



**PENGARUH VARIASI SUHU PADA PROSES SELF TEMPERING DAN VARIASI WAKTU TAHAN
PADA PROSES TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA AISI 4140**

*EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION IN PROCESS SELF TEMPERING AND VARIATION OF HOLDING
TIME IN TEMPERING PROCESS PROPERTIES OF STEEL AISI 4140*

Sunardi¹, Moh Fawaid², Desga H. N³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jalan Jenderal Sudirman
Km.3 Cilegon, 42435
fawaid80@gmail.com

Diterima: 28 Maret 2016. Disetujui: 29 April 2016. Dipublikasikan: 30 Juli 2016

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the mechanical properties of AISI 4140 steel by using a variation of the holding time at the tempering process and temperature variations on the process of self-tempering. In this study, first the material is heated at a temperature of 850° C with a hold time later at 14 and 28 minutes, Cooling media with Oil Type SAE 20 In the process of tempering steel is reheated to a temperature of 200° C with a hold time of 30 and 120 minutes. As for the process of self-tempering, the steel heated at 850° C with a hold time of 14 and 28 minutes and then cooled with SAE 20 oil media, during the process of cooling the temperature to be achieved is 200° C, 400° C and 600° C. The process of tempering with the variation of the holding time has a value of 50.1 HRC hardness largest holding time of 120 minutes, while the largest hardness value on the process of self tempering the temperature variation is 29.68 HRC at a temperature of 200° C. Largest toughness values during the tempering process is 0.341 (J/mm²) with a hold time of 120 minutes, while at the largest self-tempering toughness at a temperature of 600° C with a value of 0.375 (J / mm²). Largest corrosion rate during tempering is 0.055 (mpy) with a hold time of 30 minutes, whereas during the process of self-tempering largest corrosion rate at a temperature of 400° C with a value of 0.0388 (mpy).

Keywords: Process tempering, Self Tempering Process, AISI 4140.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanis pada baja AISI 4140 dengan proses *tempering* dengan variasi waktu tahan dan variasi suhu pada proses *self tempering*. Material terlebih dahulu dipanaskan pada suhu 850°C, di tahan dengan waktu 14 dan 28 menit, media pendinginan adalah Oli SAE 20. Pada proses *tempering* baja dipanaskan kembali dengan suhu 200°C di tahan dengan waktu 30 dan 120 menit. Sedangkan untuk proses *self tempering*, baja di panaskan pada suhu 850°C di tahan dengan waktu 14 dan 28 menit kemudian didinginkan, suhu yang harus dicapai pada pendinginan adalah 200°C, 400°C dan 600°C. Proses *tempering* dengan variasi waktu tahan mempunyai nilai kekerasan terbesar 50,1 HRC dengan waktu tahan 120 menit, sedangkan nilai kekerasan terbesar pada proses self tempering dengan variasi suhu adalah 29,68 HRC pada suhu 200°C. Nilai ketangguhan terbesar pada saat proses *tempering* adalah 0,341 (J/mm²) dengan waktu tahan 120 menit, sedangkan pada saat proses *self tempering* ketangguhan terbesar pada suhu 600°C dengan nilai 0,375 (J/mm²). Laju korosi terbesar pada saat tempering adalah 0,055 (mpy) dengan waktu tahan 30 menit, sedangkan pada saat proses *self tempering* laju korosi terbesar pada suhu 400°C dengan nilai 0,0388 (mpy).

Kata kunci: Proses tempering, Proses Self Tempering, AISI 4140.

PENDAHULUAN

Dunia industri dibidang perancangan dan *konstruksi* khususnya membutuhkan bahan-bahan yang mempunyai sifat-sifat yang lebih bagus dan lebih baik. Misalnya memiliki sifat mekanis seperti kekerasan, ketahanan aus, ketangguhan sehingga produk yang terbuat dari bahan tersebut awet, tahan aus, dan tahan korosi.

Roda gigi merupakan produk dari baja mempunyai peranan yang sangat penting. Penelitian dan pengembangan roda gigi terus dilakukan untuk menghasilkan produk yang baik, seringkali roda gigi mengalami kerusakan saat terjadi gesekan dan tekanan. Dalam upaya pengembangan sifat mekanis peneliti akan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) menggunakan *tempering* dengan variasi waktu tahan dan *self tempering* dengan variasi suhu pada baja dengan kadar karbon tingkat menengah.

Proses *Heat treatment* dilakukan dengan memanaskan baja. Perlakuan panas di beri waktu tahan tertentu sesuai dengan tebal benda kemudian didinginkan pada media pendingin tertentu. Untuk proses *tempering*, baja di panaskan kembali dengan suhu tertentu dan di tahan dengan waktu tertentu dengan mengabaikan tebal benda kemudian didinginkan diudara.

Tujuan perlakuan panas pada baja untuk meningkatkan sifat mekanisnya seperti kekerasan, keuletan, keausan sehingga baja tidak mudah terkorosi dan akan menghilangkan tegangan dalam (*internal stres*). Media pendingin, suhu yang digunakan perlu diperhatikan agar tujuan untuk memberikan sifat mekanis baja ini dapat tercapai.

LANDASAN TEORI

Baja AISI 4140

Baja paduan AISI 4140 adalah jenis baja paduan menengah dengan unsur tambahan *kromium* dan *molibdenum*. Baja jenis ini memiliki kandungan sekitar (0,36-0,44% C), (0,1-0,40% Si), (0,70-1,0% Mn), (0,9-1,20% Cr), (0,15-0,25% Mo). Baja AISI 4140 banyak digunakan dalam didunia industri, khususnya konstruksi dan perancangan membutuhkan bahan yang bagus dan lebih baik, di amerika biasanya diberikan penandaan dengan empat angka sistem AISI_SAE. Dua angka pertama memberitahukan kelompok unsur yang terkandung dalam baja dan dua angka terakhir memberitahukan persentase kandungan karbon di dalam baja tersebut.

Sifat Mekanis

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu.

Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut.

Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material

apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, keuletan leleh dan sebagainya.

Tempering

Proses temper adalah proses memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, duktilitas dan ketangguhan yang tinggi.

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan memudakan (tempering). Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur tempering (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses tempering kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (annealing) karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih

cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk sementit.

Menurut tujuannya proses tempering dibedakan sebagai berikut:

1. Tempering pada suhu rendah (150° s.d 300°C). Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.
2. Tempering pada suhu menengah (300° s.d 550°C). Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500°C pada proses tempering.
3. Tempering pada suhu tinggi (550° s.d 650°C). Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

Self Tempering

Tempering berdasarkan metode ini, terjadi karna panas yang terdapat dibagian dalam benda kerja, pada saat mendingin belum sempat mencapai temperatur kamar. Setelah diaustenisasi pada temperatur tertentu, benda kerja didinginkan dengan cara yang lazim ke dalam tangki *quench* sampai temperatur Ms atau temperatur sedikit di bawahnya tercapai. Benda kerja kemudian dikeluarkan dari tangki *quench* kemudian didinginkan di udara. Jadi tidak ada proses *temper*, namun panas yang tersisa di bagian dalam benda kerja secara bertahap

akan memanaskan permukaan hasil *quench* dan menemper *martensit* yang diperoleh pada saat *quench*.

Holding Time

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen, sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida kedalam *austenit* sehingga difusi karbon dan unsur paduannya. Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan. Sedangkan apabila waktu penahanan yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan.

Ketebalan benda uji sangat mempengaruhi pemberian waktu penahanan pada saat proses *austenisasi*. Secara matematis pemberian waktu penahanan terhadap ketebalan benda uji dapat ditulis pada persamaan 1 berikut (Krauss, 1986).

$$T = 1,4 \times H$$

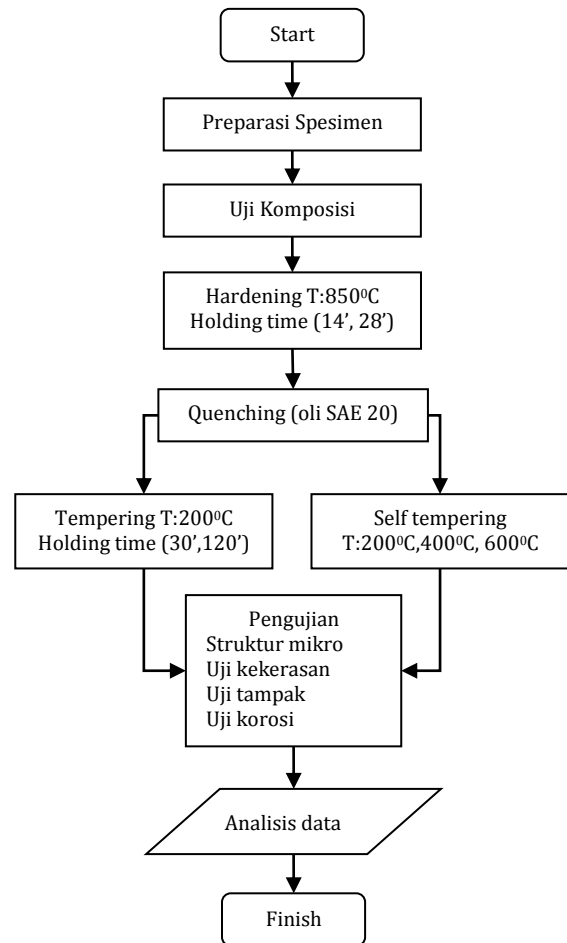
Keterangan:

T = waktu penahanan (menit)

H = tebal benda kerja (mm)

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan Penelitian

Benda uji

Proses pertama adalah mempersiapkan benda uji. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon menengah tipe AISI 4140 yang memiliki standar kadar karbon 0,38–0,43%, dan dibentuk sesuai dengan standar pengujian masing-masing. Untuk uji impak sampel dibentuk menurut standar ASTM E23-56T, untuk korosi sampel dibentuk menurut standar ASTM G 31, untuk uji kekerasan dan uji metalografi material berbentuk pejal berdiameter 30 mm, dan tebal 20 mm. Kemudian benda uji tersebut dihaluskan menggunakan ampelas.

Uji Komposisi

Uji komposisi merupakan pengujian kandungan kimia yang terdapat pada sebuah benda uji dan untuk mengetahui kadar

karbon yang terdapat pada benda uji tersebut. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 4140.

Proses hardening

Perlakuan panas dilakukan pada oven pemanas pada suhu 850°C dengan *holding time* 14 dan 28 menit sesuai dengan tebal material yang di uji karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan.

Quenching

Setelah material di panaskan sampai dengan suhu 850°C dan ditahan dengan waktu tertentu lalu diikuti dengan pendinginan yang cepat dengan media pendingin oli SAE 20W50 dengan cara mencelupkan material secara langsung kedalam bak quench yang berisi oli bertujuan agar pendinginan lebih cepat serta meningkatkan kekerasannya.

Proses Tempering dan self tempering

Proses tempering

Proses *tempering* adalah proses yang dilakukan untuk mengurangi tegangan-tegangan sisa akibat proses perlakuan panas dengan suhu yang tinggi dan membuat baja agar tidak rapuh. Proses ini dilakukan pada suhu 200°C dengan *holding time* 30 dan 120menit, yang diikuti dengan pendinginan diudara luar (alami).

Proses self tempering

Proses *self tempering* tujuannya sama dengan proses *Tempering* tetapi proses ini dilakukan sebelum proses *Quenching* mencapai temperatur kamar, ketika material di *quench* temperatur material tersebut di

ukur dengan menggunakan *thermo couple* dan pada saat material mencapai suhu $\pm 200^{\circ}\text{C}$, $\pm 400^{\circ}\text{C}$, $\pm 600^{\circ}\text{C}$ material tersebut diangkat dari bak quench dan didinginkan diudara. Sehingga panas yang tersisa secara otomatis dapat mentemper material itu sendiri.

Pengujian

Foto struktur mikro.

Foto struktur mikro dilakukan di lab metalurgi FT. Untirta. Sebelum melakukan foto mikro benda kerja dipoles. Pemolesan dilakukan dengan cara mengampelas bagian permukaan sampai halus, dengan ampelas 80, 120, 220, 320, 500, 1000 kemudian diautosol supaya mengkilap dan dicelup pada larutan etsa (2,5% HNO₃ dan 97,5% Alkohol) kurang lebih 5 detik kemudian dikeringkan setelah itu melakukan foto struktur mikro pada permukaan material.

Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan alat uji kekerasan *rockwell*, untuk mengetahui kekerasan material.

Pengujian ketangguhan

Pengujian ketangguhan merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pada pengujian ketangguhan ini alat uji yang digunakan adalah alat uji impak *charpi*. Pengujian ini dilakukan di lab metalurgi fakultas teknik untirta, dengan 3 sampel untuk masing-sampel perlakuan, menggunakan temperatur ruang.

Pengujian laju korosi

Pengujian korosi ini dilakukan dengan metode *imersi*, menggunakan konsentrasi larutan garam sebesar 5%.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia.

Unsur Kimia	Raw	Temper Hold 30 Menit	Temper Hold 120 Menit	Self Tempering Suhu 200	Self Tempering Suhu 400	Self Tempering Suhu 600
C	0,3975	0,4030	0,4309	0,4128	0,4357	0,4557
Mn	0,6815	0,7085	0,7113	0,6985	0,7006	0,7107
Si	0,2442	0,2187	0,2190	0,2173	0,2144	0,2209
P	0,0127	0,0122	0,0123	0,0114	0,0116	0,0130
S	0,0127	0,0098	0,0092	0,0093	0,0087	0,0109
Cr	0,0125	0,9877	0,9900	0,9806	0,9850	0,9902
Cu	0,9425	0,0117	0,0117	0,0105	0,0108	0,0115
Mo	0,0091	0,1599	0,1599	0,1573	0,1562	0,1913
V	0,0059	0,0054	0,0054	0,0052	0,0051	0,0054

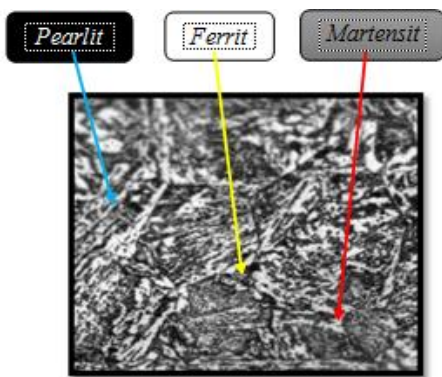
HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia

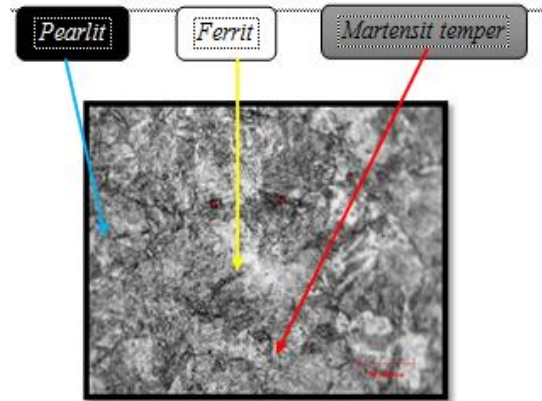
Untuk mengetahui kandungan kadar karbon dan kandungan kimia yang terdapat pada baja tersebut maka dilakukan uji komposisi, komposisi yang terdapat pada baja sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis baja seperti kekerasannya, keuletanya dan tingkat korosi. Hasil dari pengujian ini menunjukkan adanya perubahan kandungan kimia setelah mengalami perlakuan. Pada unsur karbon mengalami kenaikan setelah dilakukan perlakuan pada masing-masing material.

Foto Struktur Mikro

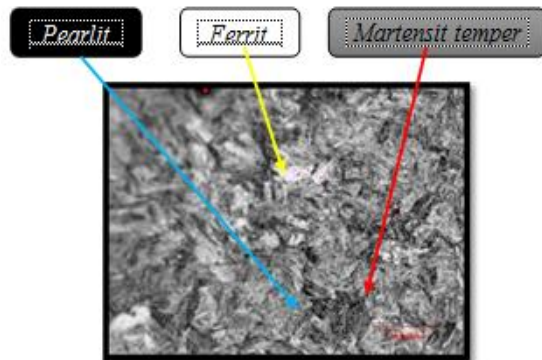
Foto struktur mikro pada logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskopik cahaya untuk mengambil gambar struktur dengan 500 kali pembesaran.



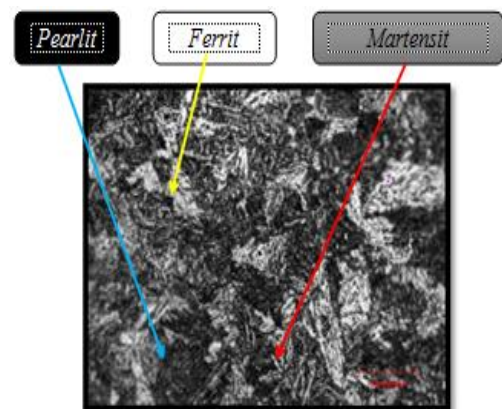
Gambar 2. Raw material



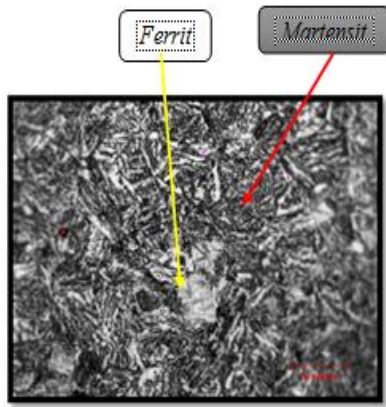
Gambar 3. Temper holding time 120 menit



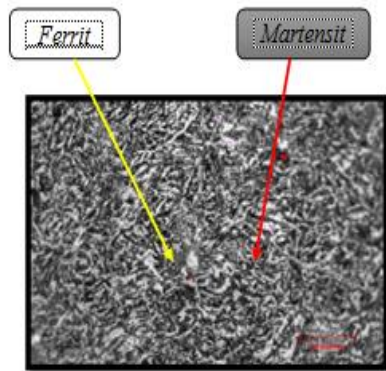
Gambar 4. Temper holding time 30 menit



Gambar 5. Self temper suhu 600°C



Gambar 6. Self temper suhu 400°C



Gambar 7. Sefl temper suhu 200°C

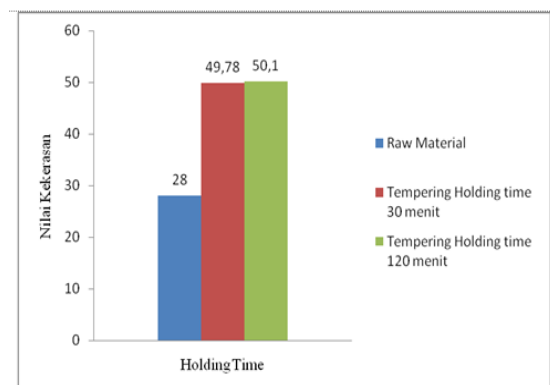
Hasil foto struktur mikro baja dengan *hardening* temperatur 850°C dan *quenching* dengan oli SAE 20 serta *tempering* 200°C dengan *holding time* 30 menit dan 120, struktur yang terbentuk berupa *martensit temper* yang berwarna abu-abu dan terdapat *ferrit* dan *pearlit* hasil pelepasan karbon. Untuk hasil foto *self tempering* 200°C, 400°C dan 600°C struktur yang terbentuk adalah berupa *martensit* dan *ferrit* yang menyebar.

Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *rockwell*. Dalam pengujian ini menggunakan pembebanan sebesar 150 kgf, setiap spesimen dikenai 5 titik injakan. Nilai kekerasan tertinggi pada proses *temper* terdapat pada sampel dengan *holding time* 120 menit sebesar 50,1 HRC. Sedangkan proses *temper* dengan *holding time* 30 menit mempunyai nilai kekerasan 49,78 HRC.

Untuk sampel yang sudah mengalami proses *temper* pada suhu 200°C dengan waktu tahan yang berbeda nilai kekerasan tertinggi didapat nilai rata-rata sebesar 50.1 HRC pada *holding time* 120 menit, kenaikan nilai kekerasan yang di alami sampel ini sebesar 78,9 % terhadap *raw material*. Sedangkan untuk *holding time* 30 menit nilai kekerasannya menjadi 49,79 HRC, jika dibandingkan dengan *raw material* kekerasan sampel ini naik 77,8 %.

Hasil pengujian kekerasan di atas dapat digambarkan dalam sebuah grafik hubungan seperti pada gambar 4.7.

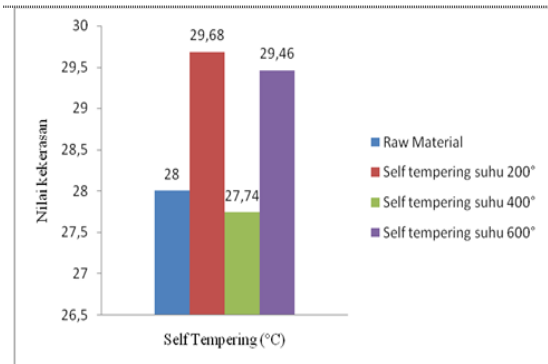


Gambar 8. Grafik hubungan antara nilai kekerasan raw material terhadap temper

Untuk proses *self temper* nilai kekerasan tertinggi terdapat pada suhu 200° dengan nilai kekerasan 29,46 HRC, nilai kekerasan untuk suhu 400° sebesar 27,74 HRC, nilai kekerasan suhu 200° sebesar 29,68.

Untuk sampel yang mengalami proses *self temper* kekerasan tertinggi terdapat pada suhu 200°C dengan nilai rata-rata 29,68 HRC, nilai kekerasannya naik 6% dari nilai kekerasan terhadap *raw material*, sedangkan pada suhu 400°C nilai rata-rata kekerasannya sebesar 27,74 HRC, kekerasannya turun terhadap nilai kekerasan dari *raw material*, untuk nilai kekerasan pada suhu 600° rata-ratanya sebesar 29,46 HRC, nilai kekerasannya naik 5.2% terhadap *raw material*.

Hasil pengujian kekerasan di atas dapat digambarkan dalam sebuah grafik hubungan seperti pada gambar 4.8.



Gambar 9. Grafik hubungan antara nilai kekerasan *raw material* terhadap *self temper*

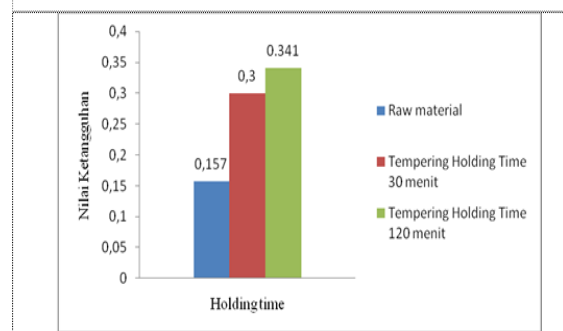
Uji Ketangguhan

Untuk mengetahui ketangguhan dari material baja AISI 4140 dilakukan uji impak pada material ini. Hasil pengujian impak adalah parameter ketangguhan material. Standar pengujian yang dipakai dalam pengujian ini adalah ASTM E23-56T.

Pada pengujian ini sampel *raw material*, hasil proses *quenching oli SAE 20 temper 200°C* dengan holding time 30 dan 120 menit, dan *quenching oli SAE 20 self temper 200°C, 400°C, 600°C*. Masing-masing sampel dilakukan dengan tiga kali pengujian

Untuk *raw material* mempunyai nilai ketangguhan 0,157 (J/mm²), sementara material yang telah mengalami proses *temper* pada suhu 200°C dengan *holding time* 120 menit mengalami peningkatan sebesar 117,2% menjadi 0,341 (J/mm²), sedangkan material yang telah mengalami proses *temper* pada suhu 200°C dengan *holding time* 30 menit mengalami kenaikan sebesar 91,08% menjadi 0,3 (J/mm²) terhadap *raw material*.

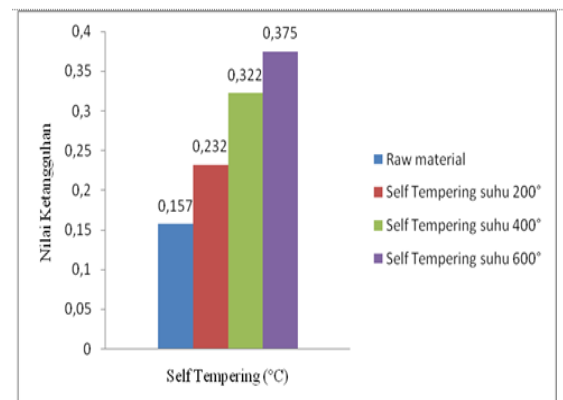
Hasil pengujian ketangguhan dapat digambarkan dalam sebuah grafik seperti pada gambar 4.9.



Gambar 10. Grafik hubungan antara nilai ketangguhan *raw material* terhadap perbedaan temper

Sampel yang mengalami proses *self temper* memiliki nilai ketangguhan yang tertinggi pada suhu 600°C naik sebesar 138% menjadi 0,375 (J/mm²) terhadap *raw material*. Sedangkan pada suhu 400°C nilai ketangguhannya naik sebesar 105,09% menjadi 0,322 (J/mm²) terhadap *raw material*, untuk suhu 200°C ketangguhannya naik sebesar 47,7% menjadi 0,232 (J/mm²) terhadap *raw material*.

Hasil pengujian ketangguhan dapat digambarkan dalam sebuah grafik seperti pada gambar 4.10.



Gambar 11. Grafik hubungan antara nilai ketangguhan *raw material* terhadap perbedaan

Uji Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan metode *imersi*. Dalam pengujian ini standar pengujian yang dipakai adalah ASTM G31 menggunakan larutan garam dengan konsentrasi sebesar 5%.

Untuk sampel *raw material* mempunyai laju korosi sebesar 0,222 (mpy), untuk

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

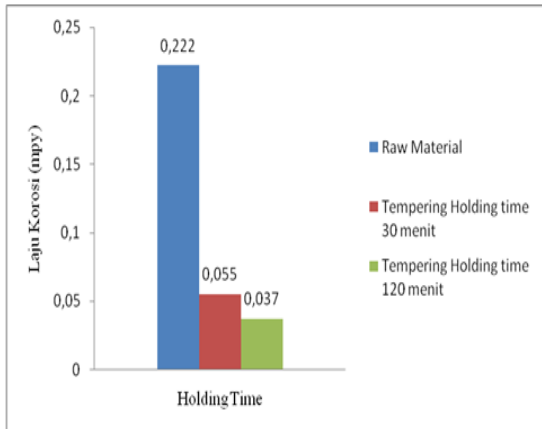
1. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada proses *temper* dengan *holding time* 120 menit senilai 50,1 RHN. Sedangkan pada proses *self temper* kekerasan tertinggi dicapai pada suhu 200°C senilai 29,68 RHN. Dengan kekerasan *raw material* senilai 28 RHN.
2. Nilai ketangguhan pengujian impak tertinggi terjadi pada proses *self temper* pada suhu 200°C senilai 0,375 (J/mm²). Sedangkan untuk proses *temper* pada suhu 200°C dengan waktu tahan 120 menit senilai 0,341 (J/mm²). Dengan nilai *raw material* 0,157 (J/mm²).
3. Laju korosi tertinggi terdapat pada sampel dengan proses *self temper* suhu 400°C dengan laju korosi sebesar 0,388 (mpy). Sedangkan pada proses *temper* 200°C laju korosi tertinggi didapat pada sampel dengan *holding time* 30 menit senilai 0,055 (mpy). Dengan nilai *raw material* 0,222 (mpy).

Saran

1. Untuk proses pemotongan material sebaiknya menggunakan pendingin agar material tidak mengalami perubahan struktur.
2. Pada proses *self tempering* sebaiknya jangan menggunakan suhu terlalu dekat dengan suhu saat proses *hardening*, karena untuk mencapai suhu tersebut perlu ketepatan waktu dan perhitungan suhu pada saat quenching.
3. Proses uji korosi hanya menggunakan metode imersi. Untuk mengetahui

sampel yang telah *temper* pada suhu 200°C dengan *holding time* 30 menit mempunyai laju korosi sebesar 0,055 (mpy), sedangkan sampel dengan *holding time* 120 menit mempunyai laju korosi sebesar 0,037 (mpy).

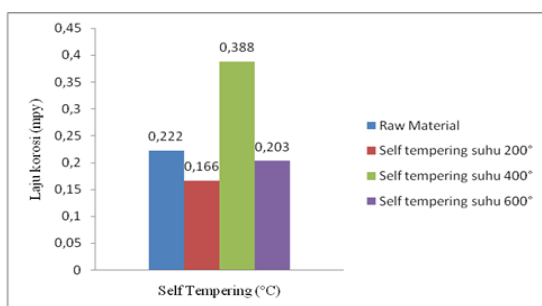
Hasil pengujian ketangguhan dapat digambarkan dalam sebuah grafik seperti pada gambar 4.11.



Gambar 12. Grafik hubungan antara nilai laju korosi raw material terhadap perbedaan temper

Untuk sampel yang mengalami proses *self temper* laju korosi terbesar terdapat pada suhu 400°C dengan laju korosi sebesar 0,388 (mpy), nilai laju korosinya sebesar naik 74,7% terhadap *raw material*, sedangkan pada suhu 200°C laju korosinya sebesar 0,166 (mpy), laju korosinya turun terhadap *raw material*, untuk laju korosi pada suhu 600° nilainya sebesar 0,203 (mpy).

Hasil pengujian ketangguhan dapat digambarkan dalam sebuah grafik seperti pada gambar 4.12.



Gambar 13. Grafik hubungan antara nilai laju korosi raw material terhadap perbedaan self temper

perbedaan tingkat korosinya hendaknya menggunakan metode yang lain sebagai pembandingan.

Daftar Pustaka

- ASM Hand Book Volume 4, (1991), *heat treating*: ASM Handbook Committee.
- ASM Hand Book Volume 9. 1992. *Metallography and Microstructures*: ASM Handbook Committee.
- Anggono, W., Siahaan, I. H., Cahyono, A. D. *Proses Tempering Baja AISI 4140 Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Roller Cylo Speed Reduce*, Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra.
- Fitra AO, 2013. *Studi Eksperimental Umur Lelah Baja JIS S45C Hasil Proses Pack Carburizing Dengan Variasi Kekasaran Permukaan Pada Rotating Bending Test*, Skripsi, Untirta, Cilegon.
- Kern DQ, 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill, Japan.
- Popov E, 1984, *Mekanika Teknik*, Erlangga, Jakarta.
- Rahadian MR, 2013, *Pengaruh Tempering dan Self Tempering Terhadap Sifat Fisis dan Sifat Mekanis pada Baja AISI 4140*, Skripsi, Untirta, Cilegon.
- Van Vlack LH, 1982, *Bahan untuk Rekayasa*, Addison-Wesley Publishing Co, Inc.