang lebih kecil dan halus dibandingkan butir sebelumnya melalui rangkaian *controlled rolling* dan *controlled heating* proses TMCP tersebut. Selain itu, melalui proses 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. Namun, dikarenakan pengerjaan dilakukan pada suhu yang memungkinkan terjadinya rekristalisasi dinamis maka pada butir yang terelongasi dapat menghasilkan nukleasi butir baru yang berukuran lebih

kecil yang akhirnya bergabung dan membentuk butir baru yang berukuran lebih halus[6,16].



Gambar 10. Foto struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 yang dilakukan deformasi *warm rolling* ditambah waktu tahan pemanasan 60 menit pada reduksi 45,16% (A). Potongan melintang sampel, sisi tengah, (B) Potongan melintang sampel, sisi tepi Etsa : FeCl_3 10%

Gambar 10 menunjukkan bahwa butir mengalami perubahan bentuk menjadi lebih pipih. Selain itu juga terlihat adanya butir-butir kecil baru yang muncul yang mengindikasikan terjadinya rekristalisasi dinamis sebagian dengan waktu tahan pemanasan 60 menit. Selain itu, Gambar 11 juga menunjukkan bahwa butir mengalami perubahan bentuk menjadi sangat pipih dan munculnya butir-butir kecil baru serta ukuran butir yang lebih kecil dan halus (ditandai dengan bulatan hitam) yang mengindikasikan material sudah mengalami rekristalisasi dinamis dengan waktu tahan pemanasan 120 menit.



Gambar 11. Foto struktur mikro paduan Cu-Zn 70/30 yang dilakukan deformasi *warm rolling* ditambah waktu tahan 120 menit pada reduksi 45,16%. (A) Potongan melintang sampel, sisi tengah, (B) Potongan melintang sampel, sisi tepi
Etsa : FeCl_3 10%

Pengujian korosi yang dilakukan dalam penelitian ini ada tiga yaitu *weight loss*, polarisasi, dan *ammonia vapor test*. Pengujian *Weight Loss* dan Polarisasi menggunakan masing-masing dua larutan yang merepresentasikan lingkungan berbeda yaitu lingkungan agresif air laut NaCl 3.5% dan lingkungan korosif ammonia dengan penggunaan *Mattsson's Solution*, sedangkan larutan yang digunakan pada *Ammonia Vapor Test* adalah *Ammonia Solution*.

Hasil Pengukuran Laju Korosi dengan Metode *Weight Loss*

Hasil pengukuran laju korosi dua lingkungan berbeda dengan menggunakan metode *weight loss* yang dilakukan pada spesimen paduan Cu-Zn 70/30 tanpa deformasi dan spesimen yang diberi perlakuan deformasi canai pada suhu 300°C dengan waktu pemanasan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 3 untuk lingkungan air laut (NaCl 3.5%) dan Tabel 4 untuk lingkungan ammonia (*Mattsson's Solution*).

Tabel 3.Hasil pengukuran laju korosi dengan metode *weight loss* pada larutan NaCl 3,5%

Sampel	Waktu Pemanasan (menit)	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	ΔW (gr)	Laju Korosi (mm/tahun)
1	Spesimen Awal (Blank)	8,9282	8,9244	0,0038	0,021876739
2	30	5,02473	5,01212	0,00353	0,022919725
3	60	5,31326	5,30986	0,0034	0,022075656
4	120	5,51486	5,5115	0,00336	0,021815942

Tabel 4.Hasil pengukuran laju korosi dengan metode *weight loss* pada *Mattson's Solution*

Sampel	Waktu Pemanasan (menit)	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	ΔW (gr)	Laju Korosi (mm/tahun)
1	Spesimen Awal (Blank)	9,0174	8,99146	0,02594	0,14933
2	30	5,70266	5,6656	0,03706	0,24062
3	60	5,34586	5,316	0,02986	0,19387
4	120	5,5432	5,316	0,0302	0,196083

Hasil Pengukuran Laju dengan Korosi Metode Polarisisasi

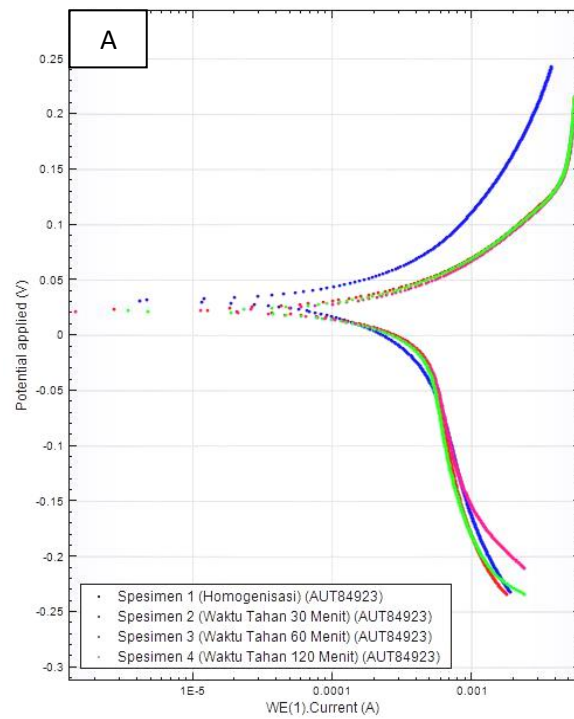
Hasil pengukuran laju korosi lingkungan air laut dan ammonia dengan menggunakan metode polarisisasi yang dilakukan pada paduan Cu-Zn 70/30 tanpa deformasi dan paduan Cu-Zn 70/30 yang diberi perlakuan deformasi canai pada suhu 300°C dengan waktu pemanasan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 serta kurva polarisisasi kedua lingkungan dapat dilihat pada Gambar 12.

Tabel 5.Hasil pengukuran laju korosi dengan metode polarisisasi pada larutan NaCl 3,5%

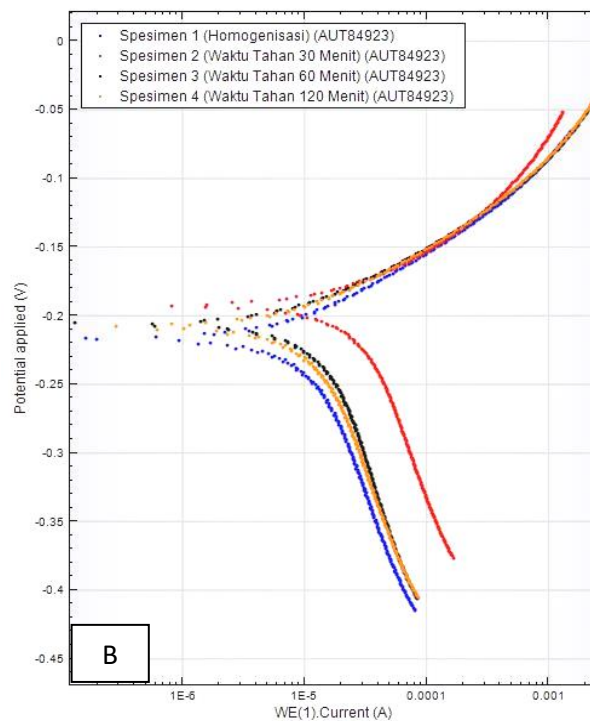
Sampel	Waktu Pemanasan (menit)	ba (mV/dec.)	bc (mV/dec.)	Ecorr (mV)	Icorr (μA)	Laju Korosi (mm/tahun)
1	Spesimen Awal (Blank)	239,43	65,6	-220,29	11,173	0,12983
2	30	235,73	67,12	-194,39	26,545	0,30845
3	60	247,46	60,38	-206,57	12,891	0,14979
4	120	244,74	61,91	-210,24	12,086	0,14044

Tabel 6.Hasil pengukuran laju korosi dengan metode polarisisasi pada *Mattson's Solution*

Sampel	Waktu Pemanasan (menit)	ba (mV/dec.)	bc (mV/dec.)	Ecorr (mV)	Icorr (μA)	Laju Korosi (mm/tahun)
1	Spesimen Awal (Blank)	481,87	190,58	27,88	388,5	4,5149
2	30	732,02	121,43	18,23	465,37	5,4076
3	60	565,83	113,95	18,4	435,61	5,0618
4	120	705,73	118,79	16,54	440,7	5,1209

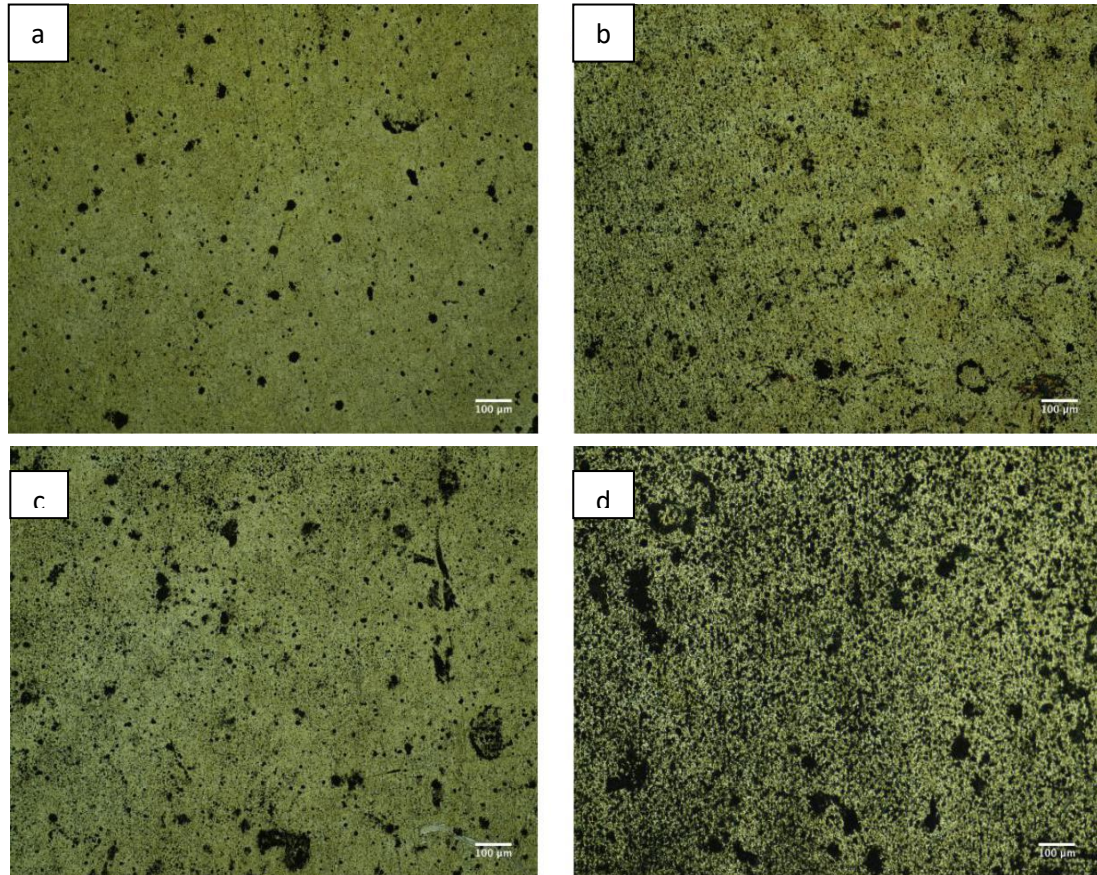


Gambar 12. Kurva polarisasi paduan Cu-Zn 70/30 pada lingkungan NaCl 3,5%



Gambar 13. Kurva polarisasi paduan Cu-Zn 70/30 pada lingkungan *Mattson's Solution*

Hasil pengujian *ammonia vapor test* untuk melihat respon perilaku korosi spesimen paduan Cu-Zn 70/30 tanpa deformasi dan spesimen yang diberi perlakuan deformasi canai pada suhu 300°C dengan waktu tahan pemanasan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Kurva polarisasi paduan Cu-Zn 70/30 pada lingkungan: a) NaCl 3.5%, b)

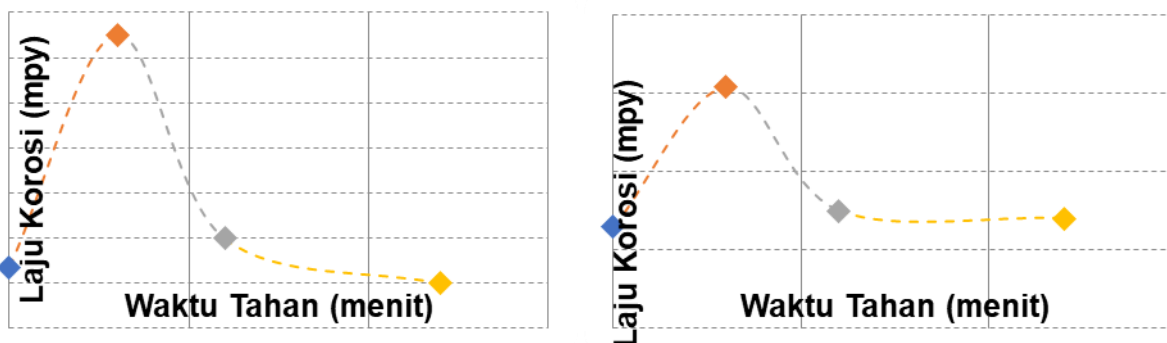
Mattsson's Solution a. Sampel homogenisasi, b. Sampel dengan TMCP dan waktu tahan 30 menit, c. Sampel dengan TMCP dan waktu 60 menit, d. Sampel dengan waktu tahan 120 menit

Gambar 14 menunjukkan struktur mikro dari respon perilaku korosi spesimen Paduan Cu-Zn 70/30 yang terpapar pada lingkungan ammonia selama 24 jam dalam sistem tertutup dengan perbesaran 100x. Struktur mikro Sampel homogenisasi (a) hingga Sampel dengan waktu tahan 120 menit (d) menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan laju korosi ditinjau dari semakin banyaknya poros hitam yang terbentuk karena adanya peningkatan waktu pemanasan dari 30 menit hingga 120 menit.

Peningkatan respon korosi pada sampel yang mengalami peningkatan waktu tahan disebabkan karena adanya deformasi yang terjadi pada sampel hasil TMCP sehingga meningkatkan *internal stress* dan *residual stress* yang dapat mempercepat terjadinya korosi. Selain itu, peningkatan korosi disebabkan oleh meningkatnya densitas dislokasi dan densitas *twin*[17]. Indikasi adanya Fenomena *Anneal Hardening* juga dapat mempengaruhi respon perilaku korosi karena adanya segregasi atom terlarut (dalam paduan ini berupa Zn) ke dislokasi ataupun ke batas butir dimana dengan meningkatnya segregasi paduan ke batas butir dapat meningkatkan tegangan yang terlokalisasi pada batas butir sehingga memicu terjadinya korosi. Selain itu dengan adanya segregasi paduan Zn ke batas butir menyebabkan *base metal* tembaga tertinggal dan menjadi berporos yang menyebabkan terjadinya *dezincification* seperti dapat dilihat pada Gambar 14 dimana jenis korosi *dezincification* biasanya rentan terjadi pada kuningan dengan kadar Zn lebih dari 15%[2].

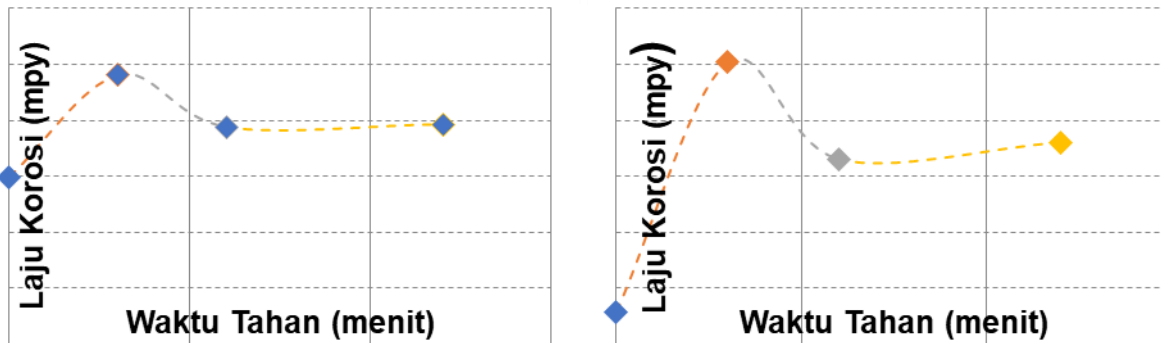
Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Laju dan Perilaku Korosi

Pada Gambar 15 dapat dilihat hubungan pengaruh waktu pemanasan terhadap laju korosi paduan Cu-Zn 70/30 pada lingkungan NaCl 3.5% baik dari hasil metode *weight loss* maupun polarisasi. Berdasarkan kedua grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada lingkungan NaCl 3.5% spesimen paduan Cu-Zn 70/30 mengalami penurunan laju korosi menjadi 0,021815942 (Tabel 3) dan 0,14044 mm/tahun (Tabel 5 dan Gambar 12) masing-masing untuk *weight loss* dan polarisasi seiring meningkatnya waktu pemanasan yang juga berkaitan dengan ukuran butir. Menurut S. Gollapudi, penghalusan butir dapat meningkatkan maupun menurunkan laju korosi suatu material tergantung dari materialnya. Jika lingkungan tersebut aktif maka semakin halus butir akan meningkatkan laju korosinya namun jika lingkungan tersebut cenderung membentuk lapisan pasif pada material maka semakin halus butir justru akan menurunkan laju korosi[18]. Selain itu menurut Ralston, belum ada penjelasan yang mendasar tentang semakin halus butir dapat menurunkan atau meningkatkan laju korosi suatu material karena dalam berbagai kasus penelitian dalam kondisi yang sama pun dapat menghasilkan keduanya. Di satu sisi semakin halus ukuran butir yang dimiliki oleh material, maka laju korosi akan menurun dikarenakan jumlah batas butir yang semakin banyak sehingga menyebabkan aktivitas 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. Jadi, fenomena penurunan laju korosi seiring dengan penurunan ukuran butir pada penelitian ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Ralston dan N.Birbilis yang kemungkinan disebabkan oleh peningkatan batas butir sehingga lapisan oksida yang terbentuk lebih koheren dan mengakibatkan ketahanan korosi material meningkat dan laju korosi menurun[17].



Gambar 15. Hubungan pengaruh waktu pemanasan terhadap laju korosi pada lingkungan NaCl 3.5%: a) Metode *weight loss*, b) Metode polarisasi

Pada penelitian yang dilakukan oleh M.M. Al-Abdallah, dkk tentang perilaku korosi tembaga pada lingkungan klorida dimana ion klorida merupakan ion yang sangat agresif terhadap paduan Cu-Zn yang menyebabkan terjadinya kecenderungan ion klorida untuk membentuk lapisan pasif yang tidak stabil berupa presipitat CuCl dipermukaan dan senyawa klorida kompleks yang dapat terlarut (CuCl_2 dan CuCl_3). Pada penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika tembaga terekspos oleh lingkungan NaCl maka tahanan yang terbentuk semakin meningkat ketika diuji menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) yang mengindikasikan laju korosi menurun akibat terbentuknya formasi lapisan film pada tembaga[19]. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh G. A. El-Mahdy dkk, dimana penelitian dilakukan untuk melihat perilaku korosi Cu-Zn 70/30 terhadap NaCl dan didapatkan bahwa jika kuningan terpapar dengan lingkungan NaCl dapat membentuk formasi lapisan film yang dapat menghambat terjadinya korosi lebih lanjut walaupun sebelum terbentuk formasi lapisan film tersebut, kuningan harus terlebih dahulu terkorosi. Pada penelitian tersebut, tahap korosi kuningan terbagi menjadi 3 tahap yaitu pada tahap pertama laju korosi akan meningkat secara signifikan kemudian pada tahap kedua dan ketiga akan melambat karena sudah terbentuk lapisan protektif. Mekanismenya adalah ketika bereaksi dengan NaCl, atom terlarut (dalam hal ini adalah Zn) akan terkorosi dan teroksidasi terlebih dahulu secara *dezincification* membentuk produk korosi berupa ZnO dan meninggalkan matriks Cu. Kemudian, matriks Cu akan bereaksi dan membentuk produk korosi berupa Cu_2O dimana kedua produk korosi inilah yang membentuk lapisan protektif akan menghambat dan menurunkan laju korosi[20].



Gambar 16. Hubungan pengaruh waktu pemanasan terhadap laju korosi pada lingkungan *matsson's solution*: a) Metode *weight loss*, b) Metode polarisasi

Di satu sisi penghalusan butir dapat menurunkan laju korosi pada spesimen paduan Cu-Zn 70/30 ketika terekspos lingkungan NaCl 3.5%, tetapi di sisi lain spesimen paduan Cu-Zn 70/30 sebaliknya yaitu cenderung mengalami peningkatan laju korosi menjadi 0,1906 mm/tahun (Tabel 4) dan 5,1209 mm/tahun (dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 13) masing-masing untuk *weight loss* dan polarisasi pada lingkungan *Mattsson's Solution* seiring meningkatnya waktu pemanasan yang sebelumnya berhubungan dengan penghalusan ukuran butir.

Pada Gambar 16 diatas hubungan pengaruh waktu pemanasan terhadap laju korosi paduan Cu-Zn 70/30 pada lingkungan *Mattsson's Solution* baik dari hasil metode *weight loss* maupun polarisasi menunjukkan bahwa sampel yang terdeformasi memiliki laju korosi yang lebih besar dibandingkan spesimen tanpa deformasi dikarenakan adanya *internal stress* akibat pengerjaan canai. Peningkatan laju korosi juga dapat disebabkan oleh adanya segregasi atom terlarut ke dalam batas butir maupun dislokasi sehingga meningkatkan tegangan terlokalisasi pada batas butir yang dapat memicu terjadinya korosi dimana segregasi atom terlarut ini merupakan salah satu indikasi fenomena *Anneal Hardening*. Gambar 16 juga memperlihatkan bahwa semakin meningkat waktu pemanasan terjadi respon perilaku yang sangat rentan terhadap korosi pada lingkungan ammonia. Selain itu, Ralston dan Birbilis juga menjelaskan walaupun dengan batas butir yang halus material cenderung memiliki ketahanan korosi yang tinggi terhadap korosi secara umum namun tidak menutup kemungkinan bahwa batas butir yang halus tersebut justru rentan terhadap korosi yang terlokalisasi [17,21].

KESIMPULAN

Ketahanan korosi pada paduan Cu-Zn 70/30 ketika proses TMCP *warm rolling* deformasi 60% (30%-30%) pada suhu 300°C yang dilakukan pemanasan dengan waktu tahan 30, 60, dan 120 menit sebelum pass kedua menunjukkan bahwa dengan waktu pemanasan yang lebih lama dari 30 menit ke 120 menit menyebabkan diameter rata-rata butir semakin kecil mencapai 36,5 μm . Awalnya terjadi peningkatan proses korosi pada sampel yang mengalami waktu tahan sebesar 30 menit disebabkan karena adanya deformasi yang terjadi pada sampel hasil TMCP sehingga meningkatkan *internal stress* dan *residual stress* yang dapat mempercepat terjadinya korosi. Selain itu, peningkatan laju korosi disebabkan oleh meningkatnya densitas dislokasi dan densitas *twin*.

Peningkatan laju korosi juga dapat disebabkan oleh adanya segregasi atom terlarut ke dalam batas butir maupun dislokasi sehingga meningkatkan tegangan terlokalisasi pada batas butir yang dapat memicu terjadinya korosi dimana segregasi atom terlarut ini merupakan salah satu indikasi fenomena *Anneal Hardening* pada sampel hasil TMCP dengan waktu tahan 30 menit.

Setelah peningkatan waktu tahan menjadi 60 menit dan 120 menit ketika TMCP maka proses penghalusan butir semakin mudah karena fenomena *Anneal Hardening* sudah berkurang sehingga diameter ukuran butir semakin mengecil. Menurunnya diameter ukuran butir menghasilkan jumlah batas butir yang semakin banyak sehingga menyebabkan aktivitas elektron di sekitar batas butir semakin meningkat dan lapisan pasif akan lebih mudah terbentuk dibandingkan material dengan butir berukuran kasar. Semakin mudah terbentuknya lapisan pasif maka laju korosi akan menurun dikarenakan adanya peningkatan waktu tahan ketika proses TMCP.

Hasil pengujian korosi menunjukkan paduan Cu-Zn 70/30 lebih tahan terhadap lingkungan air laut (NaCl 3.5%) dengan laju korosi masing-masing 0.0218 dan 0.14044 mm/yr dari hasil pengujian *weight loss* dan polarisasi dibandingkan lingkungan ammonia (*Mattsson's* dan *Ammonia Solution*) dengan laju korosi masing-masing 0.1906 dan 5.1209 mm/yr dari hasil pengujian *weight loss* dan polarisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] William D.Callister Jr., “An Introduction : Material Science and Engineering,” *John Wiley & Son Inc.*, 2007
- [2] Jones, Denny A., “Principle and Prevention of Corrosion 2nd Edition”, *Prentice Hall*, 1996
- [3] ASM Handbook Volume 02, “Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials”, ASM International, 1991
- [4] Verlinden, Berth, “Thermo-Mechanical Processing of Metallic Materials”, Elsevier. 2007.
- [5] G. H. Akbari, C. M Sellars and J.A Whiteman, “Microstructural Development During Warm Rolling of an IF Steel”, *Acta Metallurgica*, Vol. 45, No.12, hal.5047-5058, 1997
- [6] Febriyanti, Eka, dkk, “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
- [7] Nestorovic, S, “Influence of Time Annealing on Anneal Hardening Effect of Cast Cu-Zn Alloy”, *Journal of Mining and Metallurgy*, Vol.39(3-4)B, hal.489-497, 2003
- [8] ASTM B36M-13, “Standard Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar”, *ASTM*, 2003
- [9] ASTM G37, “Standard Practice for Use of Mattsson’s Solution of pH 7.2 to Evaluate the Stress-Corrosion Cracking Susceptibility of Copper-Zinc Alloys”, 2004
- [10] ASTM B858, “Standard Test Method for Determination of Susceptibility to Stress Corrosion Cracking in Copper Alloys using an Ammonia Vapor Test”, 1995
- [11] ASTM G31, “Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metal”, 2004
- [12] NACE RP0775, “Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations”, 2005
- [13] ASTM B858, “Standard Test Method for Determination of Susceptibility to Stress Corrosion Cracking in Copper Alloys using an Ammonia Vapor Test”, 1995
- [14] ASTM E112, “Standard Test Methods for Determining Average Grain Size,”ASTM, 2003
- [15] Harris, John Noel, “Mechanical Working of Metals:Theory and Practice”, Pergamon Press : UK, 1983
- [16] Walker, H/L., “Grain Sizes Produced by Recrystallization and Coalescence in Cold-Rolled Cartridge Brass”, University of Illinois, 2005
- [17] Ralston, K.D., N. Birbilis, “Effect of Grain Size on Corrosion: A Review”, *Corrosion*, Vol. 6, hal. 1-13, 2010
- [18] Gollapudi, S., “Grain Size Distribution Effects on the Corrosion Behaviour of Materials”, *Elsevier*, 2012
- [19] Al-Abdallah, M.M., dkk, “Corrosion Behavior of Copper in Chloride Media”, *The Open Corrosion Journal*, Vol.2, hal. 71-76, 2009
- [20] El-Mahdy, G.A., dkk, “Brass Corrosion under a single droplet of NaCl”, *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol.8, hal. 9858-9867, 2013
- [21] Ralston, K.D., N. Birbilis, dan C.H.J. Davies, “Revealing the relationship between grain size and corrosion rate of metals”, *Scripta Materialia*, Vol. 63, hal.1201–120, 2010