

# PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI DAN WAKTU TAHAN TERHADAP SIFAT MEKANIK, TEBAL SCALE DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA PADUAN Ni-Cr-Mo

Indah Hardiyanti<sup>1,a</sup>, Abdul Aziz<sup>2,b</sup>, Maulud Hidayat<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Mahasiswa Lulusan Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten 42440

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten 42440

<sup>3</sup>Krakatau Steel Tbk, Cilegon Banten Indonesia 42440

<sup>a</sup>ih.indahhardiyanti@gmail.com, <sup>b</sup>mang\_azis@yahoo.com

## Abstrak

Aplikasi produk baja telah banyak digunakan dan berbagai penelitian terus dikembangkan untuk mencari kualitas baja yang baik dan sesuai dengan kebutuhan serta dapat diproduksi di dalam negeri tanpa harus dilakukan impor, misalnya baja paduan yang terus dikembangkan salah satunya adalah baja paduan Ni-Cr-Mo dengan paduan unsur nikel, kromium dan molibdenum yang dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, keuletan serta ketangguhan baja. Efek selama proses produksi adalah pada saat dilakukannya proses pemanasan yang menimbulkan terbentuknya lapisan oksida besi (*scale*) dan menyebabkan baja akan kehilangan berat. Oleh karena itu, pemilihan metode dan teknik perlakuan panas sangat diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik yaitu kekerasan, kekuatan tarik, dan ketangguhan namun dengan *scale* yang <5% berat baja. Penelitian yang dilakukan yaitu perlakuan panas pada temperatur austenisasi dengan temperatur 800°, 850° dan 900° C dengan waktu tahan 20, 40 dan 60 menit, kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik yaitu kekerasan. Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impact, selanjutnya adalah pengamatan metalografi yang terdiri dari pengamatan struktur mikro dan pengamatan ketebalan *scale*. Struktur mikro yang dihasilkan dari proses perlakuan panas adalah martensit karena hasil dari pendinginan cepat (*quenching*) yang merubah fasa austenit menjadi martensit secara cepat. Data hasil kekerasan tertinggi pada temperatur 850°C waktu tahan selama 60 menit yaitu 588,35 HVN dengan energi impact dan tebal *scale* yaitu 8,5 Joule dan 91,5 µm. Sedangkan data hasil kekerasan terendah adalah pada temperatur 800°C yaitu 539,34 HVN dengan energi impact dan tebal *scale* yaitu 5 Joule dan 47,81 µm.

**Kata kunci :** Baja Paduan Ni-Cr-Mo, sifat mekanik, perlakuan panas, temperatur austenisasi, waktu tahan, *quenching*, *scale*

## Abstract

*Application the products of steel have been widely used and developed various research continues for the good quality of steel and in accordance with the needs and can be produced in the country without having to be imported, such as alloy steels are constantly being developed one of which is a Ni-Cr-Mo alloy elements of nickel, chromium and molybdenum which can increase the hardness, tensile strength, ductility and toughness of steel. Effect during the process of production is the heating process that causes the formation of a layer of iron oxide (scale) and caused the steel to lose weight. Therefore, selection of methods and techniques of heat treatment is needed to improve the mechanical properties, namely hardness, tensile strength, and toughness, but the scale is <5% weight steel. Research carried out the heat treatment at a austenitizing temperature of 800 °, 850 ° and 900 ° C with a holding time of 20, 40 and 60 minutes, and then made rapid cooling (quenching) so as to improve the mechanical*

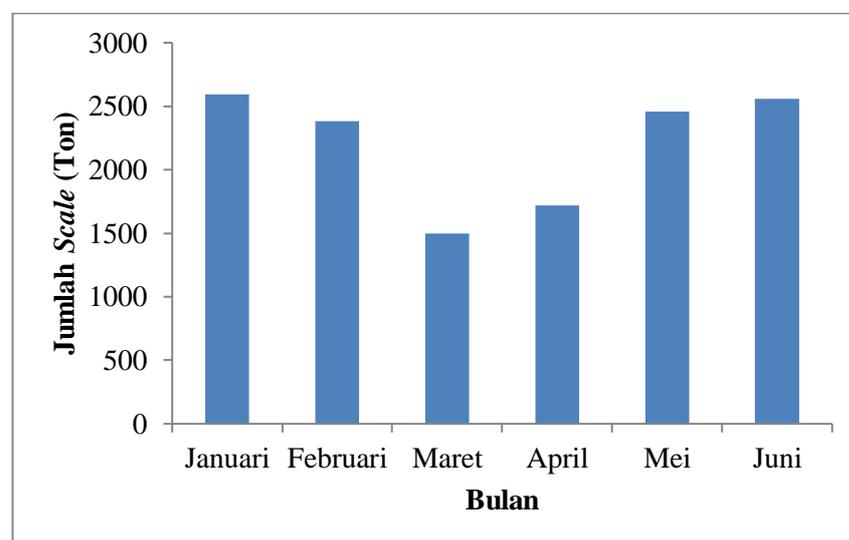
properties of the hardness. In the present study tested the mechanical properties of hardness testing and impact testing, metallographic observation is further comprised of microstructure observation and observation scale thickness. Microstructure resulting from heat treatment process is martensite as a result of rapid cooling (quenching) the austenite to martensite phase change quickly. Data resulting from the highest hardness at temperatures of 850 ° C for 60 minutes holding time is 588.35 HVN impact energy and scale thickness is 8.5 Joule and 91.5  $\mu\text{m}$ . While the data f lowest hardness is at a temperature of 800 ° C is 539.34 HVN impact energy and scale thickness is 5 Joules and 47.81  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** N-Cr-Mo Alloy Steel, mechanical properties, heat treatment, austenitizing temperature, holding time, quenching, scale

## PENDAHULUAN

Data *World Steel Association* (2010) menunjukkan bahwa konsumsi baja Indonesia saat ini mencapai 37,1 kg/kapita (2008) dan produksi baja di Indonesia berkisar antara 3,5 – 4,2 juta ton per tahun sepanjang 2005-2009, [Hasni dan Hiras Manulang, 2011]. Penelitian ini mengacu pada baja paduan Ni-Cr-Mo. Baja paduan ini merupakan baja yang dikembangkan untuk meningkatkan sifat mekanik, yang telah dihasilkan ini kemudian dilakukan proses perlakuan panas kembali, untuk memperoleh sifat baja paduan Ni-Cr-Mo dengan sifat kekerasan yang tinggi, kekuatan yang lebih baik, meningkatnya kekuatan tarik, keuletan serta ketangguhan pada baja tersebut. Peningkatan kekerasan dapat pula menghasilkan laju keausan yang rendah serta meningkatkan ketahanan aus [Selcuk et al, 2003].

Proses perlakuan panas dengan melakukan pemanasan pada temperatur austenisasi yaitu pada temperatur diatas garis  $A_3$  pada diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C dilanjutkan dengan pendinginan cepat dapat merubah struktur austenite yang homogen seluruhnya menjadi struktur martensit dan akan meningkatkan kekerasan namun akibat dari proses pemanasan akan menimbulkan dampak seperti terbentuknya lapisan oksida besi (*scale*). *Scale* atau kerak merupakan suatu lapisan oksida yang muncul karena adanya reaksi oksidasi antara unsur besi dalam oksigen yang terkandung di atmosfer di area slab selama proses pemanasan [Poirier, 2006] .



**Gambar 1.** Data Jumlah *Scale* Pada Tahun 2014 [PT. KS, 2014]

Pada gambar 1 menunjukkan data jumlah proses fabrikasi baja lembaran panas pada tahun 2014, diperoleh jumlah *scale* yang mencapai rata-rata 371,67 Ton/bulan. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk pengoptimasian temperatur dan waktu tahan dalam *furnace* untuk peningkatan sifat mekanik dan pengidentifikasian *scale* secara kuantitatif dengan menganalisa ketebalan *scale* yang dihasilkan dari proses pemanasan untuk meminimalisir terjadinya *scale* yang lebih tebal sehingga tercapai kekerasan yang tinggi namun *scale* tidak terbentuk semakin tebal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan parameter optimum temperatur austenisasi dan waktu tahan yang optimum untuk proses perlakuan panas pada baja tahan aus, terhadap ketebalan lapisan oksida (*scale*) yang terbentuk terhadap kekerasan dengan media quench yaitu air, terhadap ketangguhan pada pengujian temperatur ruang dan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur austenisasi dan waktu tahan terhadap struktur mikro baja sebelum dan setelah proses perlakuan panas.

## METODE PENELITIAN

Baja Ni-Cr-Mo memiliki unsur paduan utama nikel, kromium dan molibdenum yang dapat membuat baja memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekerasan, kekuatan tarik, keuletan serta ketangguhan baja. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan perlu dilakukan proses *heat treatment*, pemilihan proses *heat treatment* sangat diperlukan, salah satu metode untuk merubah sifat mekanik baja paduan Ni-Cr-Mo adalah proses perlakuan panas dengan pemanasan pada temperatur austenisasi dilanjutkan dengan pendinginan cepat sehingga merubah struktur austenit yang homogen seluruhnya menjadi struktur martensit, namun akibat dari proses pemanasan tersebut akan menimbulkan dampak terbentuknya lapisan oksida besi (*scale*). Berdasarkan hal tersebut, pengoptimuman temperatur austenisasi dan waktu tahan dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik dengan indentifikasi terbentuknya ketebalan lapisan *scale*.

Pengujian komposisi kimia yang dilakukan di lab kimia PT. Krakatau Steel dengan menggunakan alat *spectrometer*. Tujuan dilakukan pengujian komposisi kimia ini adalah:

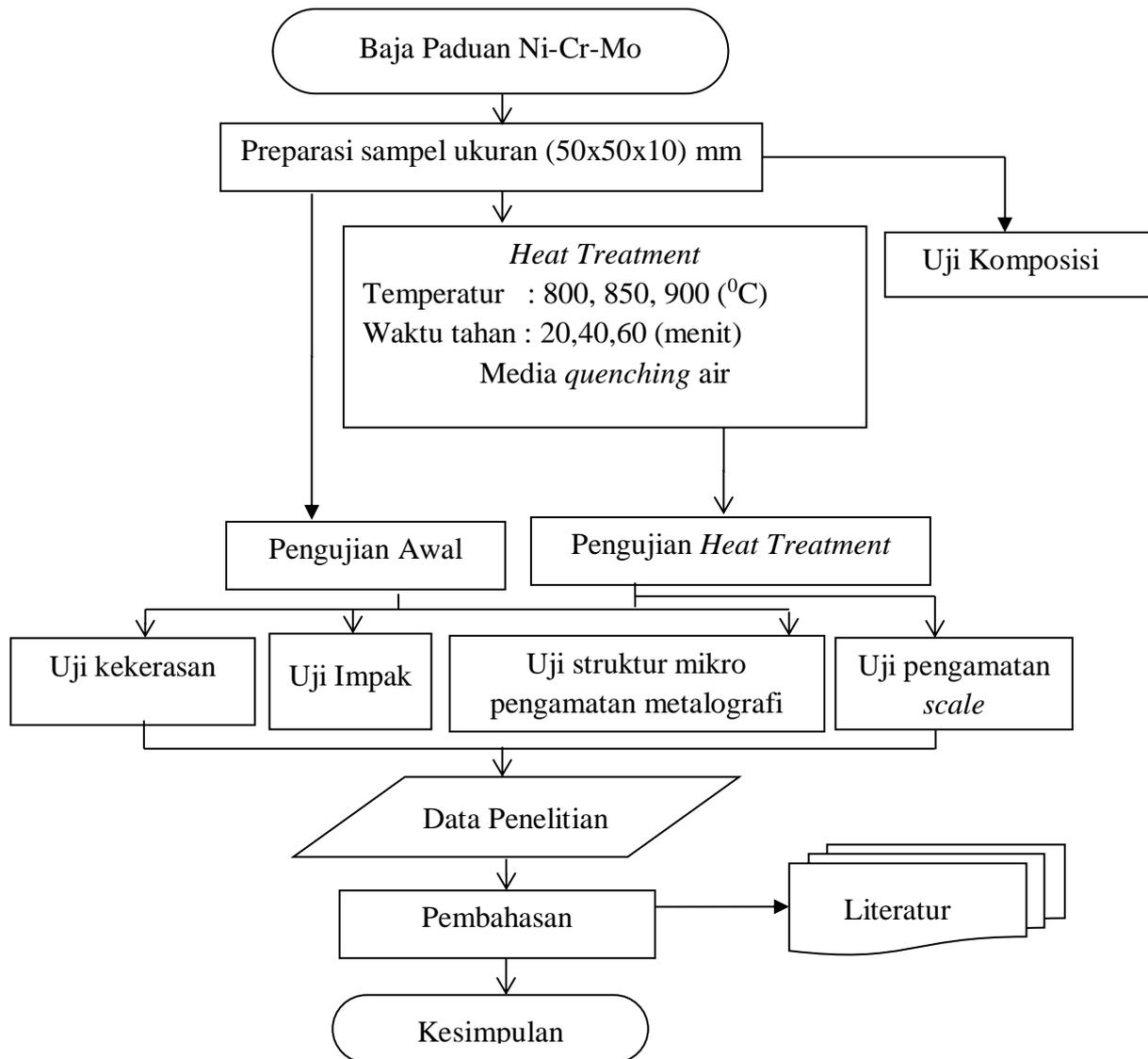
- 1) untuk memastikan bahwa baja karbon yang dipakai adalah baja karbon rendah ( $\leq 0,3\%$  C),
- 2) untuk mengetahui % unsur paduan Nikel, Kromium dan Molibdenum, serta unsur paduan lain yang terkandung,
- 3) untuk menentukan titik pemanasan temperatur austenisasi (pemanasan diatas garis  $A_3$  pada diagram  $Fe_3C$ ).

Pada Tabel 3.1 dibawah ini menunjukkan data hasil pengujian komposisi kimia yang diperoleh :

**Tabel 1.** Data Komposisi Kimia Sampel Baja Paduan Ni-Cr-Mo

Unsur	% Komposisi
C	0,2914
Si	0,2297
Mn	1,2431
Cu	0,0304
Ni	0,3219
Cr	0,6239
Mo	0,216
Paduan lain	0,0836
Fe <i>balance</i>	96,96

Proses yang dilakukan dalam penelitian untuk mengetahui penaruh temperatur austenisasi dan waktu tahan baja paduan Ni-Cr-Mo terhadap sifat mekanik dan mengenai indentifikasi *scale* pada proses pemanasan ini dapat digambarkan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

## ALAT DAN BAHAN

### A. Alat yang digunakan

1. Mesin potong (*Cutting Disk*)
2. *Muffle furnace*
3. Mesin *grinding*
4. Mesin *polishing*
5. Penjepit
6. *Termocouple*
7. Drum media quenching
8. Mesin *vickers*
9. Mesin Impak
10. Mikroskop optik

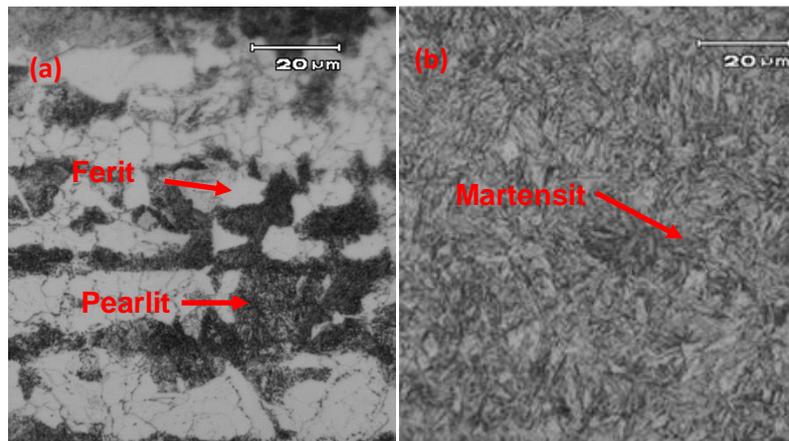
### B. Bahan yang digunakan

1. Baja Paduan Ni-Cr-Mo
2. Alumina

3. Alkohol
4. Nital 3%
5. *Bromophenol*
6. Air
7. Resin
8. Kertas amplas

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil data awal sebelum perlakuan panas dan data hasil setelah proses perlakuan panas.



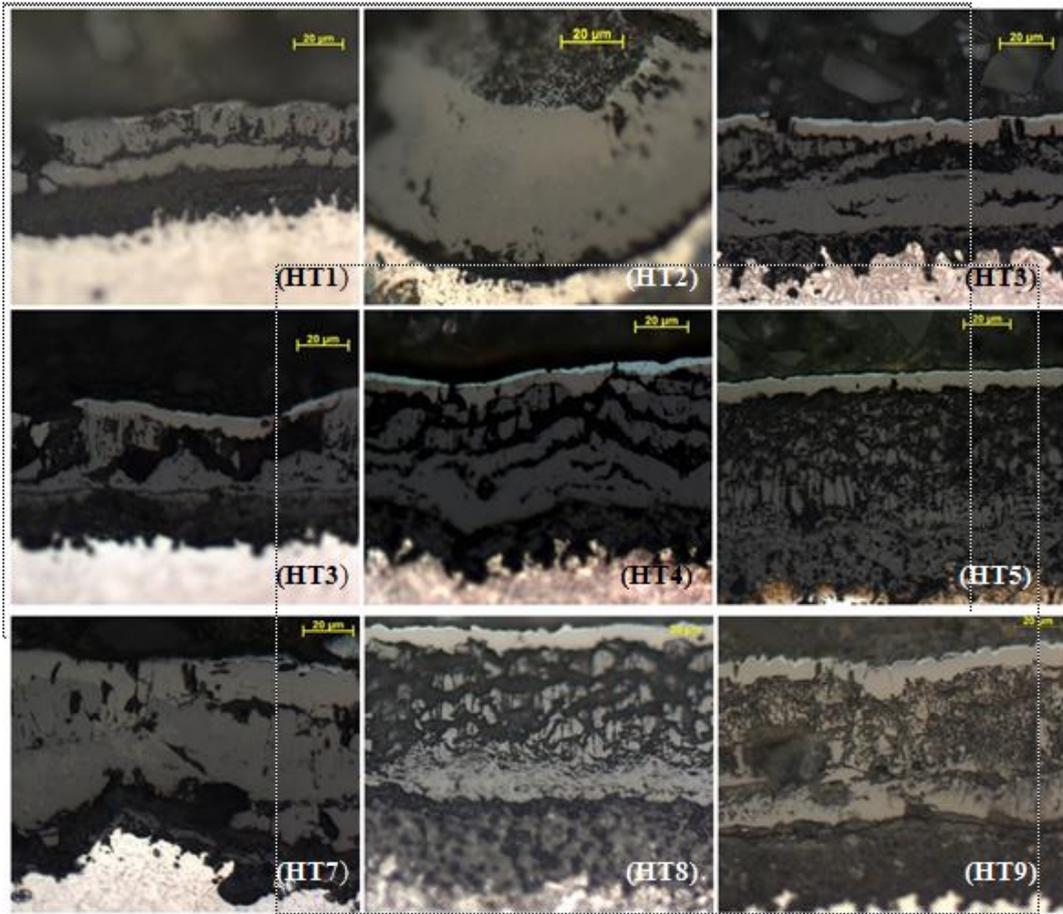
**Gambar 3.** Struktur Fasa (a) Ferit dan Perlit ( Sebelum Perlakuan Panas), (b) Martensit (Setelah Perlakuan Panas)

Proses *heat treatment* yang bertujuan memodifikasi struktur mikro sehingga diperoleh perubahan sifat mekanis. Struktur mikro awal sampel baja paduan Ni-Cr-Mo *non heat treatment* (a) menunjukkan bahwa fasa normal dari baja karbon rendah (*hypoeutectoid*), adalah ferit dan pearlit, dapat terlihat fasa pearlit berwarna hitam dan ferit berwarna putih.

Pemanasan pada temperatur austenisasi ( $A_3$ ) dengan waktu tahan tertentu yang dilakukan sehingga membentuk struktur austenit kemudian dilakukan pendinginan cepat maka akan dihasilkan struktur mikro yaitu struktur martensit (b). Martensit terbentuk jika fasa austenit dengan cepat didinginkan ke temperatur ruang. Karena laju pendinginan yang begitu cepat, dan volume atom austenit yang kecil maka atom karbon tersebut terperangkap dalam larutan sehingga membentuk struktur martensit.

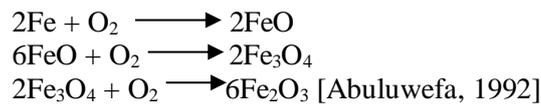
Selama proses pemanasan dan pendinginan, akan terjadi beberapa perubahan ukuran butiran dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan terlihat pada gambar 4.4 sampel HT3 yang dipanaskan pada temperatur 900°C memiliki ukuran butir yang semakin besar dibandingkan sampel HT1 yang dipanaskan pada temperatur 800°C dan sampel HT2 yang dipanaskan pada temperatur 850°C. Pengaruh temperatur dan waktu tahan ini menunjukkan, semakin tinggi temperatur austenisasi yang diberikan pada material yang sama, maka ukuran butir akan semakin besar. [Zen, 2001]. Semakin besar ukuran butir menyebabkan menurunnya kekerasan, karena semakin tinggi temperatur menyebabkan ukuran butir semakin besar, maka pada temperatur 900°C data hasil kekerasan terjadi penurunan kekerasan.

Selain struktur mikro pada pengamatan metalografi dilakukan pengukuran ketebalan *scale*. Pada gambar 4 menunjukkan ketebalan *scale* yang berbeda-beda pada masing-masing temperatur dan waktu tahan. *Scale* terjadi ketika baja terkena kondisi oksidasi diatas 570°C terbentuk *scale multilayer* yang terdiri dari FeO (*wustite*), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (*magnetite*) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*hematite*) dengan lapisan wustite dekat permukaan baja, magnetit berada di tengah dan hematit pada antarmuka *scale-gas* [Poirier, 2006].

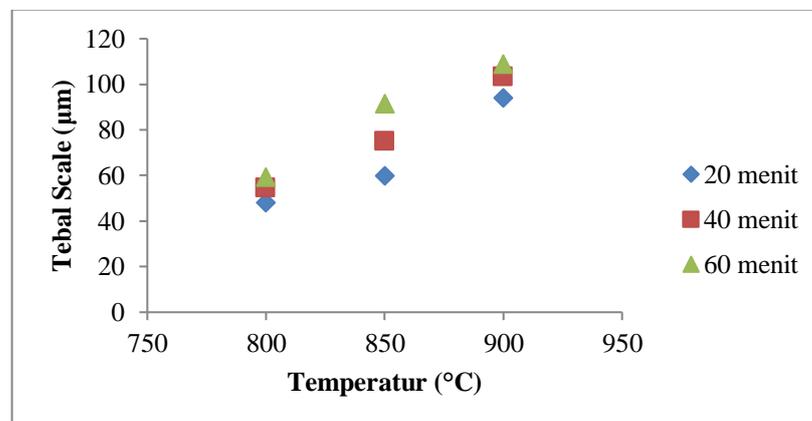


**Gambar 4.** Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan terhadap Ketebalan *Scale*

Lapisan oksida yang muncul diakibatkan karena adanya reaksi oksidasi antara unsur besi dalam oksigen yang terkandung selama proses pemanasan. Kecenderungan suatu logam untuk beroksidasi, sama seperti reaksi spontan lainnya, ditandai oleh perubahan energi bebas  $\Delta G$  yang menyertai pembentukan oksidasi.



Secara visual struktur lapisan *scale* yang terbentuk pada sampel HT 3C adalah yang paling tebal dibandingkan dengan sampel lainnya dengan skala perbesaran yang dipakai sama seperti sebelumnya, namun karena ketebalan oksida semakin bertambah maka penampakan oksida *scale* mendominasi secara optik dibanding dengan *base metal*. Pada gambar dibawah ini menunjukkan hubungan tebal *scale* terhadap temperatur dan waktu tahan.

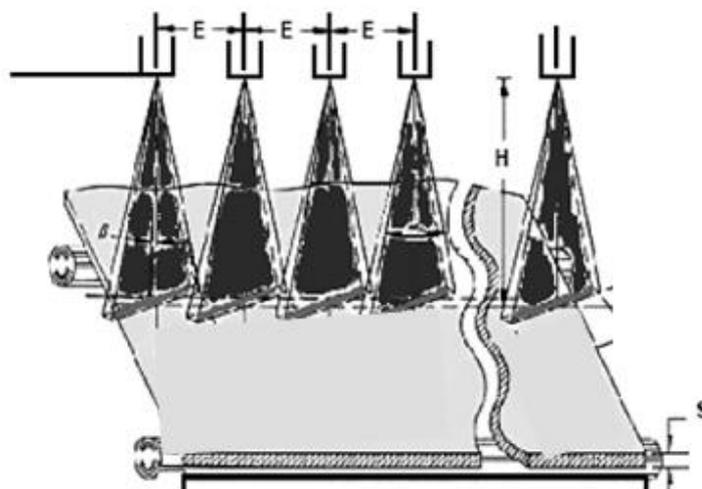


**Gambar 5.** Grafik Data Hasil Tebal *Scale*

Seperti pada gambar 5 diatas yaitu grafik tebal *scale* terhadap kode sampel dengan variasi temperatur dan waktu tahan, terlihat nilai ketebalan meningkat dengan adanya penambahan dari temperatur pada proses pemanasan. Pada temperatur 800°C dan waktu tahan 20 menit memiliki tebal *scale* rata-rata 47,81 µm. Sampel lain pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 40 dan 60 menit masing-masing memiliki tebal *scale* 54,39 µm dan 59,20 µm. Sampel pada temperatur 850°C dengan waktu tahan masing-masing kode sampel yaitu 20, 40 dan 60 menit memiliki rata-rata tebal *scale* yaitu 59,68 µm, 74,79 µm, dan 91,50 µm. Selain itu, pada sampel temperatur 900°C dengan waktu tahan masing-masing kode sampel yaitu 20, 40 dan 60 menit memiliki rata-rata tebal *scale* yaitu 93,86 µm, 103,09 µm, dan 108,86 µm.

Data di atas diketahui bahwa penambahan temperatur dan waktu tahan berpengaruh terhadap ketebalan dari *scale* yang dihasilkan, sehingga menyebabkan ketebalan *scale* menjadi lebih tebal. Hal ini dikarenakan kecenderungan metal untuk bereaksi dengan oksigen didorong oleh penurunan energi bebas yang mengikuti pembentukan oksidanya [Daud, 2005]. Berbanding lurus dengan penambahan temperatur dan waktu tahan yang berpengaruh terhadap ketebalan dari *scale*, maka penambahan temperatur dan waktu tahan pun sangat berpengaruh terhadap kehilangan massa dari *scale* suatu baja. Kehilangan massa terjadi dikarenakan *scale* melibatkan hilangnya logam dari satu sampai 5 persen atau lebih dan kemungkinan terjadinya cacat permukaan ketika pengerolan [William, 1983].

Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan mengakibatkan *scale loss* yang meningkat, sehingga kehilangan massa semakin banyak. Cara penghilangan *scale* dapat menggunakan *water descaler* yaitu proses penghilangan *scale*, lapisan oksida lainnya hasil proses *heat treatment*, *hot forming*, atau operasi pada temperatur tinggi dengan menyemprotkan air bertekanan 180 bar, dan konsumsi air sekitar 251 m<sup>3</sup>/jam. [PT. KS, 2012]. Pada gambar 6 menampilkan p roses *water descaler* selain dipengaruhi oleh tekanan dan kecepatan aliran air juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sudut *nozzle*, ketinggian antara *nozzle* dan slab(H), posisi *nozzle* (E), ketebalan slab (S) serta kecepatan slab saat proses *water descaler* berlangsung. Kebersihan slab setelah proses *reheating* sangat diperlukan supaya tidak mengurangi kualitas sebelum proses *rolling* sehingga mendapatkan sifat mekanik yang sesuai.



**Gambar 6.** Ilustrasi Proses Water Desacler

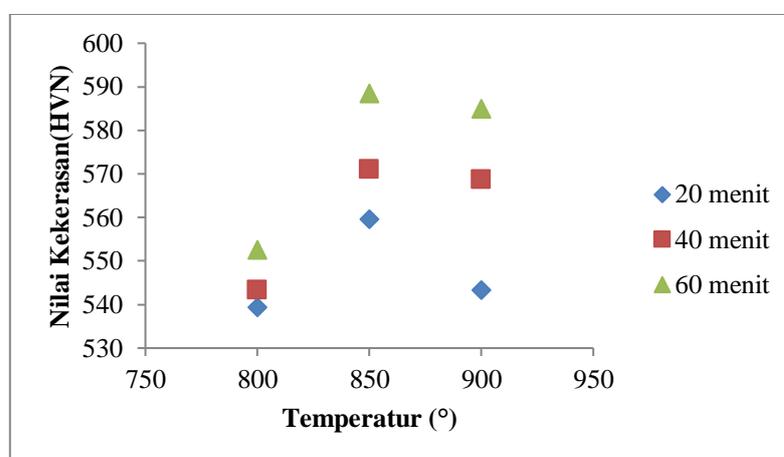
Selain pengamatan metalografi untuk struktur mikro dan tebal *scale* diperol beberapa data awal pengujian sifat mekanik yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impak. Nilai rata-rata kekerasan sebelum proses *heat treatment* adalah 235,87 HVN dan rata-rata besar energi pada pengujian impak sebelum proses *heat treatment* adalah 43 Joule. Pada tabel 4 dibawah ini merupakan data hasil pengujian sifat mekanik yaitu kekerasan dan pengujian impak serta pengukuran ketebalan *scale* dengan pengamatan metalografi.

**Tabel 2.** Data Hasil Pengujian Sifat Mekanik dan Metalografi

Sampel	Temperatur Austenisasi	Kode Sampel	Waktu Tahan	Rata-rata Nilai	Rata-Rata Energi	Rata-Rata Tebal <i>Scale</i>
--------	------------------------	-------------	-------------	-----------------	------------------	------------------------------

	(°C)		(menit)	Kekerasan (HVN)	ketangguhan (Joule)	(µm)
HT 1	800	HT 1A	20	539,34	5	47,81
		HT 1B	40	543,28	7,5	54,39
		HT 1C	60	552,45	8,5	59,20
HT 2	850	HT 2A	20	559,48	7	59,68
		HT 2B	40	570,89	8	74,79
		HT 2C	60	588,35	8,5	91,50
HT 3	900	HT 3A	20	543,28	7	93,86
		HT 3B	40	568,58	9	103,09
		HT 3C	60	584,92	10,5	108,86

Berdasarkan data pada tabel 2 diperoleh grafik seperti pada gambar 6 dan 7 tentang pengaruh temperatur austenisasi dan waktu tahan terhadap kekerasan.



**Gambar 7.** Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Kekerasan

Gambar 7 diatas yaitu grafik kekerasan terhadap temperatur, pada grafik waktu tahan 20 menit memiliki nilai kekerasan 539,34; 559,48; dan 543,28 HVN pada masing-masing temperatur 800, 850, dan 900°C. Pada grafik waktu tahan 40 menit memiliki nilai kekerasan 543,28; 570,89; dan 568,58 HVN pada masing-masing temperatur 800, 850, dan 900°C. Sedangkan pada grafik waktu tahan 60 menit nilai kekerasan 552,45; 588,35; dan 584,92 HVN pada masing-masing temperatur 800, 850, dan 900°C.

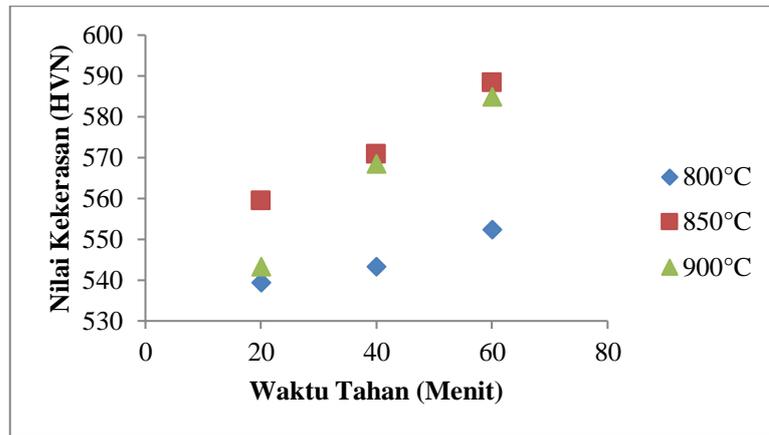
Grafik tersebut menunjukkan terjadi kenaikan pada temperatur 850°C kemudian penurunan pada temperatur 900°C, hal ini sesuai dari hasil struktur mikro pada gambar 4.4 sebelumnya yang menunjukkan ukuran butir yang semakin besar menyebabkan menurunnya kekerasan. Kekerasan terbaik adalah saat ukuran butir yang semakin kecil [Reed-Hill, 1994].

Pada temperatur lebih dari 800°C yang masih mengalami kenaikan kekerasan pada temperatur 850°C, dikarenakan temperatur 800°C masih merupakan batas kritis dari garis A<sub>3</sub> sedangkan temperatur austenisasi untuk baja hypereutectoid berpatokan pada garis A<sub>3</sub> dan diambil temperatur 30-50°C di atas garis A<sub>3</sub>. [Lakhtin, 1977]

Berdasarkan ASM handbook vol 4 tentang heat treating, persamaan Andrews seperti dibawah ini:

$$A_3 = 910 - 203 \sqrt{C} + 44,7 \text{ Si} - 15,2 \text{ Ni} + 31,5 \text{ Mo} + 104 \text{ V} \pm 16,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pada temperatur 850°C terlihat memiliki nilai tertinggi dibandingkan pada temperatur lainnya yaitu 588,35 HVn. Hal ini dikarenakan, pada temperatur 850°C dan waktu tahan 60 menit sudah optimumnya temperatur austenisasi dan kehomogenan butir untuk sampel baja paduan Ni-Cr-Mo sehingga meningkatkan kekerasan. Hal ini membuktikan bahwa unsur paduan Nikel, Kromium, dan Molibdenum memang dapat meningkatkan kekerasan.

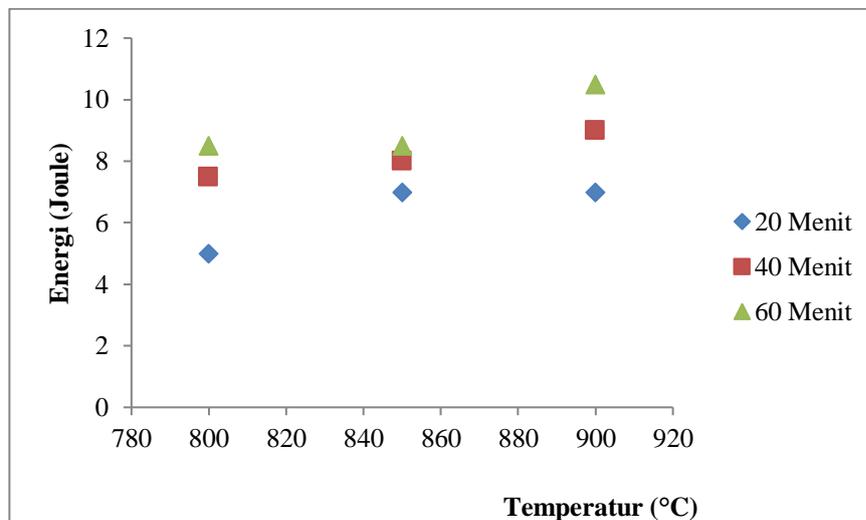


**Gambar 8.** Grafik Hubungan Waktu Tahan Terhadap Kekerasan

Gambar 8 menunjukkan hubungan kekerasan terhadap waktu tahan yang semakin lama waktu tahan maka meningkat pula kekerasannya. Pada grafik temperatur 800°C diperoleh nilai kekerasan 539,34; 543,28; dan 552,45 HVn pada masing-masing waktu tahan 20, 40, dan 60 menit. Pada grafik temperatur 850°C diperoleh nilai kekerasan 559,48; 570,89; dan 588,35 HVn masing-masing waktu tahan 20, 40, dan 60 menit. Pada temperatur 900°C diperoleh nilai kekerasan 543,28; 568,58; dan 584,92 HVn masing-masing waktu tahan 20, 40, dan 60 menit.

Berbeda dengan gambar 6 grafik temperatur terhadap kekerasan, pada gambar 7 grafik waktu tahan terhadap kekerasan yang menunjukkan semakin lama waktu tahan semakin meningkatkan kekerasan. Kekerasan tertinggi diperoleh pada waktu 60 menit yaitu pada temperatur 850°C. Kenaikan kekerasan setiap kenaikan waktu tahan 20 menit yaitu sebesar 13,55-14,32 HVN.

Berdasarkan tabel 2 data hasil pengujian dampak yang diperoleh, maka dapat digambarkan grafik seperti pada gambar 8.



**Gambar 9.** Grafik Hubungan Temperatur Dan Waktu Tahan Terhadap Energi Dampak

Seperti pada gambar 9 diatas yaitu grafik energi terhadap temperatur, energi yang dimaksud adalah energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji. Pada masing-masing temperatur 800°C, 850°C, dan 900°C selama waktu tahan 20 menit jumlah energi yang dibutuhkan yaitu 5, 7, dan 7 Joule. Pada waktu tahan ini semakin meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji, dengan semakin besar energi yang dibutuhkan maka sampel tersebut semakin ulet karena menunjukkan nilai energi dampak yang besar. [Widya Mukti S, 2007]

Pada waktu tahan 40 menit masing-masing temperatur 800°C, 850°C, dan 900°C jumlah energi yang dibutuhkan yaitu 7,5; 8; dan 9 Joule. Tidak berbeda seperti pada waktu tahan sebelumnya yaitu menunjukkan semakin meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi yang dibutuhkan

untuk mematahkan spesimen uji, dengan semakin besar energi yang dibutuhkan maka sampel tersebut semakin ulet karena menunjukkan nilai energi impact yang besar. [Widya Mukti S, 2007]

Sedangkan pada waktu tahan 60 menit pada masing-masing temperatur 800°C, 850°C, dan 900°C memiliki energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji yaitu 8,5; 8,5 dan 10,5 Joule. Semakin tinggi temperatur dari spesimen, maka ketangguhannya semakin tinggi dalam menerima beban secara tiba-tiba, demikian pun sebaliknya, dengan temperatur yang lebih rendah. Namun temperatur memiliki batas tertentu sehingga ketangguhan akan berkurang dengan sendirinya. [Widya Mukti S, 2007]

Berbeda dengan kekerasan, ketangguhan akan semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur, karena semakin tinggi temperatur maka meningkat pula energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji, dengan semakin besar energi yang dibutuhkan maka sampel tersebut semakin ulet karena menunjukkan nilai energi impact yang besar. Adanya nilai energi ketangguhan ini dapat mengurangi kegetasan yang biasa terjadi pada material dengan kekerasan tinggi, sehingga dapat menyeimbangkan sifat mekanik pada baja paduan Ni-Cr-Mo.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Penelitian pengaruh temperatur austenisasi dan waktu tahan pada baja paduan Ni-Cr-Mo sebelum dan setelah perlakuan panas pada temperatur 800°C, 850°C dan 900°C dengan waktu tahan selama 20,40,60 menit yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Penelitian pengaruh temperatur austenisasi dan waktu tahan pada baja paduan Ni-Cr-Mo sebelum dan setelah perlakuan panas pada temperatur 800°C, 850°C dan 900°C dengan waktu tahan selama 20,40,60 menit yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur mikro sebelum perlakuan panas adalah ferit dan perlit sedangkan fasa yang terbentuk setelah proses perlakuan adalah terbentuknya fasa martensit.
2. Senyawa *scale* yang terbentuk setelah proses pemanasan adalah terbentuk FeO (wustite), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (magnetite) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematit). Ketebalan *scale* terendah adalah pada 800°C selama 20 menit yaitu 47,81 µm, dan paling tebal pada 900°C selama 60 menit yaitu 108,86 µm.
3. Temperatur austenisasi dan waktu tahan proses yang optimum untuk mendapatkan sifat mekanik yaitu pada temperatur 850°C waktu tahan 60 menit, diperoleh nilai kekerasan tertinggi yaitu 588,35 HVN, dan energi ketangguhan impact sebesar 8,5 Joule.

### B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya dengan tema perlakuan panas penulis memberikan beberapa saran diantaranya:

1. Dilakukan penelitian *water descaler* untuk mendapatkan parameter-parameter optimum untuk penghilangan *scale*.
2. Dilakukan proses *tempering* untuk menghilangkan tegangan sisa dan meningkatkan ketangguhan pada sampel agar tidak terbentuk inisiasi cacat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abuluwefa. H.T. 1992. *Scale Formation in a Walking-Beam Steel Reheat Furnace*. Mc Gill University.
- ASTM E23-98 Maret, 1999. Amerika.
- ASTM E384-99 April, 2003. Amerika.
- Avner, SH. 1964. *Introduction to Physical Metallurg*. NewYork
- Cheng Lu et al. 2004. Oxide scales growth of low-carbon steel at high temperatures. Australia
- Dieter , George E. 1996. *Mechanical Metallurgy*. Singapura

- D. Poirier, E.W. Grandmaison. 2006. *High Temperature Oxidation of Steel in an Oxygen-enriched Low NO<sub>x</sub> Furnace Environment*. Canada
- I. Iordanova et al. 2000. *High-temperature surface oxidation of low-carbon rimming steel*, *Surf. Interface Anal.*
- L. Solymar, D. Walsh, *Lectures on the Electrical Properties of Materials*. Oxford
- Margono. 2008. *Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (Holding Time) Terhadap Kekerasan Logam*. Jawa Tengah.
- Metals Handbook*, 1st ed. 1991. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. Vol 1. American Society for Metals.
- Metals Handbook*, 4th ed. 1991. *Heat Treating*, Vol 4. American Society for Metals.
- Metals Handbook*, 8th ed. 1973. *Metallography, Structures, and Phase Diagrams*, Vol 8. American Society for Metals.
- Metals Handbook*, 9th ed. 2004. *Metallography and Microstructures*, Vol 4. American Society for Metals.
- P.M Daud. Korosi dan rekayasa permukaan, *Jurnal Teknik SIMETRIKA* Vol.4 No. 1 – April 2005: 301 – 306.
- Petzow, Gunter. 1976. *Metallography Etching*. German.
- Lakhtin. 1977. *Engineering Physical Metallurgy*.
- Reed-Hill, Robert dan Reza Abbasian. 1994. *Physical Metallurgy Principles*. Boston.
- Rosenqvist, Terkel. 1983. *Principles Of Extractive Metallurgy*. Tokyo.
- R.K. Singh Raman. 1998. *Laser Raman spectroscopy: a technique for rapid characterisation of oxide scale layers*.
- William J Callister, jr. *Materials Science and Engineering Edisi VII*. Amerika.
- Wiliam.L.Robert. 1983. *Handbook Hot Rolling of Steel*.
- Zen, Hardi. 2001. *Pengaruh Temperatur Pemanasan Dan Pendinginan Terhadap Grain Size*.