

# ANALISA PERBANDINGAN *MECHANICAL DAN ELECTRICAL PROPERTIES* TERHADAP PENAMBAHAN JUMLAH KANDUNGAN OKSIGEN PADA BATANG TEMBAGA DIAMETER 8MM

Nanang Ruhyat, Agung Pramu Aji

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Mercu Buana Jakarta

## ABSTRAK

*Kandungan oksigen sangatlah berpengaruh terhadap mekanikal dan electrical properties pada batang tembaga. Pengujian terhadap 4 (tiga) sample yang mempunyai kandungan oksigen yang berbeda memberikan hasil beberapa sifat mekanikal dan elektrik yang berbeda, di antaranya sample 1 dengan kandungan oksigen 169.2 ppm mempunyai tensile strength 22.26 kg/mm<sup>2</sup>, regangan (elongation) 43.40%, modulus young 51.22kg/mm<sup>2</sup>, electrical conductivity 102.6%IACS, resistivity at 20°C 1.6796 μΩ.cm, sample 2 dengan kandungan oksigen 317.16 ppm mempunyai tensile strength 22.70 kg/mm<sup>2</sup>, regangan (elongation) 41.80%, modulus young 54.49 kg/mm<sup>2</sup>, electrical conductivity 101.80%IACS, resistivity at 20°C 1.6935 μΩ.cm, sample 3 dengan kandungan oksigen 387.18 ppm mempunyai tensile strength 23.42 kg/mm<sup>2</sup>, regangan (elongation) 40.50%, modulus young 57.81 kg/mm<sup>2</sup>, electrical conductivity 101.60%IACS, resistivity at 20°C 1.6954 μΩ.cm, sample 4 dengan kandungan oksigen 465.66 ppm mempunyai tensile strength 23.98 kg/mm<sup>2</sup>, regangan (elongation) 38.13%, modulus young 62.90 kg/mm<sup>2</sup>, electrical conductivity 101.13%IACS, resistivity at 20°C 1.7047 μΩ.cm*

*Kata Kunci : Kandungan Oksigen, tensile strength, electrical conductivity*

## 1. Pendahuluan

Oksigen merupakan unsur gas yang terdapat pada alam bebas yang terdapat disetiap tempat. Dalam proses peleburan masuknya unsur gas oksigen kedalam tembaga (*Difution*) tidak dapat dihindari karena disetiap lingkungan selalu terdapat oksigen.

Dengan semakin meningkatnya penggunaan kabel serta semakin kompleksnya penggunaan kabel sehingga isu-isu tentang perbaikan *mechanical & electrical* telah berkembang sehingga pengaruh terhadap unsur-unsur yang berkaitan pada tembaga seperti oksigen, hidrogen, serta element-elemen yang ada menjadi sesuatu yang harus dipelajari untuk mendapatkan sifat-sifat terbaiknya.

Untuk mengetahui sifat-sifat terbaik yang dimiliki oleh batang tembaga harus melakukan penelitian-penelitian serta percobaan pengujian dengan parameter atau variabel tertentu. Sehingga dengan begitu kita

dapat mengetahui pengaruh dari perubahan parameter atau variabel tersebut.

Penelitian tentang pengaruh kandungan oksigen terhadap sifat-sifat tembaga

merupakan penelitian yang penting karena pada peleburan tembaga, unsur oksigen pasti

selalu terdapat pada tembaga, oleh sebab itu pengaruh dengan pertambahan oksigen tersebut harus dilakukan penelitian agar mengetahui seberapa besarkah pengaruhnya.

## 1.1 Tujuan Penulisan

Berdasarkan latar belakang yang telah di kemukakan diatas maka tujuan dari tugas akhir ini adalah agar mahasiswa mampu untuk :

1. Untuk mengetahui pengaruh O<sub>2</sub> pada tembaga yang digunakan sebagai bahan baku kabel, terhadap sifat mekanik dan elektriknya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Ada beberapa masalah yang ingin diketahui :

- Adakah perubahan sifat mekanikal serta elektrika pada batang tembaga yang diaplikasikan untuk kabel, bila kandungan oksigennya bertambah ?
- Bila ada, berapa persenkah perubahannya ?

### 1.3 Pembatasan Masalah

Pada laporan tugas akhir ini penulis membatasi masalah pada:

- Perbandingan terhadap *electrical properties* hanya meliputi:
  - ✓ *Electrical conductivity*
  - ✓ *Resistivity*
- Perbandingan terhadap *mechanical properties* hanya meliputi :
  - ✓ *Ultimate tensile strenght*
  - ✓ *Elongation*
  - ✓ *Young's modulus*
- Spesimen yang digunakan hanya batang tembaga Ø 8mm yang biasa digunakan untuk industri kabel.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Pengertian Batang Tembaga

*Copper Rod* atau batang tembaga merupakan alat atau media penghantar arus listrik, tembaga sendiri memiliki konduktifitas yang tinggi hingga 100% IACS pada suhu 20°C. Batang tembaga ini juga bisa di proses untuk dijadikan kawat (*Wire*) tembaga dengan cara di tarik, batang tembaga juga harus memiliki *mechanical properties* yang baik agar saat di tarik tidak putus (*wire break*).

### 2.2 Ultimate Tensile Strength

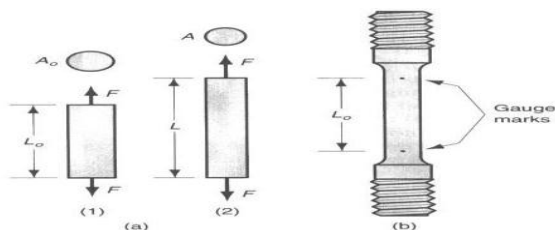
*Ultimate Tensile Strength* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum suatu material, dengan cara ditarik. Pertama-tama specimen yang memiliki bentuk silinder atau persegi di jepit lalu kemudian ditarik sampai beban tertentu (P) hingga putus.

Tensile strength mempunyai satuan (kg/mm<sup>2</sup>) dimana persamaanya adalah :

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A_0}$$

- $P_f$  = Beban maksimum (Kg)
- $A_0$  = Adalah luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Pada saat pengujian besarnya beban yang diberikan untuk memutuskan specimen berubah-ubah sesuai digambarkan pada diagram, hal ini dikarenakan pada tiap material memiliki fase-fase yang terjadi sebelum terputus, seperti elastisitas dan plastisitas, sedangkan untuk *tensile strength* beban yang dipakai (P) merupakan beban terbesar yang diberikan.



**Gambar 2.1** : Ilustrasi sample untuk pengujian uji tarik

### 2.3 Regangan (*Elongation*)

Dalam pengujian tensile strength juga dapat di ketahui regangan/perpanjangan (*elongation*), dimana dengan cara memberi tanda panjang awal (L1) dengan nilai panjang tertentu seperti pada gambar 2.1.b, setelah itu kemudian ditarik di mesin *tensile strength* sampai putus lalu panjang setelah putus tersebut diukur berapa panjang pemuluranya (L2). Catat L1 dan L2 kemudian hitung dengan rumus :

$$\epsilon = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100\%$$

$\epsilon$  = Elongation (%)

L1 = Panjang specimen awal (mm)

L2 = Panjang specimen akhir (mm)

### 2.4 Modulus Young

Modulus Elastisitas atau Modulus Young (E) didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan ( $\tau$ ) dan regangan (e) logam itu. **Hukum Hooke**, berlaku untuk semua material padat; dari besi hingga tulang, tetapi hanya berlaku hingga titik tertentu. Jika gaya semakin diperbesar, obyek akan terus bertambah panjang dan akhirnya putus.

Modulus elastisitas untuk kawat/tali tersebut dinyatakan dengan rumus :

$$E \equiv \frac{\text{tensile stress}}{\text{tensile strain}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0 \Delta L}$$

Keterangan :

F : Gaya tarik (Kg/mm<sup>2</sup>)

A<sub>0</sub> : Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

$\Delta L$  : Panjang akhir – Panjang awal / L<sub>1</sub>-L<sub>0</sub> (mm)

L<sub>0</sub> : Panjang awal (mm)

### 2.5 Electrical Conductivity

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari seberapa baik bahan mengakomodasi pergerakan muatan listrik. Ini adalah rasio dari rapat arus terhadap kuat medan listrik. Satuannya menurut satuan SI adalah **Siemens per meter**, tetapi nilai-nilai konduktivitas yang sering digunakan untuk tembaga adalah IACS persen. IACS adalah singkatan dari (*Internasional Anneal Copper Standard*) atau bahan yang digunakan untuk membuat kawat tembaga. Konduktivitas dari tembaga anil (5.8108 x 10<sup>7</sup> S / m) didefinisikan sebagai 100 %IACS pada 20 ° C. Semua nilai konduktivitas lainnya terkait kembali dengan konduktivitas tembaga anil. Oleh karena itu, besi dengan nilai konduktivitas 1,044<sup>7</sup> S / x 10 m, memiliki konduktivitas sekitar 18% dari tembaga anil dan dapat ditulis dengan 18% IACS. Sebuah catatan adalah bahwa produk komersial tembaga murni sekarang sering kali memiliki nilai konduktivitas IACS lebih besar dari 100% karena teknik pengolahannya telah membaik

sejak penerapan standar pembuatan tembaga pada tahun 1913 dan unsure-unsur pengotornya sekarang dapat dihilangkan dari tembaga.

Konduktivitas nilai dalam Siemens/meter dapat dikonversi kedalam %IACS dengan mengalikan nilai konduktivitas  $1.7241 \times 10^{-6}$ . Ketika nilai-nilai konduktivitas yang didapatkan adalah microSiemens/cm, maka nilai konduktivitasnya dikalikan dengan 172.41 untuk dikonversi kedalam nilai %IACS.

Konduktivitas listrik adalah salah satu properti yang sangat berguna untuk tembaga karena nilai yang didapatkan dapat dipengaruhi oleh parameter lain seperti : komposisi kimia dan keadaan stress dari struktur kristal atom. Oleh karena itu nilai dari konduktivitas listrik dapat dijadikan acuan untuk mengetahui kemurnian suatu material, memeriksa adanya perlakuan panas, dan memeriksa kerusakan struktur kristal atom.

*Electrical conductivity* dapat dihitung dengan rumus sbb:

$$\frac{172.41}{\text{Resistivity } (\mu\Omega.\text{cm})} = EC (\%IACS)$$

Dimana :

172.41 : Merupakan konstanta dari konversi antara Siemens dan IACS

Resistivity : Tahanan Listrik ( $\mu\Omega.\text{cm}$ )

Material	Koefisien Temperatur ( $1/^\circ\text{C}$ )
Nikel	0.0059
Iron	0.0060
Molybdenum	0.0046
Tungsten	0.0044
Aluminium	0.0043
Copper	0.0040
Silver	0.0038
Platinum	0.0038
Gold	0.0037
Zinc	0.0038

## 2.6 Electrical Resistivity Volume

Resistivitas listrik adalah kebalikan dari konduktivitas. Resistivitas ( $\rho$ ) adalah kemampuan suatu bahan untuk mengantarkan arus listrik yang bergantung terhadap besarnya medan listrik dan kerapatan arus sehingga semakin besar resistivitas suatu bahan maka semakin besar pula medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan sebuah kerapatan arus.

*Electrical resistivity volume* dapat dihitung dengan rumus sbb:

$$\rho = \left( \frac{R \cdot A}{L} \right)$$

dimana :

$\rho$  : Electrical resistivity volume ( $\Omega.\text{cm}$ )

R : Resistensi yang didapatkan dari hasil pengukuran dengan suhu kamar/ suhu ruang ( $\Omega$ )

L : Panjang sampel (cm)

A : Luas Penampang ( $\text{cm}^2$ )

## 2.7.3 Resistansi

Resistansi adalah kemampuan suatu benda untuk menahan aliran arus listrik. Dalam suatu hambatan atom-atom nya akan bertumbukan dengan elektron-elektron sehingga laju dan kecepatan elektron menjadi berkurang. Karena kuat arus biasanya di hitung berdasarkan banyak dan kecepatan elektronnya, maka ketika jumlah elektron dan kecepatannya berkurang otomatis berkurang pula kekuatan arus yang mengalir dalam suatu hambatan.

Setiap Konduktor mempunyai hambatan. Ketebalan suatu konduktor menentukan besar-kecilnya hambatan yang dimilikinya. Konduktor yang tebal memiliki hambatan yang kecil. Kawat yang tebal mempunyai penampang lintang yang lebih lebar, sehingga mengandung lebih banyak elektron. Sebaliknya, konduktor yang panjang, memiliki hambatan yang besar. Ini dikarenakan semakin panjang suatu konduktor semakin banyak pula atom-atom yang akan menghadang gerak elektron bebasnya sehingga arus listrik yang dialirkan akan berkurang.

Resistansi pengaruh temperatur dapat dihitung dengan :

$$R = \frac{R_t}{1 + \alpha (T_2 - T_1)}$$

Dimana:

R = Resistansi pada temperatur  $T_1$  ( $\Omega$ )

$R_t$  = Resistansi pengukuran pada temperatur  $T_2$  ( $\Omega$ )

$\alpha$  = Koefisien temperatur (Tabel 2.1)

$T_1$  = Temperatur yang diinginkan ( $^\circ\text{C}$ )

$T_2$  = Temperatur pada saat pengujian resistansi ( $^\circ\text{C}$ )

**Tabel 2.1** Koefisien Temperatur Pada Material

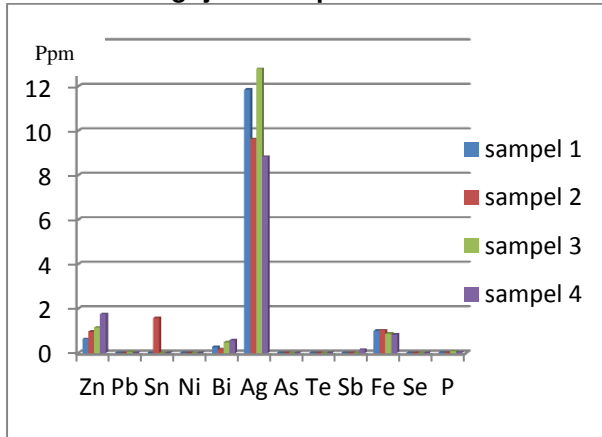
## 3. Analisa

### 3.1 Hasil Pengujian Oksigen

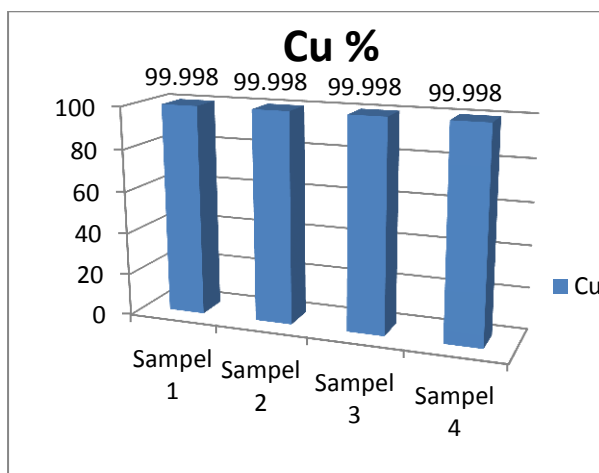
**Tabel 3.1** : Hasil Pengujian Oksigen dan Hidrogen

	Sampel 1 (ppm)	Sampel 2 (ppm)	Sampel 3 (ppm)	Sampel 4 (ppm)
Ave Oksigen	169.2	317.16	387.18	465.55
Deviasi Oksigen	2.43	2.89	5.74	3.95
Ave Hidrogen	0.384	0.031	0.042	0.638
Deviasi Hidrogen	0.33	0.1	0.1	0.8

### 3.2 Hasil Pengujian Komposisi kimia

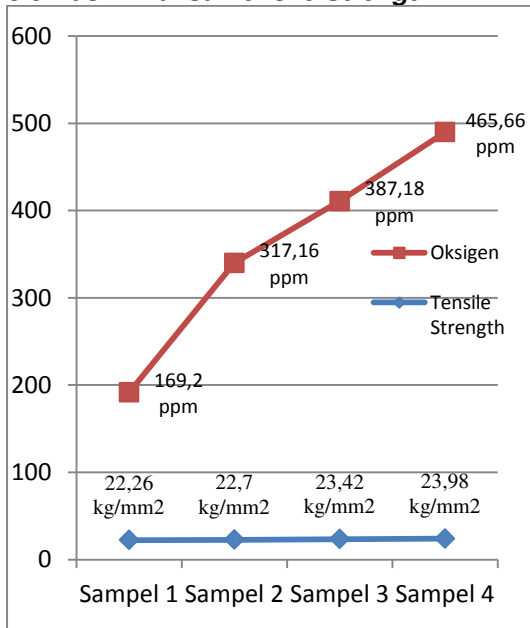


Gambar 3.1 Komposisi Kimia



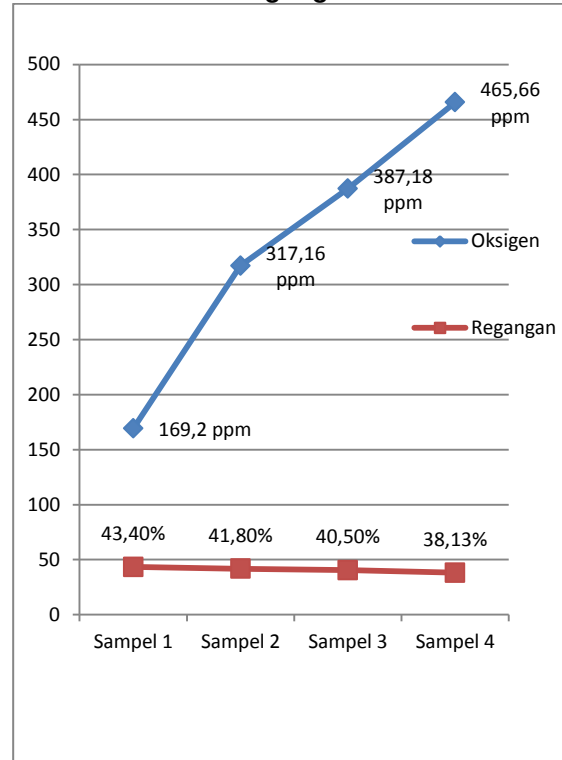
Gambar 3.2 Kemurnian Tembaga

### 3.3 Hasil Analisa Tensile Strength



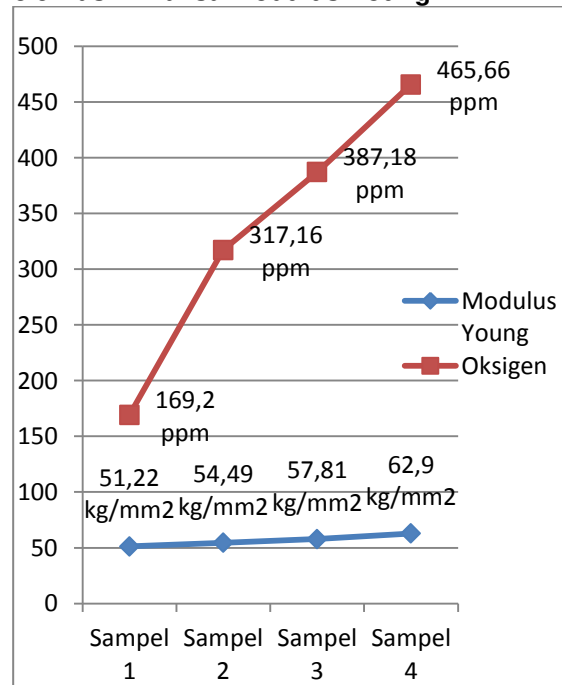
Gambar 3.3 Pengaruh Oksigen pada Tensile Strength

### 3.4 Hasil Analisa Regangan



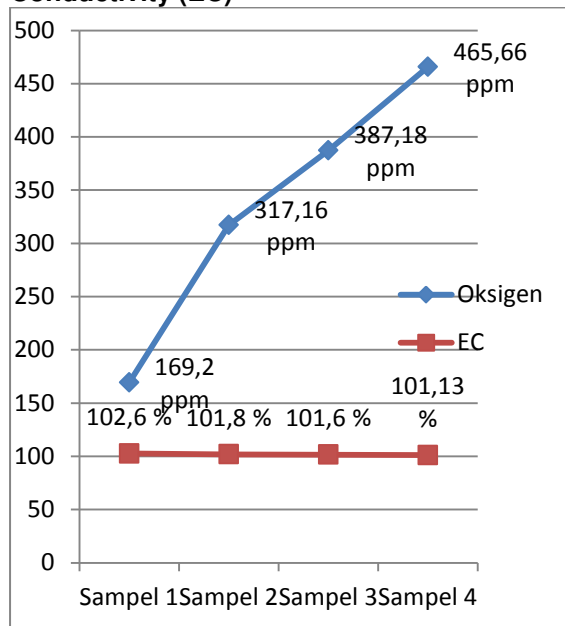
Gambar 3.4 Pengaruh Oksigen pada Regangan

### 3.5 Hasil Analisa Modulus Young



Gambar 3.5 Pengaruh Oksigen pada Modulus Young

### 3.6 Hasil Analisa Terhadap Electrical Conductivity (EC)



Gambar 3.6 Pengaruh Oksigen pada EC

### 3.6 Pembahasan

Dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa penambahan kandungan oksigen dari 169.2 ppm sampai 465.66 ppm nilai *mechanical* serta *electrical* dari batang tembaga, masih sesuai dengan standard yang telah ditentukan namun juga telah diketahui bahwa pada pengujian *tensile strength* meningkat dengan bertambahnya kandungan oksigen pada tembaga antara 169.2 ppm sampai 465.66 ppm, yaitu kenaikannya antara 22.26 kg/mm<sup>2</sup> sampai 23.98kg/mm<sup>2</sup> sama halnya dengan *Modulus Young* yang mengalami kenaikan antara 51.22 kg/mm<sup>2</sup> sampai 62.9 kg/mm<sup>2</sup>, namun berbeda dengan regangan dimana terjadi penurunan antara 43.40% sampai 38.13%, hal ini menunjukkan adanya perubahan sifat mekanis pada batang tembaga dimana batang tembaga menjadi kuat dan keras namun memiliki sifat elastis yang rendah. Sedangkan untuk sifat kelistrikan berdasarkan hasil analisa diatas telah diketahui dimana hambatan atau resistivitas volume bertambah seiring bertambahnya oksigen dari 169.2 ppm sampai 465.66 ppm, penambahan resistivitas volume berkisar antara 1.6796μΩ.cm sampai 1.7047 μΩ.cm, hal ini menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan hantar listrik karena resistivitas adalah kebalikan dari konduktivitas atau kemampuan hantaran listrik, besarnya penurunan konduktivitas listrik sebesar 102.6%IACS sampai 101.13 %IACS. Berdasarkan pengujian diatas diketahui bahwa dengan penambahan oksigen maka akan merubah sifat kelistrikan pada batang tembaga yaitu menaikkan resistivitas volume

yang berarti juga akan menurunkan kemampuan hantar listrik.

## 4. Penutup

### 4.1 Simpulan

Simpulan dari hasil analisa adalah sebagai berikut:

1. Batang tembaga merupakan penghantar listrik yang baik karena memiliki konduktivitas > 100 %IACS.
2. Pengaruh penambahan jumlah oksigen sebesar 175.14% mengakibatkan adanya perubahan *mechanical properties*, yaitu naiknya nilai persentase *tensile strength* sebesar 7.17%, naiknya nilai persentase *Modulus Young* sebesar 22.80%, dan penurunan regangan sebesar 12.16 %.
3. Untuk *electrical properties* pengaruh penambahan jumlah oksigen sebesar 175.14% mengakibatkan naiknya nilai persentase dari *resistivity volume* sebesar 2.51% dan menurunkan nilai persentase *electrical conductivity* sebesar 1.43%.
4. Semakin meningkatnya kandungan oksigen akan terjadi *wirebreak* khususnya untuk jenis *wire break tension*.
5. Oksigen merupakan kandungan yang sangat penting pada tembaga karena sifat kelistrikan dan mekanisnya dapat berubah bila kandungan oksigennya juga berubah.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Dieter, E, George. (1986). *Metalurgi Mekanik*. Edisi ke 3. Penerjemah : Sriati Djaprie. Jakarta: Penerbit Erlangga
2. Patton, W.J. (1975). *Materials in Industry*. Edisi ke-2 New Jersey: Penerbit Prentice-Hall, Inc
3. Van Vlack, H, Lawrence. (2001). *Elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Edisi ke 6. Penerjemah : Sriati Djaprie. Jakarta: Penerbit Erlangga
4. Beumer, B, J, M (1980). *Pengetahuan Bahan*. Edisi ke-3. Penerjemah : B.S Anwir/Matodang. Jakarta : Penerbit Bhratara Karya Aksara
5. Zainuri, Muhib, Ach. (2008). *Kekuatan Bahan*. Edisi ke-1. Yogyakarta: Penerbit Andi.
6. Singer, L, Ferdinand. Pytel, Andrew. (1981). *Kekuatan Bahan*. Edisi ke-3. Penerjemah :lr. Darwin Sebayang. Jakarta: Penerbit Erlangga.

### DAFTAR ACUAN

- ASTM B193, (2008). *Standard Test Methode for Resistivity of Electrical Conductor Materials*.
- ASTM B49, (1998). *Standard Specification for Copper Rod Drawing Stock for Electrical Purpose*.

ASTM B115, (2008). *Standard Specification for Electrolytic Cathode Copper.*

SNI 04-0109-1989, (1989). Batang Kawat Tembaga Untuk Penghantar Listrik.

Modul Training, PT Magna Sardo (2012). *Maintenance and Operation LECO*

Henry, Chia, E. and Patel, Gautam, R. (1996). "Characterization of Rod and Wire Defect Produced During the Manufacturing of Copper," *Wire Journal International* URL :

<http://www.copperworld.net/copper/imagines/stories/characterizati.pdf> (diakses tanggal 10 Maret 2013, Jam 20:00)

Guskovic, D. Markovic, D. and Nestorovic, S. (1997). "Effect of Deformation and Oxygen Content On Mechanical Properties of Different Copper Wires," URL : <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02745077#page-1>

(diakses tanggal 10 Maret 2013, Jam 21:00)

Horace, Pops, Dr, (1997). "Copper Applications in Metallurgy of Copper & Copper Alloys" URL :

<http://www.copper.org/publications/newsletters/innovations/1997/12/wiremetallurgy.html>

(diakses tanggal 20 Maret 2013, Jam 23:00)

Camurri, Carlos. Carrasco, Claudia. Albreth, Soraya. "Impurities On Cathodic Copper Study of Their Influence On the Ductility of Copper Wires and Development of Mechanical Tests Sensible to Such Impurities" URL :

[www.metal2013.com/files/proceedings/.../55.pdf](http://www.metal2013.com/files/proceedings/.../55.pdf)

(diakses tanggal 20 Maret 2013, Jam 23:00)

Prasad, Y, V, R, K. And Rao, K, P. (2005). "Effect of Oxygen Content on the Processing Maps for Hot Deformation of OFHC Copper" URL:

<http://materialstechnology.asmedigitalcollection.asme.org/mobile/article.aspx?articleid=1427651>

(diakses tanggal 20 Maret 2013, Jam 23:00)

Astin, A, V. (1966). "NBS Handbook '100"

URL : <http://library.bldrdoc.gov/docs/nbshb100.pdf>

(diakses tanggal 20 Maret 2013, Jam 23:00)

Roylance, David. (2008). "Mechanical Properties of Materials"

URL : <http://stuff.mit.edu/afs/athena/course/3/3.225/book.pdf>

(diakses tanggal 20 Maret 2013, Jam 23:00)

Stratton, W, S. (1914), "Circular of The Bureau of Standards, No.31, Copper Wire

Tables" URL: [http://www.archive.org/stream/copperwiretable\\_s31unituoft#page/n0/mode/2up](http://www.archive.org/stream/copperwiretable_s31unituoft#page/n0/mode/2up) (diakses tanggal 23 Maret 2013, Jam 19:30)

Aprilanto, Joko. (2008). "Teori Dasar Atomic Emission Spectrometer" URL : <http://jokoaprilanto.wordpress.com/2008/11/15/teory-atomic-emission-spectrometer/>

(di akses tanggal 30 April 2013, Jam 13:00)