



P-ISSN 0126-3188

E-ISSN 2443-3926

# METALURGI

MAJALAH ILMU DAN TEKNOLOGI

---

VOLUME 32 Nomor 1, APRIL 2017

AKREDITASI NO. SK 637/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

---

Pengaruh Waktu Deposisi Dan Temperatur Substrat  
Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO)

Studi *Recovery* Tembaga Dari Limbah Elektrolit Pemurnian Perak  
Menggunakan Proses Ekstraksi Pelarut-*Electrowinning*  
Dengan Mextral 5640H Sebagai Ekstraktan

Ketahanan Korosi Paduan Cu-Zn 70/30  
Setelah Proses *Thermomechanical Controlled Process* (TMCP)

Pengaruh Proses Tempering Ganda Terhadap Sifat Mekanik  
Material Baja Cor Paduan Ni-Cr-Mo

Pengaruh Suhu dan Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro,  
dan Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia



**Penanggung Jawab:**  
Kapuslit Metalurgi dan Material – LIPI

**Dewan Redaksi :**  
**Ketua Merangkap Anggota:**  
Dr. Ika Kartika, M.T, P2MM - LIPI

**Anggota :**  
Dr. Ir. Djusman Sajuti (P2MM - LIPI, Metalurgi Ekstraksi)  
Dr. Ir. Rudi Subagja (P2MM - LIPI, Metalurgi Ekstraksi)  
Dr. Ir. Florentinus Firdiyono (P2MM - LIPI, Metalurgi Ekstraksi)  
Dr. Ing. Andika W. Pramono, M. Sc (P2MM - LIPI, Fungsional Material)  
Dr. Nono Darsono (P2MM - LIPI, Fungsional Material)

**Mitra Bestari :**  
Dr. Ir. Hadi Suwarno, M.Eng (BATAN - Ilmu Material)  
Dr. Timotius Pasang (AUT University, New Zealand - Pembentukan Logam)  
Dr. Asep Ridwan (Teknik Material – Institut Teknologi Bandung)  
Dr. Prita Dewi Basoeki, MT (Teknik Mesin – Universitas Katolik Atmajaya)

**Pelaksana Redaksi:**  
Lia Andriyah, M.Si  
M. Yunan Hasbi, S.T  
Agus Budi Prasetyo, M.T  
Arif Nurhakim, S.Sos  
Noor Hidayah, S.Ip  
Bahari, BE  
Galih Senopati, S.T  
Daniel Panghuhutan, M.Si  
Adi Noer Syahid, A.Md

**Penerbit:**  
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI Ged. 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangsel Telp: (021) 7560911, Fax: (021) 7560553

**Alamat Sekretariat:**  
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI Ged. 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangsel  
Telp: (021) 7560911, Fax: (021) 7560553  
E-mail : metalurgi\_magz@yahoo.com

Majalah ilmu dan teknologi terbit berkala setiap tahun, satu volume terdiri atas 3 nomor.

# METALURGI

VOLUME 32 NOMOR 1, APRIL 2017  
P-ISSN 0126-3188  
E-ISSN 2443-3926

**AKREDITASI : SK 637/AU3/P2MI-LIPI/07/2015**

**Pengantar Redaksi.....iv**

**Abstrak.....v**

**Pengaruh Waktu Deposisi Dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif Fluorine-doped Tin Oxide (FTO)**  
Tri Arini.dkk.....1-8

**Studi Recovery Tembaga Dari Limbah Elektrolit Pemurnian Perak Menggunakan Proses Ekstraksi Pelarut-Electrowinning Dengan Mextral 5640H Sebagai Ekstraktan**  
Muhammad Wildanil Fathoni, dkk.....9-20

**Ketahanan Korosi Paduan Cu-Zn 70/30 Setelah Proses Thermomechanical Controlled Process (TMCP)**  
Eka Febrivanti, dkk.....21-28

**Pengaruh Proses Tempering Ganda Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Cor Paduan Ni-Cr-Mo**  
Beny Bandanadjaja, dkk.....29-36

**Pengaruh Suhu dan Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni**  
Hadi Perdana, dkk.....37-44

**Indeks**



## PENGANTAR REDAKSI

Syukur Alhamdulillah Majalah Metalurgi Volume 32 Nomor 1, April 2017 kali ini menampilkan 5 buah tulisan.

Tulisan pertama hasil penelitian disampaikan oleh Tri Arini dan kawan-kawan menulis tentang *Pengaruh Waktu Deposisi Dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif Fluorine-doped Tin Oxide (FTO)*. Selanjutnya Muhammad Wildanil Fathoni menulis tentang *Studi Recovery Tembaga Dari Limbah Elektrolit Pemurnian Perak Menggunakan Proses Ekstraksi Pelarut-Electrowinning Dengan Mextral 5640H Sebagai Ekstraktan*. Eka Febrianti dan kawan-kawan menulis tentang *Ketahanan Korosi Paduan Cu-Zn 70/30 Setelah Proses Thermomechanical Controlled Process (TMCP)*. Selanjutnya Beny Bandanadjaja dan kawan-kawan menulis tentang *Pengaruh Proses Tempering Ganda Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Cor Paduan Ni-Cr-Mo*. Terakhir yaitu Hadi Perdana dan kawan-kawan menulis tentang *Pengaruh Suhu dan Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni*.

Semoga penerbitan Majalah Metalurgi volume ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dunia penelitian di Indonesia.

**REDAKSI**



Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 536.2

Tri Arini<sup>a\*</sup>, Latifa Hanum Lalasari<sup>a</sup>, Akhmad Herman Yuwono<sup>b</sup>, F. Firdiyono<sup>a</sup>, Lia Andriyah<sup>a</sup>, Achmad Subhan<sup>c</sup> (<sup>a</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI, <sup>b</sup>Departemen Teknik Metalurgi dan Material – Universitas Indonesia, <sup>c</sup>Pusat Penelitian Fisika - LIPI)

Pengaruh Waktu Deposisi dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*)

Metalurgi, Vol 32 No. 1 April 2017

Pembuatan FTO (*fluorine-doped tin oxide*) ini diharapkan dapat menggantikan fungsi ITO (*indium tin oxide*) karena proses pembuatan yang sederhana dan biaya yang relatif rendah. Prekursor timah klorida dengan doping flourine yang dipreparasi melalui metode *sol-gel* dengan proses pelapisan dengan teknik *spray pyrolysis* dapat dipertimbangkan sebagai suatu terobosan baru di dalam struktur *device* sel surya tersensitasi zat pewarna. Percobaan ini menggunakan bahan baku timah (II) klorida hidrat ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sebagai prekursor dan amonium florida ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) sebagai doping dengan rasio 6 %berat dengan variasi temperatur 250, 300, 350, 400 °C dan dengan variasi waktu 5, 20, 30, dan 40 menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin lama waktu deposisi maka akan semakin kecil nilai resistivitas kaca konduktif. Namun semakin lama waktu deposisi akan mengurangi nilai transmitansi. Pada percobaan ini menghasilkan transmitansi tinggi dan resistivitas rendah diperoleh pada variasi waktu deposisi 5 menit dengan temperatur substrat 300 °C dengan nilai resistivitas  $3,16 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  dan nilai transmitansi 86,74%.

**Kata Kunci:** Kaca konduktif,  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , doping  $\text{NH}_4\text{F}$ , resistivitas, transmitansi

*The Influence of Deposition Time and Substrate Temperature in Manufacturing Process of FTO (Fluorine-doped Tin Oxide) Conductive Glass*

*Manufacturing FTO (fluorine-doped tin oxide) is expected to replace ITO (indium tin oxide) because the process is simple and relatively low cost. Tin chloride precursor with fluorine doping is prepared via sol-gel method with a coating process with spray pyrolysis technique can be considered as a new breakthrough in DSSC device structures. This experiment uses the raw material tin (II) chloride hydrate ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) as precursors and ammonium fluoride ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) as a doping ratio of 6% wt with variation in temperatures of 250, 300, 350, 400 °C and time resistivities of 5, 20, 30 and 40 minutes. The results showed that the longer deposition time decreasing value of conductive glass resistivity. This condition would reduce the value of transmittance. High transmittance and low resistivity obtained on the variation of deposition time 5 minutes with a substrate temperature of 300 °C with a resistivity value of  $3.16 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  and transmittance value of 86.74%.*

**Keywords:** Conductive glass,  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , doping  $\text{NH}_4\text{F}$ , resistivity, transmittance

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 348.02

Muhammad Wildanil Fathoni\* dan M. Zaki Mubarak (Program Studi Teknik Metalurgi, FTSM-ITB)

Studi *Recovery* Tembaga dari Limbah Elektrolit Pemurnian Perak Menggunakan Proses Ekstraksi Pelarut-Electrowinning dengan Mextral 5640H Sebagai Ekstraktan

Metalurgi, Vol 32 No. 1 April 2017

Penelitian mengenai *recovery* logam berharga dari limbah cair telah banyak dilakukan. Salah satu caranya adalah melalui proses ekstraksi pelarut – *electrowinning*. Dalam *paper* ini didiskusikan proses *recovery* tembaga dari limbah elektrolit *electrorefining* perak dengan proses ekstraksi pelarut, *stripping* dan *electrowinning*. Serangkaian percobaan ekstraksi pelarut tembaga dengan Mextral 5640H dilakukan terhadap dua jenis sampel larutan limbah elektrolit. Sampel pertama merupakan limbah elektrolit *electrorefining* perak dengan matriks nitrat tanpa pengolahan terlebih dahulu, sementara sampel kedua merupakan limbah elektrolit yang sudah mengalami proses pengendapan perak dengan penambahan garam klorida sehingga mempunyai matriks klorida. Percobaan ekstraksi pelarut dengan menggunakan sampel pertama tidak memberikan ekstraksi tembaga yang memadai dan tidak selektif terhadap perak, dimana dengan menggunakan konsentrasi ekstraktan 15% (v/v) ko-ekstraksi Ag mencapai 10%, sementara ekstraksi Cu hanya 32%. Percobaan ekstraksi pelarut dengan menggunakan sampel limbah elektrolit kedua mencapai ekstraksi Cu tertinggi sebesar 97% yang diperoleh pada konsentrasi ekstraktan 25% (v/v), pH kesetimbangan 2, nisbah volume organik/aqueous (O/A) 2/1 dan temperatur 25 °C. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses ekstraksi Cu dalam larutan klorida dengan Mextral 5640H bersifat eksotermis dengan nilai  $\Delta H$  sebesar -2,97 kJ/mol. *Recovery* proses *stripping* Cu tertinggi yang diperoleh sebesar 87,1% yaitu pada konsentrasi asam sulfat 200 gpl, nisbah O/A 2/1 dan temperatur 46 °C dengan konsentrasi tembaga dalam larutan hasil *stripping* mencapai 50 gpl. Efisiensi arus proses *electrowinning* sebesar 98,7%, dengan tegangan sel 2,4 volt dan konsumsi energi listrik 2077 kWh/ton-tembaga.

**Kata Kunci:** Limbah elektrolit perak, tembaga, ekstraksi pelarut, mextral 5640H

*Study of Copper Recovery from Spent Electrolyte Silver by Solvent Extraction – Electrowinning Using Mextral 5640 H*

*Numerous investigations have been done for valuable metals recovery from liquid waste. One of the methods that has been used is solvent extraction – electrowinning. In this paper, copper recovery from spent electrolyte of silver electrorefining by solvent extraction, stripping and electrowinning is discussed. A series of copper solvent extraction experiments using Mextral 5640H were conducted on two types of spent electrolyte samples. The first sample is spent electrolyte of silver electrorefining without treatment and has nitrate matrix, while the second one is the spent electrolyte that has undergone silver deposition process by chloride salt addition, thus has a chloride matrix. The solvent extraction experiments by using the first spent electrolyte sample did not result in adequate copper extraction and was not selective to silver. By using 15% (v/v) Mextral 5640H, co-extraction of silver reached 10%, while extracted copper was only 31%. Solvent extraction tests with the second spent electrolyte sample resulted in the highest copper extraction of 97% at 25% (v/v) Mextral 5640H, equilibrium pH 2, O/A ratio 2/1 and temperature 25 °C. The analysis revealed that copper extraction in chloride solution by Mextral 5640H is an exothermic process with  $\Delta H$  value of -2.97 kJ/mole. The highest recovery of stripping process was 87.1% obtained at 200 g/L sulfuric acid, O/A ratio 2/1 and temperature 46 °C with copper concentration in aqueous solution of 50 g/L. Current efficiency of electrowinning process was 98.7%, with cell voltage of 2.4 volt and electrical energy consumption of 2077 kWh/ton of copper.*

**Keywords:** Silver spent electrolyte, copper, solvent extraction, mextral 5640H

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 620.112

Eka Febriyanti<sup>a\*</sup>, Ayu Rizeki Ridhowati<sup>b</sup>, Rini Riastuti<sup>b</sup> (<sup>a</sup>Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPPT dan <sup>b</sup>Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia)

Ketahanan Korosi Paduan Cu-Zn 70/30 Setelah Proses *Thermomechanical Controlled Process* (TMCP)

Metalurgi, Vol 32 No. 1 April 2017

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

*Corrosion Resistance of Cu/Zn 70/30 Alloy from Thermomechanical Controlled Process (TMCP)*

*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



Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 620.112

Beny Bandanadjaja, Dewi Idamayanti (Politeknik Manufaktur Negeri, Bandung)

Pengaruh Proses Tempering Ganda Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Cor Paduan Ni-Cr-Mo

Metalurgi, Vol 32 No. 1 April 2017

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbaikan sifat mekanik material baja cor paduan Cr-Ni-Mo yang telah mengalami proses tempering ganda. Ketangguhan tinggi diperlukan agar dalam aplikasinya baja mampu meredam atau menahan beban dampak atau kejutan dengan baik. Sifat mekanik baja cor pada kondisi as-cast cukup getas dengan elongasi cukup rendah. Untuk dapat meningkatkan ketangguhannya maka baja cor dapat diberikan perlakuan tambahan yaitu proses tempering setelah normalising. Namun proses tempering yang diberikan dapat pula memunculkan presipitat karbida yang bersifat getas. Oleh karenanya, tempering kedua diperlukan dengan demikian fasa getas yang terjadi dapat dihilangkan serta elongasi baja dapat semakin meningkat. Proses perlakuan panas yang diterapkan adalah proses normalising yang dilanjutkan tempering ganda dengan variasi temperatur tempering, untuk mengetahui kombinasi kekuatan dengan elongasi baja yang terbaik. Hasil yang diperoleh bahwa baja paduan Ni, Cr dan Mo dapat menghasilkan elongasi yang meningkat tanpa diikuti dengan penurunan kekuatan tarik secara signifikan. Pada kondisi as-cast material baja memiliki sifat yang sangat getas yaitu elongasi 4% dan harga dampak 15 J/cm<sup>2</sup>. Proses perlakuan panas yang menghasilkan ketangguhan terbaik dengan kombinasi kekuatan tarik dan elongasi yang tertinggi adalah proses normalising diikuti oleh tempering I dilanjutkan dengan tempering II pada temperatur 650 °C. Sifat mekanik yang dapat dicapai yaitu kekuatan tarik sebesar 68,3 MPa, kekuatan luluh sebesar 52,5 MPa dan elongasi sebesar 20%. Ketangguhan baja cor meningkat setelah tempering ganda menjadi 142 J/cm<sup>2</sup>.

**Kata Kunci:** Ketangguhan, normalising, baja paduan Ni-Cr-Mo, tempering ganda, baja cor paduan

*The Influence of Double Tempering on Mechanical Properties of Ni-Cr-Mo Cast Steel Alloy*

*This research is conducted in order to find the improvement of steel casting mechanical property, that has been treated on double tempering processes. High toughness is required in order that on the application the steel must have capability of holding the impact load or shock without fracture. Properties of steel in the as-cast condition is quite brittle, the elongation is quite low. In order to improve the toughness, the cast steel can be given additional tempering treatment after normalizing processes. The tempering process will reduce hardness and improve the elongation so that the toughness of the steel material can be increased. The second tempering is required to eliminate the brittle phase that occurs and the elongation of the steel material can be increased. The process of heat treatment which has been applied is normalizing followed with a double tempering temperature variation. The variation of tempering temperature is given to find the best combination of the mechanical properties of strength and elongation. The result showed that the heat treatment processes on Ni, Cr and Mo alloy steel material can increase its elongation without decreasing in tensile strength significantly. In the as-cast condition the steel is very brittle i.e. 4% elongation and impact value of 15 J/cm<sup>2</sup>. The heat treatment process which produces high toughness with the best combination of tensile strength and elongation is the process of normalizing followed by first and the second tempering at 650 °C. Mechanical properties result with tensile strength of 68.3 MPa, yield strength of 52.5 MPa and elongation of 20%. Material toughness is increased after double tempering around 142 J/cm<sup>2</sup>.*

**Keywords:** Toughness, double tempering, normalizing of Ni-Cr-Mo Steel Alloy, alloyed steel casting

Kata Kunci bersumber dari artikel. Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya.

UDC (OXDCF) 669.1

Hadi Perdana<sup>a</sup>, Moch. Syaiful Anwar<sup>b</sup>, Andinnie Juniarsih<sup>a</sup> dan Efendi Maburi<sup>b,\*</sup> (<sup>a</sup>Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, <sup>b</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI)

Pengaruh Suhu dan Waktu Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan Laju Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni

Metalurgi, Vol 32 No. 1 April 2017

Baja tahan karat 13Cr3Mo3Ni merupakan modifikasi dari baja tahan karat martensitik 410 untuk digunakan sebagai material sudu pada turbin uap. Tulisan ini memaparkan pengaruh suhu dan waktu tempering terhadap kekerasan, struktur mikro dan laju korosi baja karat martensitik 13Cr3Mo3Ni. Pengujian yang dilakukan adalah pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan SEM-EDS, uji kekerasan dengan Rockwell C dan uji korosi di dalam larutan 3,5% NaCl dengan alat Gamry G750. Secara umum kekerasan baja menurun dengan naiknya suhu tempering, kecuali pada suhu 500-650 °C terjadi peningkatan kekerasan akibat adanya *secondary hardening* dan karbida logam berukuran sub-mikron teramati sebagai penyebabnya. Peningkatan waktu tempering menjadi 6 jam mengakibatkan penurunan kekerasan dan penghilangan efek *secondary hardening*. Perbedaan suhu tempering juga menghasilkan perbedaan potensial, arus serta laju korosi baja 13Cr3Mo3Ni.

**Kata Kunci:** Baja tahan karat martensitik 13Cr3Mo3Ni, tempering, secondary hardening, kekerasan, struktur mikro, laju korosi

*The Influence of Time and Temperature Tempering on Hardness, Microstructure and Corrosion Rate of 13Cr3Mo3Ni Stainless Steel*

*The 13Cr3Mo3Ni martensitic stainless steel is the modified 410 type steel for steam turbine blade application. This paper reports the effect of tempering temperature and time on hardness, microstructure and corrosion rate of the modified steel. Microstructure observation was performed using optical microscopy and SEM-EDS, hardness testing using Rockwell C hardness tester and the corrosion test in 3.5% NaCl solution using Gamry G750 instrument. In general, the hardness of the steel decreased with increasing of tempering temperature. However, the hardness increased at the tempering temperature 500-650 °C showing secondary hardening, and the metal carbides with sub-micron in sizes were observed in the microstructure. Longer tempering time of 6 h resulted in decreased hardness without secondary hardening It can be reported also that the tempering temperature changed the potential, current and rate of corrosion of the 13Cr3Mo3Ni steel.*

**Keywords:** 13Cr3Mo3Ni Martensitic stainless steel, tempering, secondary hardening, hardness, microstructure, corrosion rate

