

## Ekspesimental Study of Quenching Process of Medium Carbon Steel with Different Surface Roughness using Water Cooling Medium.

Hairul Arsyad<sup>1</sup>, Syamsul Bahri<sup>2</sup>, Aryo<sup>3</sup>  
Universitas Hasanuddin

Jl Perintis Kemerdekaan km 10 Tamalanrea, Makassar

Email: arsyadhairul@yahoo.com

### ABSTRACT

In general, steel processing covered heat treatment process to improve mechanical properties after machining process. The parameter of machining process can be set to improve the quality of the material surface according to standard quality. When material quenched in cooling media, there are three different stage during cooling process. The first stage is vapour blanket stage, the second is boiling stage and the last is cooling stage. The purpose of the research is to visualize the cooling process due to effect of surface roughness of medium carbon steel after machining in the water quenching. The specimen has diameter 20 mm and 90 mm in height make by turning process. In order to make different surface roughness on the specimen surface, two different parameter in turning process was applied. For coarse surface roughness the feed parameter was setup in 0.4 mm/revolution and for the fine surface roughness the feed parameter was set up in 0,2 mm/revolution with rotational speed of the workpiece is 250 rpm. The specimen was heated with heating temperatur 800°C, 850°C and 900°C and homogenized for 3 hours in the furnace and than quenched in water cooling medium. By using transparant medium, the cooling process stage was recorded using camera Nikon D7000 with shooting speed 8 frame per second (fps). By comparing frame by frame of the image taken from camera during cooling process, we can analyze the cooling process. The result show that the roughness surface of the specimen give a different effect of the cooling process stage. The coarse surface roughness show that the cooling process need more time than the fine surface roughness and the different of the cooling process very significant in the specimen with heating temperature 900°C.

Keyword: heat treatment, quenching, cooling process, surface roughness, visualization

<sup>1,2</sup> Dosen Jurusan Mesin UNHAS

<sup>3</sup> Mahasiswa jurusan Mesin UNHAS

### Pendahuluan

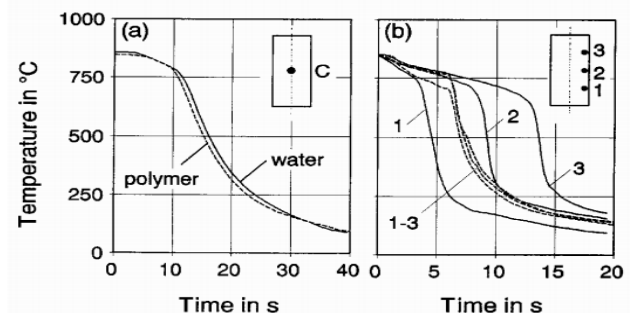
Pada setiap pabrikasi yang berbahan baku baja sebagai *input material* untuk dijadikan produk umumnya melewati proses permesinan dan proses perlakuan panas. Pengerjaan permesinan dan perlakuan panas dilakukan sebagai bagian proses pabrikasi. Dalam urutan pengerjaan terkadang dijumpai tahapan perlakuan panas yang dilakukan setelah proses permesinan. Dengan urutan pengerjaan seperti ini maka proses permesinan sedikit banyak memberikan pengaruh terhadap proses perlakuan panas yang dilakukan. Kekasaran permukaan hasil permesinan adalah contoh parameter yang dapat memberikan pengaruh pada proses perlakuan panas.

Perlakuan panas pada baja adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk mengubah sifat-sifat dari baja. Perlakuan panas sering pula disebut sebagai *secondary manufacturing* yaitu tahapan pengerjaan yang dilakukan setelah *primary manufacturing*. Pada dasarnya perubahan sifat yang terjadi pada proses perlakuan panas pada baja disebabkan oleh terjadinya perubahan mikrostruktur yang meliputi perubahan fasa akibat pemanasan dan pendinginan.

Salah satu tujuan dari proses perlakuan panas adalah menaikkan sifat kekerasan baja yang dilakukan dengan pencelupan cepat setelah pemanasan

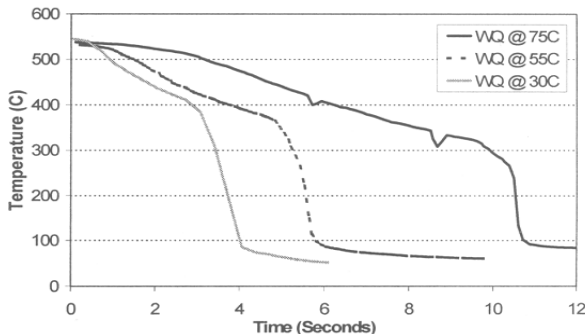
pada temperatur austenisasi. Peningkatan kekerasan baja terjadi disebabkan oleh hadirnya martensit pada mikrostruktur baja. Air sebagai media pendingin pada proses perlakuan panas banyak dipakai karena mudah didapat dan dapat menghasilkan mikrostruktur yang keras. Kelemahan air sebagai media pendingin adalah dapat terjadi distrorsi termal pada benda kerja yang dapat menyebabkan terjadinya retak.

Proses quenching dengan menggunakan media pendingin berupa fluida dapat berlangsung dengan cepat. Pada tiap-tiap bagian dari benda kerja memperlihatkan kurva pendinginan yang berbeda-beda (Totten, G.E, 1990).



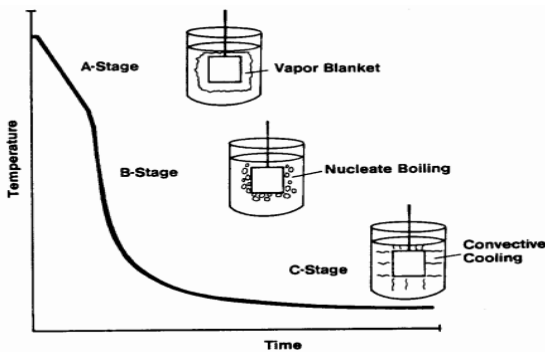
Gambar 1. Perbandingan kurva pendinginan pada baja CrNi. a Pada bagian tengah spesimen, b Pada posisi 1, 2 dan 3 (Totten, GE., 1990).

Sifat dan karakteristik dari media pendingin yang digunakan juga akan memberikan pengaruh terhadap kurva pendinginan pada proses quenching. Dengan menggunakan media air dengan temperatur yang berbeda-beda memberikan efek terhadap kurva pendinginan yang terjadi (Shuhui Ma, 2006).



Gambar 2. Pengaruh temperatur median pendingin terhadap kurva pendinginan, (Shuhui Ma, 2006).

Pada umumnya terdapat tiga tahapan dalam proses pendinginan dengan media pendingin dalam cairan. Tiga tahapan tersebut adalah *vapor blanket stage* (A), *nucleate boiling stage* (B) dan *convective cooling stage* (C). (Totten, G.E., 1993).

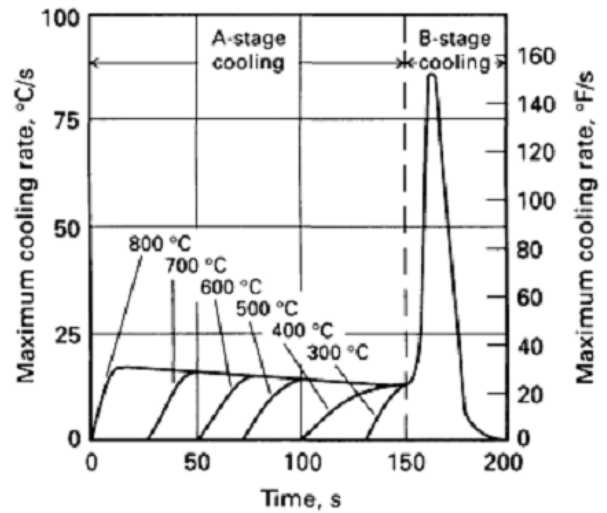


Gambar 3 Tahapan proses pendinginan dengan media pendingin cairan dalam proses quenching (Totten, G.E., 1993)

Pada tahap pertama adalah *vapor blanket stage* yang ditandai dengan munculnya selimut uap yang mengelilingi benda uji dan dikenal dengan fenomena Leidenfrost. Terjadinya selimut uap akibat suplai panas dari benda uji kepermukaan dengan jumlah panas yang mampu menguapkan media pendingin. Pada tahapan ini laju pendinginan relatif lambat karena selimut uap yang terbentuk bertindak sebagai isolator panas seperti dapat dilihat pada gambar 4.

Pada tahap *nucleate boiling stage*, selimut uap yang terbentuk pada tahap pertama pecah dan laju pelepasan panas sangat tinggi selama tahap ini. Pada tahap ini media pendingin telah menyentuh permukaan benda uji karena selimut uap yang terbentuk telah pecah. Cairan pendingin yang menyentuh permukaan

benda uji dengan segera menguap. Kecepatan pendinginan sangat tinggi selama periode ini, seperti terlihat pada gambar 4 dibawah ini



Gambar 4. Grafik laju pendinginan pada benda uji berdiameter 24 mm dengan panjang 72 mm dari bahan Inconel yang diquench pada rentang temperatur 300 °C hingga 800 °C, (Charles E. B et al. 1991)

Pada tahap ketiga yaitu tahap *convective cooling stage*, proses pendinginan memasuki tahap yang terakhir. Tahap ini dimulai ketika temperatur benda kerja turun dan berada dibawah temperatur didih dari media pendingin. Pada tahapan ini tidak lagi terdapat fasa uap. Proses pendinginan terjadi dengan mekanisme perpindahan panas konduktif dan konveksi ke media pendingin. Pada tahap tiga ini laju pendinginan bergantung pada viskositas dari media pendingin.

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mendapatkan gambaran proses pendinginan, khususnya tahapan pendinginan yang terjadi dengan perbedaan tingkat kekasaran permukaan akibat proses pembubutan

**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

Material yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis baja AISI 4140 dengan kadar karbon 0.38 %. Baja dengan bentuk silinder dengan dimensi diameter 20 mm dan panjang 90 mm yang diperoleh dari hasil permesinan bubut. Variasi permukaan spesimen dilakukan dengan perbedaan pemakanan saat permesinan. Untuk spesimen dengan permukaan halus dibubut dengan pemakanan 0.2 mm/putaran dan permukaan kasar dengan 0.4 mm/putaran pada kecepatan putaran spindel yang sama yaitu 250 rpm. Spesimen kemudian dipanaskan pada temperatur austenisasi yang bervariasi yaitu 800 °C, 850 °C dan 900 °C dan masing-masing ditahan selama 3 jam. Spesimen kemudian dikeluarkan dari tungku dan secara bersama-sama dicelupkan kedalam wadah

transparan yang menampung air sebagai media pendinginan. Proses pendinginan direkam dengan menggunakan kamera berkecepatan 8 fps hingga proses pendinginan selesai. Proses perekaman dengan kamera dibantu dengan lampu sorot berkekuatan 1000 watt untuk memperlihatkan dengan jelas tahapan-tahapan pendinginan.



Gambar 5. Bentuk Benda Uji.



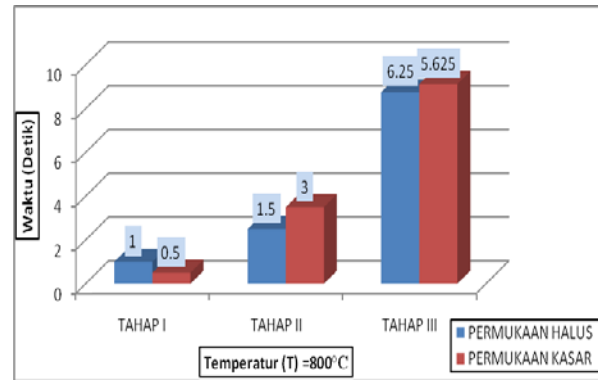
Gambar 6. Kamera yang digunakan pada penelitian.

Untuk menganalisa hasil rekaman gambar yang telah diperoleh terhadap tahapan-tahapan proses pendinginan dilakukan dengan memetakan tiap gambar kedalam tiga tahapan proses pendinginan. Kecepatan kamera yang digunakan adalah 8 fps (8 gambar perdetik) sehingga untuk satu gambar dibutuhkan waktu sebesar 0.125 detik. Untuk menghitung waktu yang terjadi pada masing-masing tahapan adalah dengan menghitung jumlah gambar yang terpetakan untuk tiap tahapan. Sehingga waktu pendinginan pada setiap tahapan diperoleh dari:

$$T = \text{Jumlah gambar pada tahapan pendinginan} \times 0.125 \text{ detik/gambar.}$$

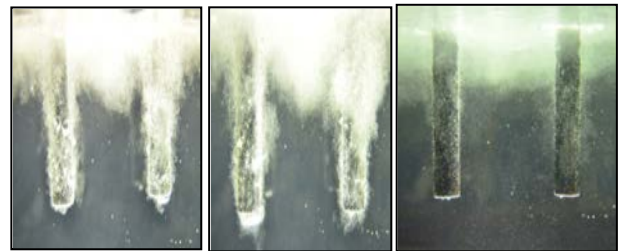
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 7 dibawah ini memperlihatkan hasil pengujian dari benda uji yang dipanaskan pada temperatur 800°C untuk setiap tahapan proses pendinginan. Dari grafik terlihat waktu yang dibutuhkan selama proses pendinginan baik untuk permukaan kasar maupun permukaan halus.



Gambar 7. Perbedaan waktu pendinginan pada tiga tahapan pendinginan untuk benda uji yang dipanaskan pada temperatur 800°C

Untuk benda uji dengan permukaan halus, tahap A berlangsung lebih lama dari benda uji permukaan kasar namun pada tahap B dan tahap C permukaan kasar membutuhkan waktu yang lebih lama. Dari tiga tahapan tersebut terlihat bahwa tahap ketiga membutuhkan waktu pendinginan yang lebih lama disusul tahap kedua dan kemudian tahap pertama.

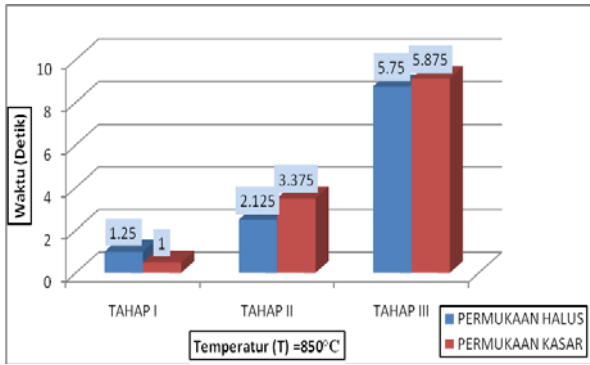


Gambar 8. Visualisasi proses pendinginan yang terjadi. Benda uji sebelah kiri adalah benda uji dengan permukaan yang kasar dengan temperatur pemanasan 800°C.

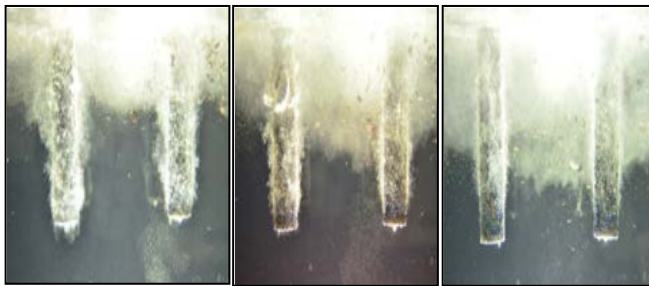
Gambar 8 memperlihatkan visualisasi proses pendinginan pada benda uji permukaan kasar dan permukaan halus yang dipanaskan pada temperatur 800 °C. Dari hasil visualisasi yang diperoleh dari gambar yang direkam dengan kamera memperlihatkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari tahapan proses pendinginan yang terjadi antara permukaan kasar dan permukaan halus dari benda uji.

Untuk benda uji yang dipanaskan pada temperatur 850°C diperoleh hasil yang relatif sama dengan benda uji yang dipanaskan pada temperatur 800 °C seperti terlihat pada gambar 9. Dari hasil visualisasi yang diperoleh sudah terlihat adanya perbedaan yang diamati berdasarkan tiga tahapan pendinginan. Walau demikian masih tidak terlalu

signifikan seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 9. Perbedaan waktu pendinginan pada tiga tahapan pendinginan untuk benda uji yang dipanaskan pada temperatur 850°C



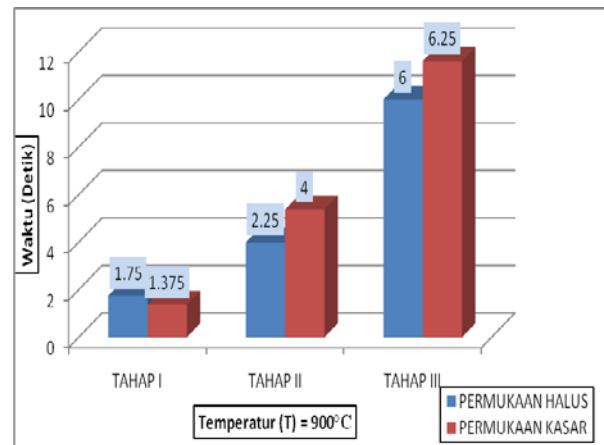
Gambar 10. Visualisasi proses pendinginan yang terjadi. Benda uji sebelah kiri adalah benda uji dengan permukaan yang kasar dengan temperatur pemanasan 850°C.

Walaupun demikian perbedaan waktu pendinginan yang tidak terlalu signifikan dapat berpengaruh besar terhadap pembentukan fasa pada proses pendinginan dengan menggunakan media air yang berakibat pada perbedaan nilai kekerasan

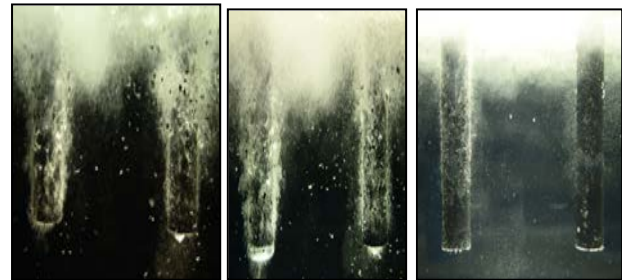
Untuk benda uji yang dipanaskan pada temperatur 900 °C seperti terlihat pada gambar 11 dibawah ini terlihat bahwa perbedaan kekasaran permukaan sudah semakin besar terhadap tahapan proses pendinginan. Walaupun demikian benda uji dengan permukaan halus tetap memiliki tahap A atau tahap vapor blanket stage yang lebih lambat dari permukaan kasar seperti pada temperatur 800 °C dan 850 °C.

Gambar 12 memperlihatkan visualisasi proses pendinginan antara permukaan kasar dan permukaan halus untuk tempertur benda uji 900 °C. Dari hasil visualisasi foto sudah terlihat perbedaan yang lebih signifikan terhadap tahapan pendinginan yang terjadi. Hal ini terlihat dengan semakin meningkatnya waktu yang dibutuhkan untuk setiap tahapan. Selisih perbedaan waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing tahapan juga semakin besar dengan perbedaan kekasaran permukaan, seperti

terlihat pada gambar 13.



Gambar 11. Perbedaan waktu pendinginan pada tiga tahapan pendinginan untuk benda uji yang dipanaskan pada temperatur 900°C.

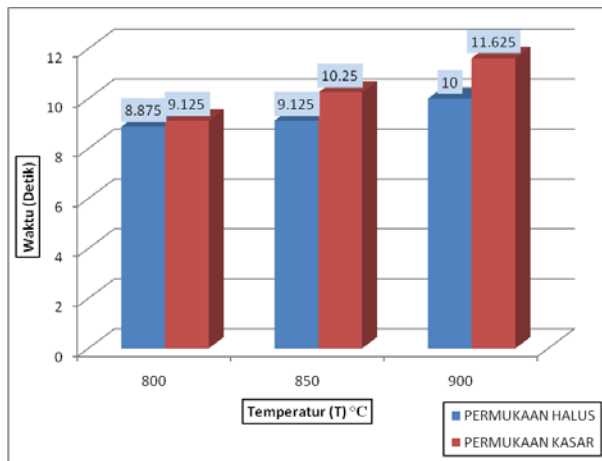


Gambar 12. Visualisasi proses pendinginan yang terjadi. Benda uji sebelah kiri adalah benda uji dengan permukaan yang kasar dengan temperatur pemanasan 900°C.

Dengan adanya perbedaan kekasaran permukaan akan mempengaruhi kecepatan aliran media pendingin yang melintasi permukaan material. Seperti diketahui bahwa ketika benda uji bertemperatur tinggi dicelup kedalam air maka panas dari benda uji dipindahkan ke air. Panas yang diterima oleh air menyebabkan air bergerak keatas melintasi benda uji. Selanjutnya air yang lebih rendah temperaturnya menggantikan posisi air yang bergerak keatas. Dari hasil pengamatan memang terlihat adanya pergerakan aliran air sepanjang permukaan benda uji. Perbedaan kekasaran material menyebabkan adanya hambatan yang lebih besar untuk benda uji dengan permukaan kasar dibanding benda uji dengan permukaan halus terhadap pergerakan aliran media pendingin.

Dengan demikian maka perpindahan panas yang terjadi pada material permukaan kasar lebih lambat di bandingkan dengan material permukaan halus sehingga menyebabkan kecepatan pendinginan yang terjadi pada material permukaan kasar lebih lambat dibandingkan dengan material permukaan halus.

Disisi lain benda uji dengan permukaan halus pada dasarnya memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan permukaan kasar. Atau dengan kata lain bahwa rasio volume dan luas permukaan untuk permukaan kasar lebih tinggi dibandingkan dengan bahan uji dengan permukaan halus. Kelebihan luas permukaan tersebut menyebabkan benda uji memiliki luas transfer panas yang lebih besar sehingga mempercepat proses pendinginan yang terjadi.



Gambar 13 Selisih perbandingan kecepatan waktu pendinginan antara material permukaan halus dengan material permukaan kasar pada temperature pemanasan 800°C, 850°C dan 900°C

## Kesimpulan

Pada proses *quenching* baja karbon menengah yang sebelumnya telah melewati proses permesinan dengan kualitas pembubutan halus dan kasar dengan menggunakan air sebagai media *quenchant* memperlihatkan adanya perbedaan proses pendinginan. Perbedaan tersebut teramati dengan menggunakan kamera dengan kecepatan pengambilan gambar 8 fps. Semakin tingginya temperatur pemanasan maka akan semakin jelas perbedaan tahapan-tahapan proses pendinginan diantara benda uji permukaan kasar dan permukaan halus.

Dari hasil pengujian terlihat bahwa untuk permukaan halus membutuhkan waktu yang lebih lama pada tahap vapor blanket stage untuk semua variasi temperatur pemanasan yang dilakukan. Namun demikian untuk benda uji hasil pembubutan kasar membutuhkan waktu total yang lebih panjang dari benda uji permukaan halus.

## Referensi

Charles E. B et al, ASM Handbook Vol 4 Heat Treating, 1991.

Shuhui Ma, A Methodology to Predict the Effects of Quench Rates on Mechanical Properties of Cast

Aluminum Alloys, dissertation, 2006

Totten, G.E. et al 'Handbook of Quenchants and Quenching Technology, ASM International, 1993

Totten, G.E., "Polymer Quenchants: The Basics", Adv. Mat. & Proc., 1990.