

## KARAKTERISASI KUNINGAN MISKIN Pb TERBUAT DARI DAUR ULANG LIMBAH KUNINGAN

Nurul Taufiqu Rochman

Pusat Penelitian Fisika (P2F) - LIPI  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI KUNINGAN MISKIN Pb TERBUAT DARI DAUR ULANG LIMBAH KUNINGAN.** Akhir-akhir ini regulasi untuk membatasi penggunaan Pb yang ditambahkan ke dalam kuningan khususnya untuk peralatan pensuplai air sudah diberlakukan. Hal ini mengakibatkan limbah kuningan yang mengandung Pb tidak dapat dipakai kembali dan menjadi sampah industri dalam jumlah besar. Oleh karenanya pengembangan kuningan miskin Pb dilakukan secara intensif. Dalam studi kali ini, Pb dieliminasi dari kuningan dengan menggunakan metode *compound separation*. Kemudian kuningan miskin Pb yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan mikroskop optik, *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *Electron Scanning Microscope (SEM)*, *Electron Probe Microanalyzer (EPMA)*, kekerasan *Rockwell* dan uji tarik. Hasil analisis menunjukkan bahwa kekerasan dan regangan kuningan miskin Pb sangat dipengaruhi secara signifikan oleh struktur mikro dan konsentrasi Pb. Semakin sedikit konsentrasi Pb semakin tinggi kekerasannya, namun semakin rendah regangannya. Sementara itu, kekuatan tarik kuningan miskin Pb tidak terlalu dipengaruhi oleh konsentrasi P dan Pb.

**Kata kunci :** Kuningan miskin Pb, eliminasi Pb, *compound separation*, konsentrasi Pb, kekuatan tarik, kekerasan, regangan

### ABSTRACT

**CHARACTERIZATION OF Pb-LESS BRASS PREPARED FROM RECYCLING SCRAP BRASS.** Recently, regulation to limit utilities of Pb added into brass especially for water supply system was enforced. A huge amount of scrap brass became industrial waste. Therefore, development of Pb-less brass from scrap brass was conducted intensively. In this study, Pb was removed from Pb containing brass using compound separation method. Pb-less obtained was then characterized by means of optical microscopy, X-Ray Fluorescence (XRF), Electron Scanning Microscopy (SEM), Electron Probe Microanalyzer (EPMA), Rockwell Hardness and tensile test. Results show that hardness and strain are significantly influenced by microstructure and Pb concentration. The decrease of Pb concentration leads to increase in the hardness and decrease in the strain. The contents of P and Pb do not give significant effect on tensile strength.

**Key words :** Pb less-brass, Pb removal, compound separation, Pb concentration, tensile strength, hardness, strain

### PENDAHULUAN

Sejak tahun 1980-an, Pb ditambahkan 2 % hingga 7 % ke dalam hampir seluruh paduan logam struktur termasuk kuningan untuk memperbaiki sifat permesinannya. Namun, dewasa ini Pb diketahui sebagai logam toksik yang membahayakan bagi kesehatan [1-2]. Regulasi untuk membatasi penggunaan Pb yang ditambahkan ke dalam kuningan, khususnya untuk peralatan pensuplai air telah diberlakukan. Hal ini mengakibatkan jutaan meter kubik *skrap* kuningan menjadi sampah industri. Oleh karena itu, pengembangan kuningan miskin Pb (*Pb less-brass*) dilakukan secara intensif [3-8].

Kobe steel mengembangkan teknologi *compound separation* dengan penambahan paduan Ca-Cu dan menggunakan peralatan kompres khusus untuk

mengeliminasi Pb dari kuningan [6]. Namun demikian, metode ini hanya dapat mengeliminasi Pb sekitar 29 %. Pemilihan paduan Ca-Si sebagai *aggregate agent* dan NaF sebagai *slag removal* sehingga konsentrasi Pb dapat dieliminasi hingga 95 % [7].

Di lain sisi, peningkatan ion khlor dalam air dan penggunaan air panas dapat menimbulkan permasalahan korosi yang serius pada peralatan pensuplai air. Telah dikembangkan kuningan tahan karat yang diberi nama *ecobrass* dengan menambahkan Si ke dalam kuningan dan meningkatkan sifat ketahanan korosinya secara signifikan [4]. Juga telah dilaporkan bahwa penambahan Sn atau P dalam jumlah tertentu dapat secara signifikan meningkatkan ketahanan korosi kuningan [8,9]. Penambahan unsur P ke dalam kuningan miskin Pb juga

telah dilakukan dan dilaporkan bahwa penambahan tersebut juga masih efektif meningkatkan ketahanan korosi dari kuningan miskin Pb [10].

Namun demikian, seiring dengan pengeliminasian Pb dari kuningan dan penambahan unsur P maka sifat mekanik akan mengalami perubahan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi kuningan miskin Pb yang terbuat dari limbah kuningan komersial yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya [10].

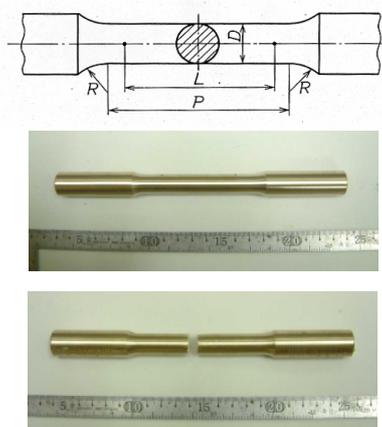
## METODE PERCOBAAN

Kuningan miskin Pb dari limbah kuningan komersial (JIS CAC203) yang telah dieliminasi Pbnya dan ditambahkan unsur P untuk meningkatkan ketahanan korosinya pada penelitian sebelumnya [10]. Tabel 1 menunjukkan simbol dan komposisi utama kuningan miskin Pb yang digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 1.** Simbol dan komposisi utama sampel kuningan yang digunakan [% massa].

Simbol	Keterangan	Zn	Cu	P	Pb	Rasio eliminasi Pb
K	CAC203	38	sisa	-	2,15	-
KP0	Pb setelah dieliminasi	38	sisa	-	0,33	85
KP1	Pb setelah dieliminasi + P 0,013%	38	sisa	0,013	0,51	76
KP2	Pb setelah dieliminasi + P 0,049%	37	sisa	0,049	0,53	75

Untuk mengetahui struktur mikro dari masing-masing bahan, sampel diambil dengan memotong ujungnya beberapa milimeter dan kemudian dipolish dengan amplas sampai #1200 dan dilanjutkan dengan partikel *diamond* dengan ukuran 1  $\mu\text{m}$ . Permukaan sample di *dietsa* dengan menggunakan campuran air amonia, air distilasi dan air berat ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dengan perbandingan 10: 5: 1. Kemudian sampel dikarakterisasi dengan menggunakan mikroskop optik, SEM, EPMA dan uji kekerasan dengan menggunakan *Rockwell testing*. Sementara itu, uji tarik dilakukan dengan menggunakan standar JIS Z 2201 4. Gambar 1 menunjukkan bentuk dan



**Gambar 1.** Bentuk dan ukuran sampel (JIS Z 2201 4), dimana  $d = 14 \text{ mm}$ ,  $L = 50 \text{ mm}$ ,  $P = 70 \text{ mm}$  dan  $R = 15 \text{ mm}$  (atas), sampel sebelum diuji tarik (tengah), sampel setelah diuji tarik (bawah)

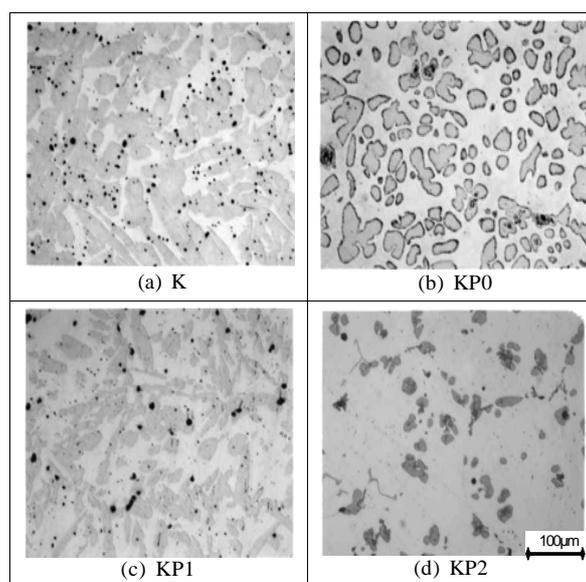
ukuran sampel uji tarik standar JIS Z 2201 4. Untuk mengetahui mekanisme terjadinya perpatahan, dilakukan observasi *field emission SEM* pada permukaan patahan dari masing-masing sampel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan foto struktur mikro masing-masing sampel kuningan. Pada kuningan komersial CAC203 (dengan simbol K), daerah yang agak gelap yang berbentuk butiran lonjong memanjang merupakan fasa  $\beta$ , dimana fasa ini muncul pada kuningan ketika konsentrasi Zn melebihi 38 % dan unsur Zn lebih mendominasi yang mengakibatkan lebih mudah korosi dan menjadi gelap dibanding dengan daerah sekelilingnya yang berfasa  $\alpha$ . Sementara itu ada bercak hitam tersebar diseluruh permukaan yang diketahui dengan analisis EPMA sebagai unsur Pb.

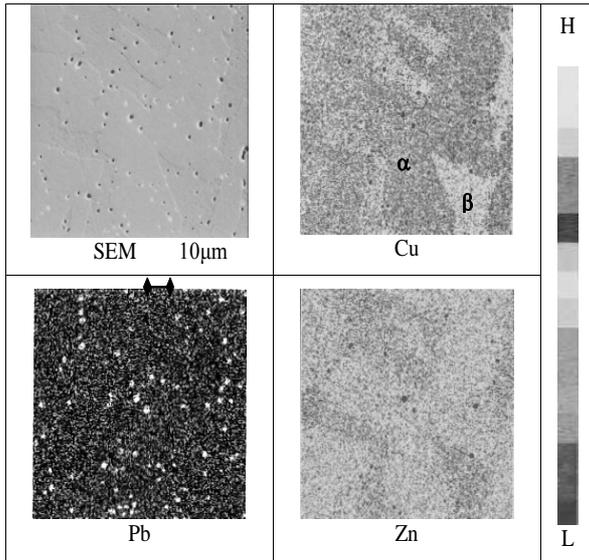
Setelah eliminasi Pb, pada sampel KP0, terlihat adanya butiran yang berbentuk cenderung bulat dan tidak bersudut serta sedikit lebih kecil dibanding butiran pada K. Bentuk seperti ini mungkin terjadi karena adanya unsur lain yang terlarut ke dalam fasa tersebut pada saat proses ekiminasi Pb dengan *compound separation* menggunakan  $\text{CaSi}_2$  dan NaF (lihat analisis EPMA pada Gambar 4). Pada penambahan unsur P sebanyak 0,013 % (KP1), butiran kembali menjadi berbentuk lonjong memanjang. Namun dengan penambahan P sebanyak 0,049%, butiran tersebut menghilang dan terbentuk butiran yang lebih gelap berbentuk cenderung bulat dan berjumlah tidak sebanyak butiran sebelumnya. Untuk mengetahui fasa-fasa tersebut, dilakukan analisis *mapping* dengan menggunakan EPMA

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis EPMA *mapping area* permukaan kuningan komersial  $\text{Ca}_2\text{O}_3$



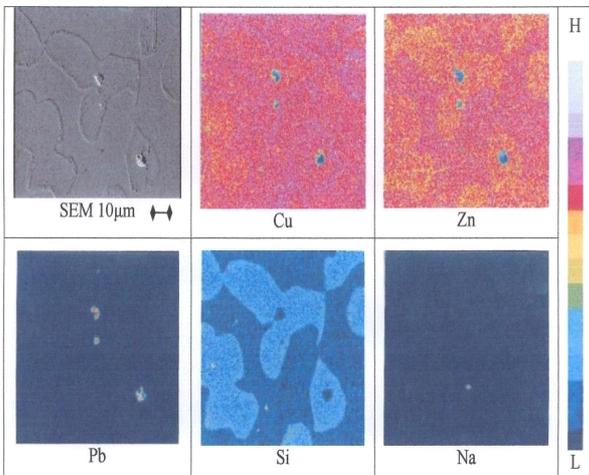
**Gambar 2.** Foto struktur mikro masing-masing sampel kuningan.

(K). Warna *mapping* berubah dari gelap menuju terang mengindikasikan intensitas kandungan unsur yang menjadi target pada *area* semakin menguat. Bercak hitam yang menyebar di seluruh permukaan pada gambar SEM berasosiasi dengan bercak putih pada *mapping area* Pb. Hal ini menunjukkan bahwa bercak hitam tersebut adalah unsur Pb yang tersebar merata di seluruh permukaan seperti juga ditunjukkan pada Gambar 2 (a). Sementara itu butiran yang bersudut seperti ditunjukkan adalah fasa  $\beta$  dikelilingi oleh fasa  $\alpha$ .



**Gambar 3.** Hasil analisis *mapping area* permukaan kuningan komersial  $\text{CaC}_2\text{O}_3$  (K) dengan EPMA.

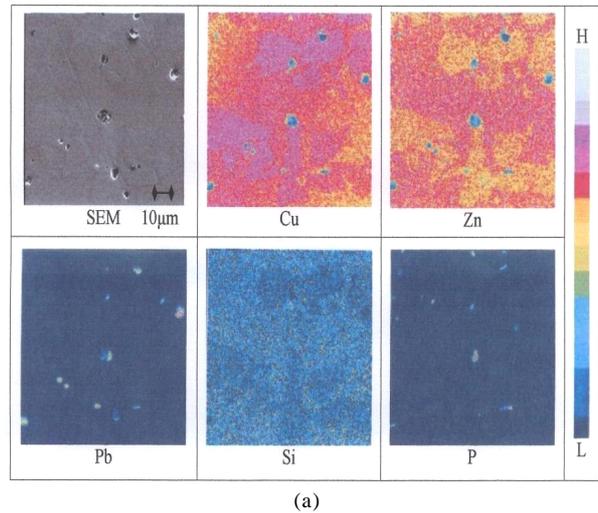
Gambar 4 menunjukkan hasil analisis *mapping* unsur dengan EPMA pada kuningan (KP0) yang mengalami proses eliminasi Pb dengan metode *compound separation* dengan *aggregation agents* (paduan utamanya  $\text{Ca}_2\text{Si}$  dan NaF). Analisis unsur Si dan Na juga dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur tersebut yang tertinggal saat proses eliminasi Pb.



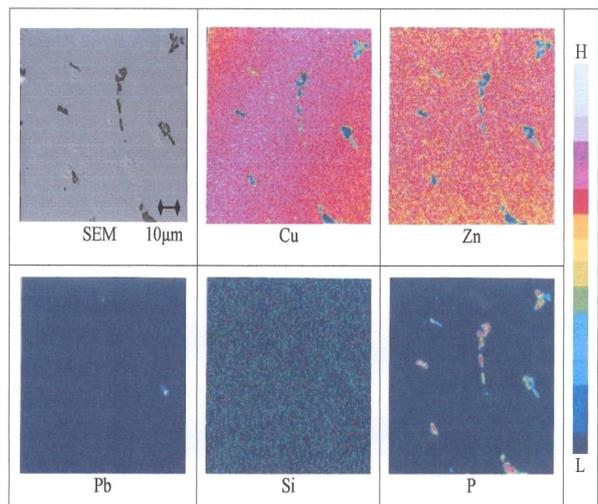
**Gambar 4.** Hasil analisis *mapping* unsur pada KP0 dengan EPMA.

Terlihat bahwa jumlah butiran Pb sudah sangat sedikit. Pada sampel KP0, terbentuk butiran yang cenderung bulat yang merupakan paduan dari unsur-unsur Cu, Zn dan Si. Di sini, Si cenderung terlarut pada fasa kaya Cu atau fasa  $\alpha$  dibanding fasa  $\beta$ . Dilaporkan juga bahwa unsur Si melarut pada fasa  $\alpha$  pada pengembangan *ecobrass* [4]. Keberadaan unsur Si ini yang membuat bentuk butiran fasa  $\beta$  menjadi berbentuk sedikit membulat. Sementara itu, unsur Na hampir tidak terdeteksi kecuali hanya satu butiran kecil saja. Dapat diasumsikan bahwa, pada proses eliminasi unsur Pb, unsur Na tidak terlepas ketika paduan NaF mengikat unsur-unsur pengotor dan menjadi *slag* dan mengambang di atas.

Gambar 5 menunjukkan hasil analisis EPMA dari kuningan setelah dieliminasi dan ditambahkan unsur P 0,013% (KP1) dan 0,049% (KP2). Unsur Pb masih terdeteksi pada masing-masing sampel. Pada penambahan unsur P dalam jumlah yang relatif sedikit (sampel KP1 pada Gambar 5 (a)), masih terbentuk butiran fasa yang didominasi dengan unsur-unsur Cu, Zn dan



(a)

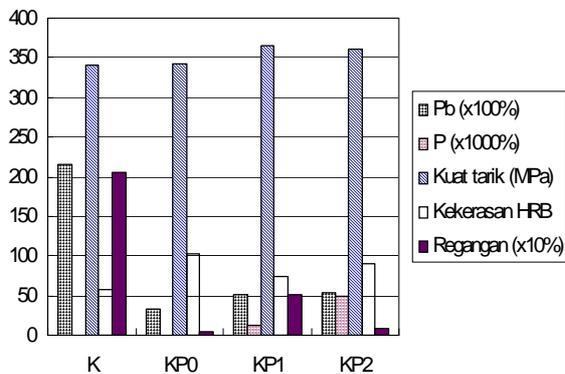


(b)

**Gambar 5.** Hasil analisis *mapping area* EPMA dari kuningan setelah proses eliminasi Pb dan penambahan unsur P (a) 0,013% dan (b) 0,049% (KP2).

Si. Jika diperhatikan, dominasi kandungan unsur Si terjadi pada fasa yang kaya Zn atau fasa  $\beta$ . Hal ini berbeda dengan keadaan pada sampel tanpa penambahan unsur P (KPO) seperti terlihat pada Gambar 4, dimana unsur Si mendominasi pada fasa  $\alpha$ . Sementara itu pada sampel dengan penambahan unsur P yang lebih banyak (KP2), butiran-butiran fasa menjadi tidak terdeteksi lagi dan dominasi unsur-unsur Cu, Zn dan Si kurang terlihat dengan jelas seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (b). Dilain sisi, unsur P tersegregasi yang membentuk butiran kecil di bawah 10  $\mu\text{m}$  dan semakin membesar dengan penambahan konsentrasinya.

Gambar 6 menunjukkan kandungan unsur Pb dan P serta karakterisasi kuningan masing-masing sampel. Kuningan komersial memiliki regangan yang cukup tinggi sekitar 20% ( $200/10 \times \% = 20\%$ ) dibanding dengan sampel yang lain. Sementara itu, kekerasannya paling rendah dibanding dengan KPO, KP1 dan KP2 yang semakin meningkat seiring dengan penurunan jumlah konsentrasi Pb. Hal ini menunjukkan bahwa partikel Pb yang lunak berukuran 1  $\mu\text{m}$  hingga 5  $\mu\text{m}$  yang tersebar di matriks kuningan (lihat Gambar 3) mempengaruhi secara keseluruhan kekerasan kuningan, dimana semakin banyak konsentrasinya akan semakin rendah kekerasannya dan begitu juga sebaliknya. Sementara itu kuat tarik sampel tidak berbeda secara signifikan dimana KP1 dan KP2 sedikit lebih besar dibanding KPO dan K yang tidak ada penambahan unsur P. Namun, penambahan unsur P tersebut dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan ketahanan korosi secara signifikan seperti telah dilaporkan dalam studi sebelumnya [9].



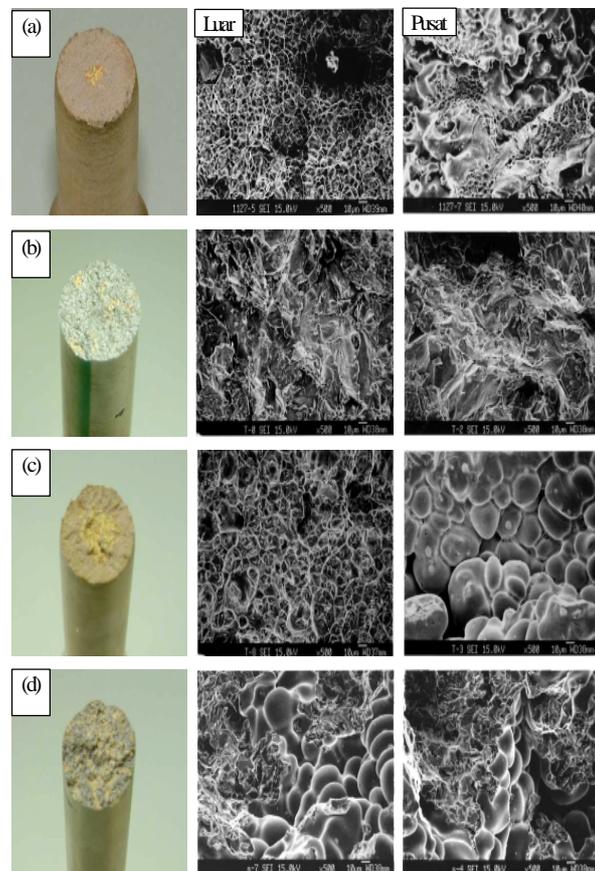
Gambar 6. Karakterisasi kuningan sebelum dan sesudah eliminasi Pb dan penambahan P.

Gambar 7 menunjukkan permukaan dan strukturmikro patahan masing-masing sampel. Permukaan patahan kuningan komersial K membentuk *neck* atau penyempitan dengan warna terang dibagian tengahnya yang menunjukkan terjadinya perpanjangan dari bahan yang ulet sebelum mengalami perpatahan. Adapun strukturmikro bagian lingkaran luar terlihat tipe *dimple* yang berukuran kecil, sementara di bagian tengah terdiri dari campuran *dimple* berukuran kecil dan besar. Hal ini yang memungkinkan kuningan komersial K

memiliki regangan yang relatif besar mencapai 20 % seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Pada kuningan yang memiliki strukturmikro berbentuk butir yang lonjong memanjang (K) seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (a) akan menghasilkan bentuk patahan *dimple* seperti ditunjukkan pada Gambar 7 (a). Berbeda dengan ini, KPO dengan kandungan Pb yang paling sedikit, memiliki strukturmikro berbentuk butir bulat (Gambar 3 (b)) akan menghasilkan bentuk permukaan patahan yang rapuh (*brittle*) seperti bekas serpihan baik di sekitar lingkaran luar atau pusat (Gambar 7 (b)). Oleh karenanya, kuningan KPO hampir tidak memiliki regangan sama sekali (0,5 %) seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Sementara itu, permukaan patahan KP1 terlihat sedikit terjadi penyempitan diameternya dan di sekitar lingkaran luar terlihat adanya tipe *dimple* (berasosiasi dengan strukturmikro dengan bentuk butir lonjong seperti Gambar 3 (c)) namun pada pusat lingkaran seperti tidak terjadi proses *sinter* yang mungkin disebabkan terjebaknya *void*. Oleh karenanya, regangannya tidak terlalu tinggi sekitar 5,1 %.

Adapun KP2 memiliki permukaan bertipe *dimple*, namun *void* banyak terjebak baik di lingkaran luar ataupun dalam, yang mengakibatkan regangan yang jauh lebih kecil sekitar 0,8 %. Dari uraian di atas dapat dipahami bahwa penambahan P dalam jumlah sedikit sekitar



Gambar 7. Permukaan dan strukturmikro patahan dari sampel a) K, b) KPO, c) KP1 dan d) KP2.

0,013 % ( $13/1000 \times \% = 0,013 \%$ ) dapat meningkatkan regangan, namun dapat mengakibatkan terjebaknya void yang dapat menurunkan nilai regangan juga. Penambahan P yang berlebihan dapat meningkatkan timbulnya void baik di seluruh permukaan, yang mengakibatkan rendahnya nilai regangannya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan kuningan yang ulet, di samping penambahan P juga perlu penambahan unsur lain yang memiliki fungsi seperti unsur Pb. Dalam hal ini penambahan P harus dikontrol jumlah konsentrasinya karena dapat menimbulkan terjebaknya void yang memperburuk sifat keuletannya.

## KESIMPULAN

Telah dikarakterisasi sampel kuningan miskin Pb dari daur ulang limbah kuningan yang telah ditambahkan unsur P untuk tujuan peningkatan korosi. Kekerasan dan regangan kuningan dipengaruhi oleh perubahan strukturmikronya dan konsentrasi Pb. Semakin sedikit konsentrasi Pb semakin tinggi kekerasannya, namun semakin rendah regangannya. Sementara itu, kekuatan tarik kuningan miskin Pb tidak terlalu dipengaruhi oleh konsentrasi P dan Pb. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lanjutan dengan mencari unsur pengganti Pb atau melakukan perlakuan khusus untuk mendapatkan kuningan miskin Pb dari *skrap* yang memiliki sifat mekanik yang ideal.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. GOYER R. A., *Environmental Health Perspective*, **100**, (1993) 177-187
- [2]. SUBRAMANIAN K. S., *In Quantitative Trace Analysis of Biological Materials*, Edited by MCKENZIE H. A. and SMYTHE L. E., Elsevier, (1988) 589-604
- [3]. K. YAMADA, NURUL TAUFUQU ROCHMAN, R. FUJIMOTO, S. SUEHIRO and H. SUEYOSHI, *Journal of Advanced Science*, **13**(3) (2001) 273-276
- [4]. K. OISHI, T. MATSUMOTO and T. OKUBO, *Materia Japan*, **39**(1) (2000) 90-92
- [5]. L. V. WHITING, P. D. NEWCOMBE and M. SAHOO, *AFS Transactions*, **95-98** (1995) 683-691
- [6]. K. KUNII, K. OOSUMI, E. YOSHIDA, J. MASUDA, H. OKADA and T. NAKAMURA, *Journal of Japan Copper and Brass Research Association*, **36** (1997) 132-136
- [7]. NURUL T. R., S. SUEHIRO, K. HIGASHIRIKI, A. NAKANO, K. YAMADA, K. HAMAISHI, S. NAKAMURA, Y. SECHI, T. MATSUDA and H. SUEYOSHI, *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, **29**(5) (2004) 2141-2144
- [8]. NURUL T. R., A. NAKANO and H. SUEYOSHI, Dezincification Behavior of Brass with P Addition, *Proceedings of The 13 th Asian-Pacific Corrosion Control Conference*, Osaka, Japan (2003) APCCC-13 C101
- [9]. NURUL T. R., K. YAMADA, R. FUJIMOTO, S. SUEHIRO and H. SUEYOSHI, *Journal of Advanced Science*, **13**(3) (2002) 277-280
- [10]. NURUL T. R., S. SUEHIRO, K. HIGASHIRIKI, A. NAKANO, K. YAMADA, K. HAMAISHI, S. NAKAMURA, Y. SECHI, T. MATSUDA and H. SUEYOSHI, Pb-Less Brass with High Dezincification in LCA Perspective, *Proceedings of EcoMaterials and Ecoprocessess*, COM 2003, Vancouver, Canada (2003) 245-253