

Pengaruh Pengerolan Dingin dan *Annealing* Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Kuningan

Dewi Idamayanti

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan 21-Dago, Bandung-40135
Phone/fax : 022-2500241/0222502649
E-mail : dewi@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Kuningan merupakan paduan tembaga dan seng. Pada aplikasinya, kuningan mengalami *strain hardening* akibat pengerolan dingin untuk mendapatkan dimensi yang lebih tipis. Pengerolan dilakukan dengan mereduksi ketebalan pelat kuningan pada 17,8%, 31,5%, 45,2% dan 58,9% sedangkan *annealing* dilakukan pada suhu 250°C, 400°C, dan 550°C. Pada penelitian ini diamati bagaimana pengaruh pengerolan dan *annealing* terhadap struktur mikro dan kekerasan kuningan. Semakin bertambah reduksi ketebalan akan meningkatkan kekerasannya. Reduksi sampai 58,9% menghasilkan kekerasan 188 VHN dari kondisi awal 93,8 VHN. Pada *annealing* 250°C *elongated-grain* belum mengalami rekristalisasi dibuktikan dengan bentuk butir yang tetap memanjang dan tidak terjadi penurunan kekerasan. Proses rekristalisasi terjadi pada suhu 400°C dan 550°C ditunjukkan dengan perubahan bentuk butir menjadi *equiaxed-grain* dan penurunan kekerasan sampai 89 VHN untuk reduksi 58,9%.

Kata kunci : Kuningan, Pengerolan, *Annealing* twins, *Stacking fault energy*

1. Pendahuluan

Kuningan merupakan logam paduan dari tembaga dan seng. Logam ini berwarna kuning, sehingga sering pula disebut tembaga kuning. Saat ini banyak aplikasi teknik yang memanfaatkan paduan tembaga untuk memperbaiki sifat seperti kekuatan, konduktivitas dan aplikasi temperatur tinggi. Tembaga murni memiliki konduktivitas yang sangat baik tetapi kekuatannya sangat rendah pada temperatur tinggi. Kuningan secara luas digunakan pada produk industri seperti *lead frames*, konektor, pipa, dll., karena keunggulan sifat mekanik, ketahanan korosi, mudah dibentuk dan kekuatan yang baik [Cai,J.]. Tembaga dapat dikuatkan secara konvensional dengan *solid solution hardening*, *precipitation hardening* atau *dispersion hardening* [Nestorovic,S.]. Meningkatkan kekuatan pada paduan tembaga dapat pula dilakukan dengan pengerjaan dingin seperti pengerolan dilanjutkan dengan *annealing* di bawah temperatur rekristalisasi. Pengerolan dan rekristalisasi merupakan fenomena dasar dari evolusi struktur mikro dalam proses material [Huda,Z].

Proses *cold working* seperti pengerolan merupakan proses deformasi plastis dan temperatur kerjanya berlangsung di bawah temperatur kristalisasi. Pada proses ini terjadi mekanisme *strain hardening*, yaitu mekanisme penguatan yang disebabkan perbanyakannya densitas dislokasi. Dislokasi merupakan cacat garis dan akan bergerak selama gaya bekerja pada logam tersebut. Bila pergerakan dislokasi terhambat dan tidak memungkinkan untuk bergerak maka dislokasi akan memperbanyak diri, sehingga

dibutuhkan gaya dari luar yang lebih besar untuk menggerakkan dislokasi tersebut. Terjadinya *strain hardening* pada logam menyebabkan naiknya kekerasan dan kekuatan material tetapi akan menurunkan keuletan material.

Perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu untuk memperoleh sifat tertentu. *Annealing* merupakan salah satu proses perlakuan panas. Proses *annealing* dimulai dengan memanaskan logam atau paduan hingga temperatur tertentu, menahan pada temperatur tersebut selama beberapa waktu hingga tercapai perubahan yang diinginkan kemudian didinginkan secara perlahan. Selama proses pemanasan dan pendinginan akan terjadi perubahan struktur mikro, sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik logam atau paduan. Tujuan dari *annealing* antara lain melunakkan material logam, menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki butir-butir logam.

Pada penelitian ini diamati bagaimana pengaruh pengerolan dan *annealing* dengan parameter reduksi ketebalan dan suhu yang bervariasi terhadap kekerasan dan struktur mikro kuningan.

2. Metodologi Penelitian

Material yang digunakan adalah kuningan dengan dimensi 3 cm x 5 cm dan ketebalan 0,2 cm. Kuningan diambil dari sampel acak yang ada dipasaran, selanjutnya dilakukan pengerolan. Reduksi pertama

2012/0081
28/8/12

120 2012

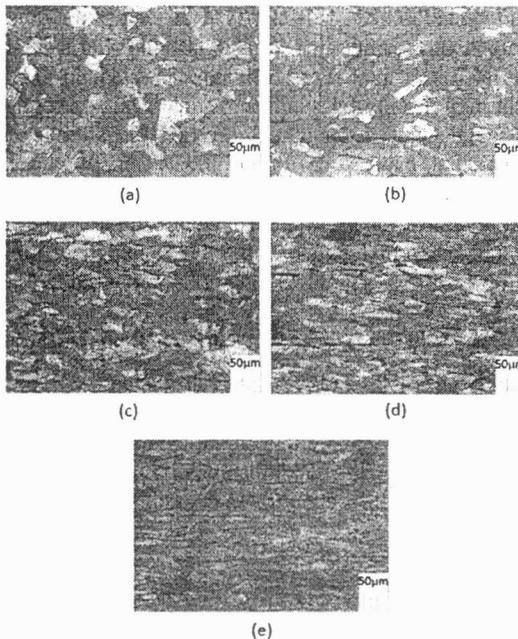
17,8 %, reduksi ke dua 31,5%, reduksi ke tiga 45,2%, dan reduksi ke empat 58,9 %. Spesimen kuningin sebelum dan sesudah pengerolan dilakukan *annealing* pada suhu 250°C, 400°C dan 550°C selama 30 menit. Tiap spesimen dilakukan *mounting* dan dipoles kemudian diamati struktur mikronya menggunakan mikroskop optik. Etsa yang digunakan adalah $K_2Cr_2O_7$, NaCl, H_2SO_4 dan aquades. Spesimen selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan menggunakan *mikrovickers*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada proses etsa, laju korosi pada batas butir dipengaruhi oleh konsentrasi larutan pengetsa dan waktu pengetsaan. Semakin pekat konsentrasi larutan pengetsa yang digunakan, maka laju korosi pun akan semakin cepat. Begitu pula dengan waktu pengetsaan. Semakin lama waktu pengetsaan, maka laju korosi pada batas butir pun akan semakin cepat. Korosi yang terlalu berlebih menghasilkan gambar struktur mikro yang lebih gelap sehingga menghalangi pengamatan butiran terutama fenomena *twinning*.

3.1 Hasil pengerolan

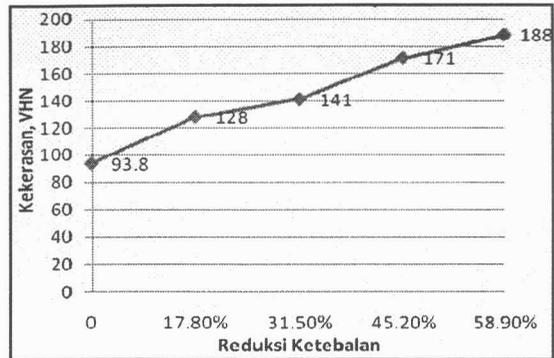
Proses pengerolan menyebabkan deformasi kristal dalam butir menjadi tidak terstruktur menghasilkan bentuk butir memanjang (*elongated grain*) pada arah pengerolan seperti pada gambar 1. Semakin bertambah reduksi ketebalan akan menghasilkan butir yang semakin memanjang.



Gambar 1. Struktur mikro kuningin tanpa pemanasan (a) tanpa pengerolan, (b) reduksi 17,8%, (c) reduksi 31,5%, (d) reduksi 45,2% dan (e) reduksi 58,9%.

3.2 Pengaruh pengerolan terhadap kekerasan kuningin

Tingkat reduksi pengerolan sangat mempengaruhi kekerasan. Semakin besar reduksi ketebalan, maka akan terjadi peningkatan harga kekerasan.



Gambar 2. Pengaruh reduksi ketebalan terhadap kekerasan kuningin hasil pengerolan

Peningkatan harga kekerasan ini disebabkan adanya mekanisme *strain hardening*. *Strain hardening* diinisiasi dengan pergerakan dislokasi yang saling berinteraksi sehingga menghasilkan peningkatan kerapatan dislokasi akibat dari multiplikasi dislokasi atau terbentuknya dislokasi-dislokasi baru. Multiplikasi dislokasi akan menyebabkan dislokasi sulit bergerak. Semakin besar reduksi ketebalan, maka kerapatan dislokasi pun semakin tinggi dan untuk menggerakkan dislokasi tersebut dibutuhkan gaya dari luar yang lebih besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa logam mengalami pengerasan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kuningin merupakan salah satu material logam yang dapat dikeraskan dengan metode *strain hardening*. Dapat dilihat pada gambar 2 kekerasan meningkat signifikan pada reduksi ketebalan 58,9% yaitu 188 VHN dari kekerasan awal 93,8 VHN.

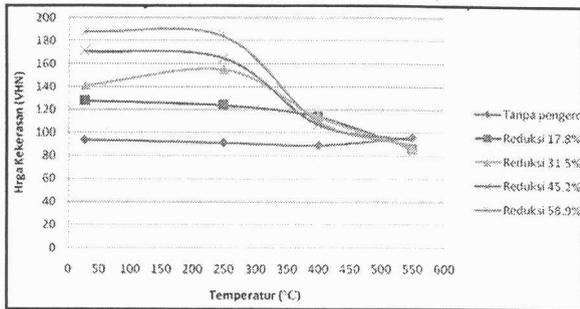
3.2 Pengaruh annealing terhadap kekerasan kuningin

Sampel kuningin yang diperoleh sudah dalam bentuk pelat agak tebal diduga sudah mengalami pengerolan dan *annealing* karena terlihat dari struktur mikronya menghasilkan *equiaxed grain* dan terdapat *twinning* (gambar 1a).

Kuningin hasil pengerolan dilakukan *annealing* pada temperatur 250°C, 400°C dan 500°C. Pada proses *annealing* terjadi *recovery* dan rekristalisasi yang bergantung pada temperatur dan tingkat deformasi akibat regangan sehingga menimbulkan cacat atau tegangan dalam. Pada tahap *recovery* efek dari *strain hardening* dapat diminimalisir melalui penyusunan kembali atom dan mereduksi tegangan dalam pada butir [Dieter].

Annealing yang dilakukan pada temperatur 250°C tampaknya tidak menunjukkan adanya fenomena rekristalisasi terbukti dari harga kekerasan untuk

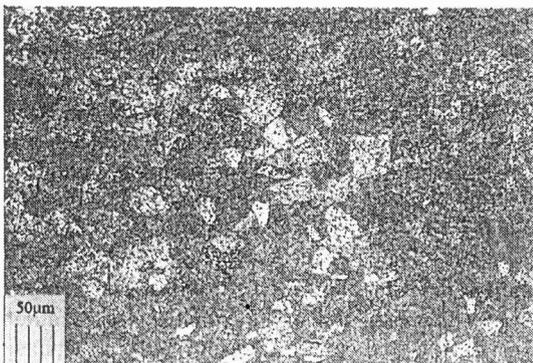
semua reduksi ketebalan hampir sama dengan kondisi sesudah pengerolan.



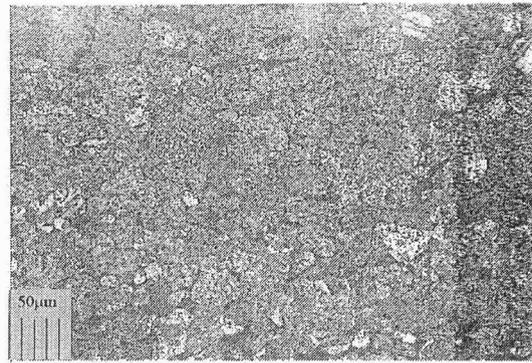
Gambar 3. Pengaruh temperatur terhadap kekerasan kuningan hasil pengerolan

Pada temperatur tersebut memang belum terjadi rekristalisasi sehingga kerapatan dislokasi masih tinggi karena belum mengalami anihilasi terlihat dari butir-butirnya yang masih memanjang. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa *annealing* pada temperatur 400°C dan 500°C menghasilkan penurunan kekerasan secara signifikan terutama pada reduksi 31,5 – 58,9 %, sementara pada reduksi 17,8% tidak begitu terlihat karena pada reduksi ketebalan 2-20% tidak terjadi rekristalisasi [Callister]. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa pada temperatur 400°C sudah mulai terjadi rekristalisasi (sebagian butir sudah berubah bentuk menjadi *equiaxial*), dislokasi mengalami anihilasi sehingga kerapatan dislokasi berkurang dan berimbas pada penurunan kekerasan. Meskipun temperatur rekristalisasi untuk kuningan 450°C, tetapi semakin bertambahnya reduksi pengerolan dapat meningkatkan laju rekristalisasi sehingga temperatur rekristalisasi lebih rendah, terlihat pada temperatur 400°C sudah terjadi rekristalisasi [Callister].

Pada temperatur 550°C, butir-butir memanjang telah berubah menjadi butir-butir *equiaxial* (rekristalisasi) secara sempurna. Pada kondisi ini butir sudah melewati temperatur rekristalisasi dan ada kemungkinan mulai mengalami pertumbuhan butir (*grain growth*) terlihat adanya penurunan harga kekerasan secara drastis.



Gambar 4. Struktur mikro kuningan setelah annealing 550 °C dengan reduksi 45,2%



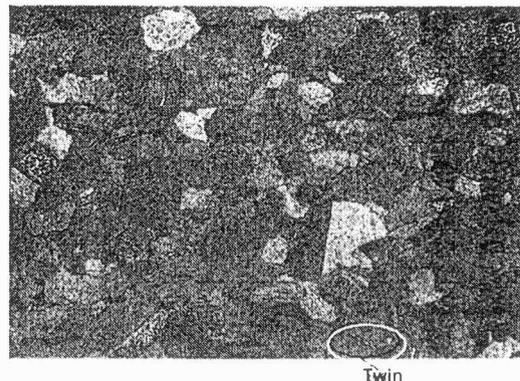
Gambar 5. Struktur mikro kuningan setelah annealing 550 °C dengan reduksi 58,9%.

Dari gambar 4 dan 5 terlihat bahwa semakin besar reduksi pengerolan akan menghasilkan butir yang halus setelah rekristalisasi karena pada saat proses pengerolan akan menciptakan inti-inti yang baru. Semakin banyak inti yang terbentuk maka semakin halus butir yang dihasilkan. Terlihat pada gambar 5 ukuran butir kuningan pada reduksi 58,9 % lebih halus.

3.3 Fenomena twinning

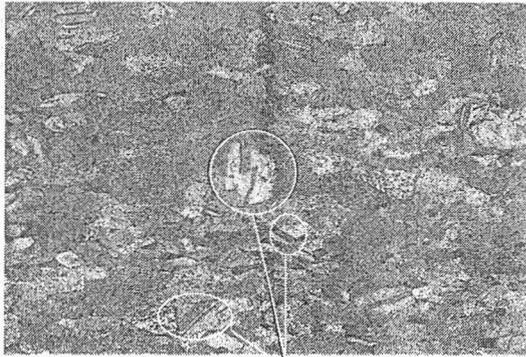
Istilah *Twin* terdapat pada material yang mempunyai atom pada tepi batas butir yang terletak seperti bayangan cermin terhadap atom pada sisi yang lainnya. *Twinning* dapat terjadi secara mekanik pada material yang mempunyai struktur kristal BCC atau HCP dan dapat pula terjadi akibat perlakuan panas (*annealing twins*) biasanya pada FCC.

Kuningan merupakan salah satu material yang memiliki fenomena *annealing twins*. Hal tersebut disebabkan *stacking fault energy* kuningan rendah (kuningan $<10\text{kJ/m}^2$, tembaga 80kJ/m^2 , aluminium 200kJ/m^2). *Stacking fault energy* berkaitan dengan struktur dislokasi pada kristal. *Stacking fault energy* yang rendah menghasilkan ketahanan terhadap temperatur dan mudah dikeraskan dengan *strain hardening* [dieter].



Gambar 6. Struktur mikro sebelum pengerolan dan annealing.

Pada gambar 6 terlihat bahwa sampel awal kuningan tampaknya sudah memiliki *twins* sebelum dilakukan pengerolan.



Annealing twins

Gambar 6. Struktur mikro kuningan reduksi 31,5%) setelah annealing 400 °C

Sayangnya pada etsa, proses korosi terlalu dalam sehingga adanya *annealing twin* tidak dapat teramati secara jelas.

Kesimpulan

- Proses pengerolan dan perlakuan panas dapat merubah struktur mikro kuningan
- Semakin besar reduksi ketebalan, maka bentuk butir akan semakin memanjang dan menyebabkan peningkatan kekerasan kuningan melalui mekanisme *strain hardening*.
- Kuningan hasil pengerolan reduksi 31,5-58,9 % mulai mengalami rekristalisasi pada suhu 400-550°C.
- Kuningan menunjukkan adanya *twinning* setelah mengalami *annealing*.

Referensi

- Cai, J., Shekhar, S., Wang, J., Shankar, M.R., 2008, Nanotwinned microstructures from low stacking fault energy brass by high-rate severe plastic deformation, *Scripta Materialia*.
- Callister, William D., 2003, *Materials Science and Engineering an Introduction, 6th Edition*. John Wiley and Son Inc.
- Dieter, G.E., Kuhn, H.A., Semiatin, S.L., 2003, *Handbook of Workability and process design*, USA : ASM international, diakses dari <http://books.google.co.id/books?id=Hs57XaLW840C&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false> pada tanggal 9 agustus 2012.
- Dieter, G.E., 1988, *Mechanical Metallurgy*, S1 Metric Edition, McGraw-Hill Book Co
- Song, K.H., Kim, H.S., Kim, W.Y., 2011, Enhancement of Mechanical properties and grain Refinement in ECAP 6/4 Brass, *Rev. Adv. Mater. Sci.* p. 158-161.

Nestorovic, S., Ivanic, Lj., Markovic, D., 2003, Influence of Time of Annealing on Anneal Hardening Effect of a Cast CuZn Alloy, *Journal of Mining and Metallurgy*, 39(3-4).

Voort, George F. 1984. *Metallography Principles and Practice*. McGraw Hill Book Company

Huda, Z., 2009, Effects of Degrees of Cold Working and Recrystallization on the Microstructure and Hardness of Commercial-Purity Aluminum, *European Journal of Scientific Research*, 4(549-557).