

Pengaruh Kekasaran Pemesinan Terhadap Kerusakan Permukaan Rol Pada Proses Pembuatan Cooper Rod Dengan Metode Hot Roll

Eko Edy Susanto¹, Budiyanto²
Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang

Abstrak

Salah satu kerusakan pada produk copper rod disebabkan oleh kerusakan pada rol dan bentuk kerusakannya terdapat pada permukaannya. Tahapan pembuatan rol meliputi pemesinan, dan selanjutnya untuk pengerolan panas copper rod.

Penelitian dilakukan terhadap bahan yang digunakan untuk rol, proses pemesinan, proses pengerolan panas copper rod dan pengujian laboratorium terhadap rol yang rusak. Penelitian dilakukan untuk mengetahui berapa kekasaran permukaan rol yang digunakan untuk pengerolan panas copper rod dan yang menyebabkan kerusakan pada permukaan rol.

Pengujian kerusakan rol dimulai dari bahan rol, tingkat kehalusan permukaan rol hasil pemesinan, jenis dan penyebab kerusakan permukaan rol setelah digunakan untuk pengerolan hot working sampai rol rusak. Penyebab kerusakan rol akibat pengerolan panas setelah diketahui maka penyebab kerusakan tersebut bisa diminimalkan, sehingga umur pakai rol dapat ditingkatkan

Kata kunci: Bahan, Pemesinan Rol, Pengerolan, Hot Working, Kerusakan.

PENDAHULUAN

Produksi copper rod dapat dilakukan dengan sistem konvensional dan sistem Continuous Casting. Sistem konvensional untuk proses pengerolan dalam memproduksi copper rod dilakukan dengan cara memanaskan lebih dahulu batangan tembaga (wire bars) di dapur pemanas pada temperatur 880 - 925° C.

Sistem Continuous Casting pada pembulatan wire rod dapat menghasilkan wire rod yang panjang tanpa terputus, tembaga cair dari dapur peleburan dengan berkelanjutan dituangkan kedalam mesin cetak untuk dibentuk menjadi cast bar dan seterusnya dilakukan pengerolan panas untuk dijadikan produk copper rod.

Pembentukan cooper rod yang dilakukan oleh roll dan reduksinya dilakukan tahap demi tahap pada batangan tembaga yang panas sampai ukuran diameter yang dikehendaki.

Bahan rol untuk proses pengerolan panas menggunakan bahan baja H13 dan pembentukannya menjadi konstruksi rol dilakukan dengan pemesinan pada tingkat

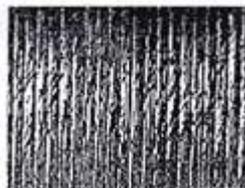
kehalusan permukaan sangat halus ($\Delta\Delta\Delta$). Pemesinan untuk menghasilkan permukaan yang sangat halus diperlukan mesin bubut yang mempunyai spesifikasi tinggi dan operator yang handal. Spesifikasi pada mesin bubut yang digunakan harus mempunyai tingkat putaran yang tinggi sehingga mampu mencapai V yang tinggi dan daya mesinnya yang kuat. Karena mesin bubut untuk proses pemesinan yang mampu mencapai tingkat kehalusan sangat halus ($\Delta\Delta\Delta$) di bengkel pengerjaan sangat sulit maka hasilnya baru bisa mencapai tingkat kehalusan halus ($\Delta\Delta$). Dengan demikian tingkat kehalusan permukaan rol tidak sesuai dengan perencanaan pembuatan rol. Kehalusan pada permukaan rol yang tidak sesuai dengan yang direncanakan akan menyebabkan awal dari kerusakan rol dan kerusakan pada permukaan benda yang di rol. Mutu produk copper rod akan ditentukan didalam proses peleburan bahan bakunya, continuous casting dan pengerolan panas, maka terjadinya cacat-cacat pada copper rod salah satunya disebabkan adanya penyimpangan pada proses rol atau kerusakan yang terjadi pada rol

berupa retak-retak atau pecah dan lubang-lubang kecil pada permukaannya

Proses Pemesinan.

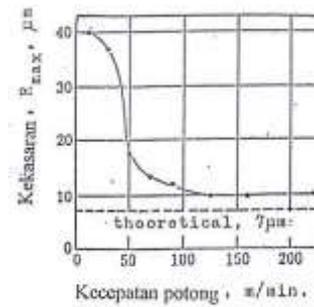
Pada proses pemesinan ada tiga variabel proses yang ditetapkan harganya yaitu untuk kedalaman pemotongan a (mm), gerak makan f (mm/rev) dan kecepatan potong V (m/min), untuk menghasilkan produk sesuai dengan geometri dan toleransi yang diminta. Urutan proses pelaksanaan menentukan jenis mesin perkakas dan pahat (material pahat dengan material benda kerja, geometri pahat disesuaikan dengan kondisi proses yang direncanakan). Usaha untuk mendapatkan geram yang tinggi agar dapat tercapai dengan cara menaikkan tiga variabel gerak makan lalu kecepatan potong.

Pemilihan pahat terutama pada radius potong ujung pahat akan menentukan kekasaran atau kehalusan permukaan benda kerja. Pemakaian pahat yang sudah aus juga dapat menyebabkan kekasaran pada permukaan benda kerja



Gambar 1 : Permukaan potong mesin bubut dengan built-up edge

Kecepatan pemotongan juga akan mempengaruhi kekasaran permukaan, dari hasil perubahan variasi kecepatan pemotongan maka untuk kecepatan pemotongan 125 – 220 m/min tingkat kekasarnya rendah. Pemilihan kecepatan potong dibawah 125 m/min akan mendapatkan permukaan potong yang kasar dengan demikian semakin kecil kecepatan potong, semakin kasar permukaan benda kerja.



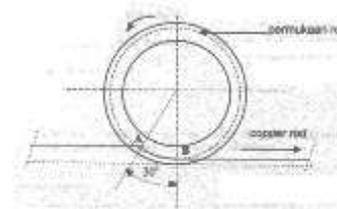
Gambar 2 : Pengaruh kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan.

Material pahat sangat besar pengaruhnya terhadap hasil pemotongan permukaan benda kerja, sebab keausan pada mata pahat akan merubah bentuk mata pahat sehingga permukaan benda kerja akan menjadi kasar. Satu jenis material pahat mungkin hanya cocok untuk kondisi pemotongan tertentu. Untuk kondisi pemotongan yang lain memerlukan jenis pahat potong yang lain. Untuk mendapatkan kondisi pemotongan yang optimum perlu memilih jenis material yang tepat.

Proses pengerolan.

Proses pembuatan *copper rol* dengan pengerolan panas, memerlukan material rol yang tahan untuk temperatur tinggi, keausan dan tidak mudah berubah bentuk. Baja H13 merupakan baja *chromium hot work steels* yang sesuai digunakan untuk bahan rol pada pengerolan panas pembuatan *copper rod*.

Komposisi baja H13 dapat meningkatkan ketahanan pada pengerolan sebesar 40 – 55 Hrc dan dapat meningkatkan atau memperbaiki daya tahan oksidasi pada suhu diatas 800°C.



Gambar 3 : Daerah reduksi rol

Pendinginan rol pada waktu untuk pengerolan panas *copper rol* menggunakan campuran air dengan 2-2,5% *soluble oil* secara terus-menerus disekitar rol dan sebagian mengenai *copper rod*,

sekaligus berfungsi sebagai pelumas karena adanya gesekan copper rod dengan permukaan rol

Kerusakan permukaan pada pengerolan pabas

Sifat material dari rol yang dipergunakan untuk pengerolan panas, bisa berubah karena dipengaruhi oleh temperatur, gaya yang terjadi dan kondisi pada waktu pengerolan.

Kegagalan rol untuk proses pengerolan panas *copper rol* banyak dipengaruhi oleh kondisi pengoperasiannya terutama tempertur kontak antara temperatur *copper rod* dengan rol. Pengaruh temperatur pada permukaan rol akan mempengaruhi umur rol maka komponen mesin jika mendapatkan tekanan dan gesekan pada temperatur tinggi akan menyebabkan *thermal fatigue cracking* (membentuk keretakan kecil pada permukaan karena pengaruh panas).

METODOLOGI

Dalam melaksanakan pengumpulan data digunakan beberapa metode dan rencana penelitian, sehingga langkah-langkah yang akan dilakukan dapat berjalan secara sistematis. Penelitian ini menggunakan skala laboratorium dengan menggunakan peralatan yang dapat mendukung untuk memperoleh data-data.

Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Metode pengumpulan data jika digunakan dengan tepat, akan mendapatkan data yang dapat membuktikan suatu kebenaran ilmiah, adapun metode pengumpulan data untuk menganalisa kegagalan rol, sebagai berikut :

- a. Pengumpulan data dengan metode dokumentasi
- b. Pengumpulan data dengan metode observasi
- c. Pengumpulan data dengan pengujian laboratorium

Pengumpulan data dengan metode dokumentasi

Data dokumentasi digunakan untuk mengetahui historis pengerjaan dan perlakuan

sebelumnya dari rol yang digunakan untuk pengerolan panas *copper rod* .

- 1. **Data dokumentasi** berupa gambar teknik untuk rol berisi informasi dimensi dan tingkat kehalusan permukaan rol, yang digunakan untuk pedoman pada proses pemesinan.
- 2. **Data spesifikasi bahan rol** .

Tabel 1 : Bahan rol baja H13.

HB	Komposisi (%)					
	C	Cr	Mo	Mn	Si	V
185	0,37	5,3	1,40	0,40	1,0	1,0

Bahan untuk rol menggunakan bahan atau material baja H13 dan kekerasannya masih standar yaitu 185 HB. kandungan unsur Cr= 5,30% dan kandungan V=1,0% maka baja H13 termasuk baja krom yang tahan untuk kerja panas. Dengan kekerasan standar tersebut, diperlukan untuk mempermudah proses pemesinan, jika diperlukan kekerasan yang lebih tinggi maka dapat dilakukan perlakuan panas pada bahan rol tersebut.

3. Pengumpulan data dengan metode observasi

Data observasi diperoleh dari pengamatan langsung melalui pengamatan meliputi:

- a. Data pengamatan pemesinan
- b. Data pengamatan perlakuan panas
- c. Data pengamatan proses pengerolan
- d. Data pengamatan kerusakan rol.

Data yang diperoleh melalui observasi berupa data kuantitatif maupun data kualitatif, seperti berikut:

a. Data pengamatan pemesinan

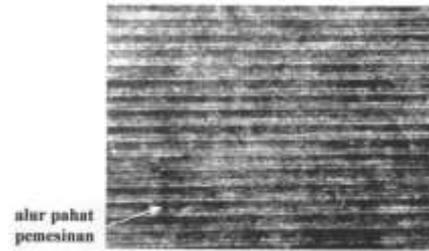
Pelaksanaan pemesinan pembuatan rol, dikerjakan dengan menggunakan mesin bor (*drilling machine*), mesin bubut dan juga mesin frais, tetapi yang berhubungan dengan kegagalan atau kerusakan rol bukan dari jenis mesin yang digunakan, maupun langkah-langkah pemesinan, tetapi hasil pemesinannya. Hasil pemesinan yang berkaitan dengan kerusakan rol adalah tingkat kekerasan permukaan, hasil dari pemotongan pemesinan. Pengamatan untuk proses pemesinan yang menghasilkan tingkat kekerasan akibat pemotongan, sebagai berikut:

1. Pahat yang digunakan jenis karbida standar ISO-P tipe 220408-PF untuk pemotongan baja *hot work tool steel*.



Gambar 4 : Pahat potong ISO-P tipe 220408-PF

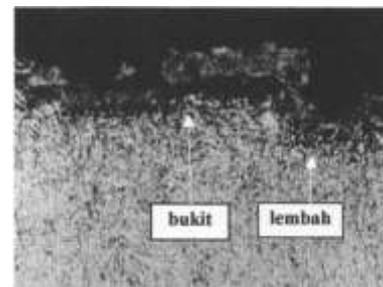
2. *Set-up* pada mesin untuk penghalusan permukaan rol yaitu permukaan yang berhubungan langsung dengan *copper rod*, menggunakan mesin bubut dengan kecepatan potong $V=125$ m/mm, gerak makan $f= 0,2$ mm/rev, kedalaman potong untuk pengkasaran pemotongan $a= 1,0$ mm dan putaran spindel 1000 rpm.
3. Proses pemotongan dengan menggunakan pahat karbida ISO-P tipe 2204008-PF dengan *set-up* tersebut diatas menghasilkan kekasaran permukaan dan angka kekerasannya $\pm 10 : 12$ mikrometer atau rata-rata kekasaran permukaannya 12,5 mikrometer. Penggantian pahat potong rata-rata setiap ± 15 menit untuk diapaki sekali pemotongan.
4. Hasil pemotongan menyebabkan keretakan pada permukaan dan daerah retakan menyebar lebih dari satu tempat .
5. Jenis pendingin yang digunakan yaitu campuran air dengan 10% *soluble oil* proses pendinginan dilakukan selama proses pemotongan.
6. Pemesinan dengan gerinda hanya dilakukan untuk menghilangkan lapisan kerak pada rol setelah perlakuan panas.



Gambar 5 (a): alur pemotongan dengan menggunakan pahat potong ISO-P tipe 220408-PF (pembesaran 100x)



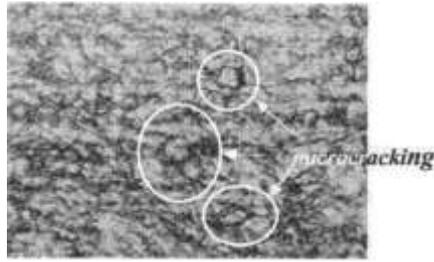
Gambar 5 (b): kekasaran permukaan dari gambar 9 (a) rata-rata kekasaran 12 mikron (Pembesaran 100x)



Gambar 5 (c): bentuk lembah dan bukit kekasaran permukaan dari Gambar 9 (b) pembesaran 500x)



Gambar 5 (d): retak permukaan akibat pemotongan pemesinan dari Gambar 5 (b) (pembesaran 500x)

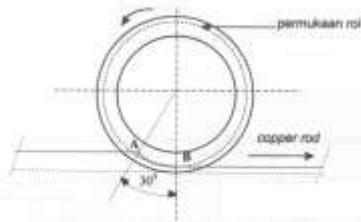


Gambar 9 (e): *Microcracking* pada permukaan karena pemesian (dari pandangan atas Gambar 9 (d) pembesaran 500x)

b. Data pengamatan proses pengerolan copper rod

Kegagaaln rolterjadi akibat proses pengerolan panas *copper rod* oleh sebab itu perlu diamati antara lain:

Temperatur *copper rod* pada waktu direduksi diantara rol atas dan rol bawah untuk rol sebesar $\pm 705\text{ }^{\circ}\text{C}$ (pengukurannya dengan *Portable Radiation Thermometer Type: IR-AH* tercatat $67\text{-}740\text{ }^{\circ}\text{C}$). Diameter rol luar $203,75\text{ mm}$, putaran rol $0,22\text{ m/det}$ dan diameter permukaan rol $181,1\text{ mm}$ maka lama dan panjangnya singgungan antara permukaan rol dan *copper rod* bisa diamati, sebagai berikut:



Gambar 6 : Daerah reduksi rol

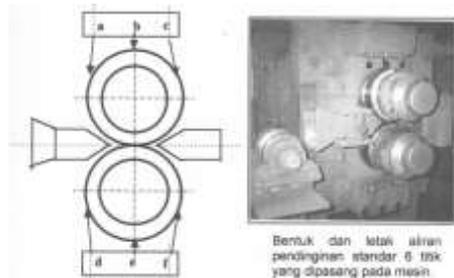
Tabel 2 : Ketetapan rol

Nomor rol	Diameter max mm	Diameter min mm	Ketetapan	Materi
1H	203,75	201,8	50-52	TIRA

Ketapan yang dikeluarkan merupakan standar yang diperlukan untuk rol, dimana batasan diameter untuk rol baru maksimum $\pm 203,75\text{ mm}$ dan batas diameter minimum yang diijinkan jika ada pemesanan ulang

(*reject*) karena rusak pada permukaan rol sebesar $\pm 201,75\text{ mm}$. Jika ukuran diameter rol setelah *reject*, lebih kecil $201,75\text{ mm}$ maka diganti dengan rol baru.

Waktu putaran rol dari titik B kembali ke titik B selama ± 3 detik dengan demikian waktu reduksi dari titik A sampai titik B membutuhkan waktu selama $0,25$ detik dan panjang reduksinya diukur pada tembereng A ke B $\pm 47,36\text{ mm}$

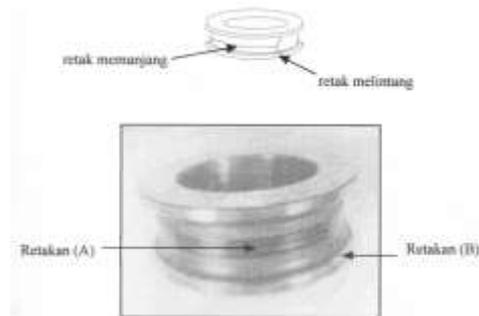


Gambar 7 : Pengerolan cooper rod dengan proses panas

Data pengamatan kerusakan

a. Kerusakan berbentuk retakan

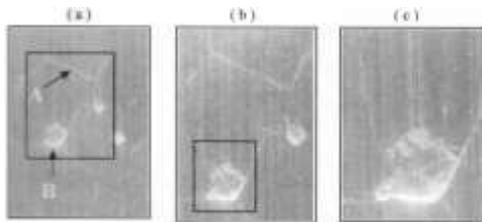
Retakan rol merupakan retakan kombinasi arah melintang (B) dan arah memanjang (A). Retakan bentuk arah melintang yang mengakibatkan rol patah menjadi satu atau dua bagian dan patahan melintang terjadi lebih dari satu tempat. Retakan arah memanjang pada rol masih berhubungan dengan retakan arah melintang jadi dengan demikian dua raha retakan tersebut saling terkait.



Gambar 8 : Bentuk retakan rol, retakan A arah memanjang retakaan B arah melintang.

c. Kerusakan permukaan rol

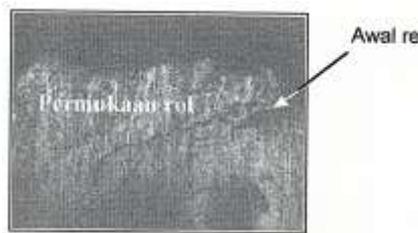
Pada diberi tanda (A) terlihat bahwa awal retakan terjadi pada permukaan rol yang berhubungan langsung dengan *copper rod* saat proses pengerolan panas *copper rod* terjadi



Gambar 9 : Kerusakan permukaan rol berupa lubang-lubang kecil (B) dan garis retaan (A). (a) gambar diperbesar 32x, (b) merupakan pembesaran dari kolom gambar (a) 55x, (c) merupakan pembesaran dari kolom gambar (b) 150x.

d. Metalurgi rol yang rusak

Pada bidang patah rol tampak pada daerah awal terjadinya retak sampai patah seluruhnya, alur aliran retakan merambat dengan cepat dengan demikian jenis patahannya termasuk patah karena rapuh.. Jika ditinjau dari titik-titik pengujian strukturmikro pada penampang patahan rol tersebut terbaca bahwa keadaan strukturmikro tidak homogen lagi dengan demikian angka kekerasan bahan juga tidak merata, untuk satu bahan tersebut.



Gambar 10 : Awal retakan dipermukaan rol

Retak pada permukaan rol biasanya didahului oleh mikro pada permukaan rol karena adanya tekanan dan temperatur tinggi pada saat terjadi proses pengerolan panas *copper rod* atau akibat pemesinan. Retakan mikro dipermukaan rol akan terus merambat kedalam, ke kiri atau ke kanan

bersamaan dengan masa pemakaian rol tersebut.

PEMBAHASAN

1 Pemakaian bahan baja H13 untuk rol .

Berdasarkan standar AISI untuk cetakan temperatur tinggi bahan tembaga panas menggunakan baja H13, dimana baja H13 merupakan baja chromium hot work steels dengan komposisi sesuai sebagai bahan rol untuk proses pengerolan panas *copper rod* sudah memenuhi syarat karena memenuhi standar AISI.

Ketentuan untuk rol yang digunakan mempunyai kekerasan 50 sampai 52 HRC, dan hasil pengujian sampel baja H13 setelah mendapatkan perlakuan panas sesuai ketentuan untuk rol, yang mendapatkan kekerasan rata-rata 51 HRC. Jadi dengan demikian kelebihan dan kekurangan unsur panduan untuk baja H13 diatas masih dalam batas dapat diterima karena masih memenuhi kekerasan rol.

2. Prosedur pemesinan

Langkah-langkah penyetelan (set-up) pada mesin bubut sebelum melakukan pemesinan, harus disesuaikan dengan perencanaan yang memerlukan kehalusan permukaan rol simbol $\Delta\Delta\Delta$ (sangat halus), maka prosedur pengaturan kedalaman pemotongan, gerak makan dan kecepatan potong mesin disesuaikan dengan Standard Operating Prosedure (SOP) pemesinan, sebagai berikut :

- a. Pemilihan pahat potong ISO-P tipe 220408-PF untuk pemotongan baja H13 setara dengan jenis baja ASSAB 8407-2M dan baja X24CrMoV15 (DIN) , maka pahat ISO-P tipe 220408-PF sudah sesuai untuk pemotongan dengan kedalaman potong $a = 1\text{mm}$.
- b. Pengaturan gerak makan $f = 0.2\text{ m/rev}$ pada mesin dengan pemakaian pahat potong ISO-P tipe 220408-PF maka pemilihan gerak makan $f = 0,2\text{ m/rev}$ sudah sesuai penggunaannya karena batasan $f = 0,1-0,35\text{ mm/rev}$. Untuk

mendapatkan tingkat kehalusan permukaan simbol $\Delta\Delta\Delta$ (sangat halus) dengan parameter kehalusan $3 \mu\text{m}$ maka pemilihan gerak makan $f = 0,2 \text{ m/rev}$ tidak sesuai karena belum menghasilkan kehalusan permukaan sesuai gambar kerja (yaitu simbol $\Delta\Delta\Delta$) untuk menghasilkan tingkat kehalusan permukaan sesuai simbol $\Delta\Delta\Delta$ (sangat halus), dengan kekasaran permukaan $3 \mu\text{m}$ yang benar dipilih $f = 0,1 \text{ m/rev}$, menurut Rumus 2.2 dan dengan menggunakan pahat potong ISO-P tipe 220408-PF. Dengan demikian klasifikasi pahat potong termasuk ISO-P 10-30 lihat Tabel 8 yang digunakan untuk pemotongan baja H13 dengan kedalaman potong $a = 1 \text{ mm}$ dan gerak makan $f = 0.1 \text{ m/rev}$.

- c. Pengaturan kecepatan potong $V = 125 \text{ m/min}$ pada mesin bubut dengan pemakaian pahat potong ISO-P 220408-PF maka pemilihan kecepatan potong $V = 125 \text{ m/min}$ dengan gerak makan $f = 0,2 \text{ m/rev}$ tersebut tidak sesuai untuk digunakan pemotongan baja H13. Untuk pemotongan baja H13 dengan gerak pemakanan $f = 0,1 \text{ m/rev}$ menurut Rumus 2.3 diperoleh kecepatan potong $V = 310 \text{ m/min}$. Pengaturan kecepatan potong $V = 310 \text{ m/min}$ untuk pemotongan baja H13 dengan kekerasan 185 HB sudah sesuai .
- d. Daya pemotongan untuk set-up mesin bubut dengan kedalaman pemotongan $a = 1 \text{ mm}$, gerak makan $f = 0,2 \text{ m/rev}$ dan $V = 125 \text{ m/min}$, daya pemotongannya sebesar $N_{cm} = 1,83 \text{ KW}$. Daya pemotongan menurut Standard Operating Prosedure (SOP) pemesinan dengan kedalaman pemotongan $a = 1 \text{ mm}$, gerak makan $f = 0,1 \text{ m/rev}$ dan kecepatan potong $V = 310 \text{ m/min}$ daya pemotongannya sebesar $N_{cm} = 2,7 \text{ KW}$. Perhitungan daya pemotongan menurut Rumus 24, aman dipakai.
- e. Perbandingan set-up pemesinan untuk pemotongan yang optimal dengan pengaturan pada kedalaman potong (a), gerak makan (f) dan kecepatan potong (

V) berdasarkan penggunaan pahat potong ISO-P tipe 220408-PF sebagai berikut :

Tabel 3 : Perbandingan set-up pemesinan pemotongan baja H13 dengan pahat potong ISO-P tipe 220408-PF

No	Parameter	Set-up pemesinan pada yang dilakukan untuk pemesinan	Set-up pemesinan menurut SOP pemesinan
1	Kedalaman Pemotongan	$a = 1 \text{ mm}$	$a = 1 \text{ mm}$
2	Gerak Pemakanan	$f = 0,2 \text{ m/rev}$	$f = 0,1 \text{ m/rev}$
3	Kecepatan Potong	$V = 125 \text{ m/min}$	$V = 310 \text{ m/min}$
4	Daya mesin	$N_{cm} = 1,83 \text{ KW}$	$N_{cm} = 2,7 \text{ KW}$

Dari set-up pemesinan berdasarkan Standard Operating Prosedure (SOP) pemesinan dapat menghasilkan pemotongan permukaan rol lebih halus dari kekasaran permukaan $12 \mu\text{m}$ atau diberi simbol tingkat kekasaran \bar{w} sesuai dengan ISO-N8 menjadi ISO-N6 tingkat kekasaran simbol $\Delta\Delta\Delta$ (sangat halus). Pemilihan putaran spindle 1000 rpm untuk gerak pemakanan $f = 0.2 \text{ m/rev}$ tidak sesuai, maka untuk putaran spindle tersebut sesuai untuk gerak pemakanan $f = 0.1 \text{ m/min}$.

KESIMPULAN DAN SARAN.

Kesimpulan.

Data-data yang diperoleh dari penelitian, disusun, diolah dan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan, sebagai berikut :

1. Pemakaian baja H13 untuk bahan rol sudah memenuhi ketentuan batasan teknik, terutama prosentase kandungan unsur pada komposisi kimia dan pencapaian kekerasannya setelah dilakukan perlakuan panas.

2. Langkah-langkah penyetelan $a = 1$ mm, $f = 0,2$ m/rev dan $V = 125$ m/min pada mesin bubut, yang digunakan untuk memotong baja H13 sebagai bahan rol dengan pahat potong jenis ISO type P 220408-PF, ternyata belum mampu menghasilkan kehalusan simbol $\Delta\Delta\Delta$ dan juga mengakibatkan retakan halus pada permukaan rol.

Saran-saran

1. Untuk mengurangi kegagalan / kerusakan rol yang digunakan pada pengerolan panas copper rod, perlu mengganti material baja untuk bahan rol yang mempunyai karakteristik ketahanan terhadap kelelahan panas yang tinggi, tahan pada temperatur tinggi dan kekerasannya sangat baik (52-55 HRC).
2. Langkah-langkah penyetelan mesin bubut pada kedalaman potong $a = 1$ mm, gerak makan $f = 0,1$ m/rev, kecepatan potong $V = 310$ m/min dengan menggunakan pahat potong karbida jenis ISO type P 220408-PF untuk memotong baja H13, dapat menghasilkan tingkat kekasaran permukaan rol simbol $\Delta\Delta\Delta$ (halus sekali).

DAFTAR PUSTAKA

- Alan M. Bayer, Wrought Tool Steels, Metals Handbook, Properties and Selection : Irons, Steels and High-Performance Alloys, Volume 1, ASM International, Ohio, 1993, halaman 757-759.
- Alfred Jahr, Innovation in Rolling Mill Guides, Metallurgical Pland and Technologi International, Volume 19, 1996.
- Budi Yuwono, Quality Improvement of Copper Rod Production for Magnet Wire Application, Wire Journal, 1995.
- George E. Dieter, Metalurgi Mekanik, terjemahan Sriati Djaprie, jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988.
- Gordon W. Powell, Identification of Typer of Failures, ASM Handbook Failure Analysis and Prevention, Volume 11, ASM International, Ohio, 1993, halaman 75-103.

Materials, Volume 2, ASM International, Ohio, 1992, halaman 244-345.

Heinz P. Block, Machinery Failure Analysis and Troubleshooting, Gulf Publishing Company, Tokyo, 1991.

M. H. Kamdar, Liquid Metal Embrittlement, ASM Handbook Failure Analysis and Prevention, Volume 11, ASM International, Ohio, 1993, halaman 225-238.

Kapajian S, Manufacturing Engineering and Technologi, Addison Wesley Publishing CO, 1984.

Kazuo Nakayama, Basic Understanding Of Cutting and Grinding Technologies, Proceedings Machine Tool Technology and application, Bandung Institute of Technology, Indonesia, 1984.

Otto J. Tassi, Non Ferrous Wire Handbook, Addison Wesley International, Volume 1, 1981.

Robinson, Olin Corporation, Propertis Of Wrought Copper and Copper Alloys, ASM Handbook Propertis and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Taufic Rochim, Proses Pemesinan, Institut Teknologi Bandung, 1985.

Stepen D. Antolovich, Fatigue Failure, ASM Handbook Failure Analysis and Prevention, Volume 11, ASM International, Ohio, 1993, halaman 102-135.

Sujana W., Widi K.A. Compared of Surface Roughness Nitride Layers Formed on Carbon and Low Alloy Steel, International journal of Engineering Research and Science (IJOER) Vol 2 Issue 6, 2016

Sujana W., Widi, K. A., Karakterisasi lapisan Retak Mikro Permukaan Hard Chrome hasil Perlakuan Nitridisasi, Seminar Nasional Teknologi (Senatek), Januari 2015

Thelning Erick, Steel and Heat Treatment, Jointly Owned by Butterworek & CO, London, 1984.

Vander Voort G, F, History Of Factrografi, ASM Handbook Factrografi, Volume 12, ASM International, Ohio, 1993, halaman 1-11.