

PENGARUH PERLAKUAN TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK BAJA JIS G 4051 S15C SEBAGAI BAHAN KONSTRUKSI

Purnomo^{*)}

Abstrak

Baja karbon rendah JIS G 4051 S 15 C banyak digunakan untuk bagian-bagian konstruksi dan dalam penggunaannya baja jenis ini banyak mengalami beban kejut, sehingga memiliki ketahanan benturan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan ketangguhan baja JIS G 4051 S 15 C melalui perlakuan *heat treatment*. Baja JIS G 4051 S 15 C yang telah diuji komposisi kimianya diberi perlakuan panas *hardening* pada tempertaur 900°C kemudian dilakukan *holding time* hingga 30 menit. Pendinginan dilakukan melalui tiga media pendingin, yaitu oli, air dan udara. Masing-masing benda uji yang telah mengalami pendinginan tersebut, kemudian diberi perlakuan *tempering* hingga 500°C dengan *holding time* 30 menit. Setelah perlakuan panas, dilakukan pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan dan pengujian impak. Uji kekerasan dilakukan dengan metode vickers dengan beban indentasi 5 kg lama indentasi 30 detik. Pengamatan struktur mikro bahan menggunakan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan, setelah proses *hardening* pada benda uji dengan pendinginan celup air dan oli, nilai kekerasan bahan meningkat dari nilai kekerasan bahan sebelum/tanpa *treatment*. Tetapi mengalami penurunan nilai kekerasan setelah benda tersebut diberi perlakuan *tempering*. Penurunan kekerasan ini menyebabkan meningkatnya nilai keuletan bahan yang ditandai dengan meningkatnya nilai energi impak hasil pengujian impak pada bahan tersebut.

Pendahuluan

Pada baja karbon rendah JIS G 4051 S 15 C mengandung unsur-unsur pemadu utama seperti : 0.15% C, 0.157% Si, 1.2% Mn, 0.01% P, 0.02% S. Baja jenis ini banyak digunakan untuk bagian-bagian konstruksi seperti: mesin, jembatan, pagar, rangka atap dan lain-lain.

Pada operasionalnya baja ini mengalami beban kejut, sehingga baja ini harus benar-benar memiliki kekerasan dan ketahanan benturan yang baik. Berdasarkan penggunaannya baja jenis ini dikembangkan dengan tujuan untuk memiliki sifat mekanik terutama kekerasan, kekuatan dan ketangguhan yang baik. Baja JIS G 4051 S 15 C termasuk baja karbon rendah yang bisa di rubah bentuknya dan bersifat lunak. Apabila baja tersebut di panaskan kemudian dicelupkan dengan cepat maka akan menyebabkan peningkatan kekerasan dan kegetasan bahan tersebut sehingga dapat membahayakan pada penerapannya di konstruksi.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan ketangguhan baja JIS G 4051 S 15 C melalui perlakuan *heat treatment*. Penelitian ini sangat diperlukan mengingat baja jenis ini digunakan secara luas sebagai bahan konstruksi.

Baja JIS G 4051 S 15 C merupakan baja karbon dengan unsur utama Fe dan C sehingga pada baja tersebut berlaku hukum keseimbangan fasa Fe-C.

Struktur ferit dan perlit dalam baja seperti yang ditunjukkan dalam diagram fasa besi

^{*)} Dosen Jurusan S-1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

karbon merupakan fasa-fasa yang setimbang yang dicapai melalui proses pendinginan secara perlahan-lahan. Struktur ferit memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup, sedangkan struktur perlit mempunyai sifat yang lebih keras dan kurang ulet. Perbedaan sifat mekanis tersebut disebabkan karena kelarutan kadar karbon dalam fasa ferit lebih rendah jika dibandingkan dalam fasa perlit. Terbentuknya fasa ferit+perlit adalah bentuk fasa yang diharapkan dalam pengelasan baja karena sifat dari struktur ini yang cukup ulet dan tidak terlalu sulit untuk menghasilkan struktur fasa jenis ini. Disamping itu fasa ini juga mampu untuk dikeraskan lebih lanjut jika memang diinginkan.

Tujuan penambahan elemen-elemen pepadu kedalam baja karbon dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis pada produk akhir seperti yang diinginkan yang tidak dimiliki oleh baja bila diproses secara standar.

1. Karbon (C)

Sampai dengan 1,2 % karbon dalam besi menaikkan kekuatan dan kekerasan baja tetapi keuletannya akan menurun.

2. Silikon (Si)

Unsur ini ditambahkan ke semua baja sebagai elemen deoksidasi. Dapat menaikkan kekuatan baja tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan (berfungsi sebagai penyetabil sementit).

3. Mangan (Mn)

Unsur ini dapat berfungsi sebagai deoksidasi dari baja selain itu Mn juga mengikat Sulfur (S) dengan membentuk senyawa MnS yang titik cairnya lebih tinggi dari titik cair baja.

4. Molibdenum (Mo)

Unsur ini dapat menguatkan fasa ferit dan menaikkan kekuatan aja tanpa kehilangan keuletan dan juga dapat berfungsi sebagai penyetabil karbida sehingga mencegah pembentukan grafit pada pemanasan yang lama. Karena itu penambahan Mo ke dalam baja dapat menaikkan kekuatan dan ketahanan creep pada suhu tinggi.

5. Chrom (Cr)

Unsur ini dapat menaikkan ketahanan korosi dan oksidasi, disamping itu juga meningkatkan kekuatan pada suhu tinggi dan sifat-sifat creep.

6. Nikel (Ni)

Menaikkan ketangguhan atau ketahanan terhadap beban benturan.

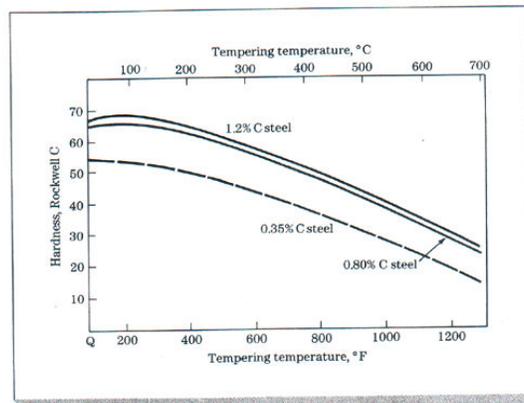
7. Wolfram (W)

Dapat membentuk karbida yang stabil dan sangat keras sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan creep dari baja dalam penggunaan pada suhu tinggi .

8. Vanadium (V)

Bekerja sebagai deoksidasi terhadap baja seperti halnya aluminium dan dapat membentuk karbida yang keras sehingga menaikkan kekuatan tarik creep dari baja pada suhu tinggi.

Disamping penambahan unsur-unsur di atas, sifat mekanik baja juga dapat ditingkatkan dengan perlakuan panas dan pendinginan yang tepat. Pada proses *hardening* merupakan perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan merubah struktur baja sedemikian rupa sehingga diperoleh struktur yang keras, melalui pemanasan sampai temperatur 770–830⁰C kemudian dilakukan *holding time* beberapa saat untuk meratakan suhu keseluruhan bagian yang selanjutnya didinginkan secara cepat. Dengan pendinginan yang cepat tak ada waktu yg cukup bagi austenit untuk berubah menjadi pearlit dan ferit atau pearlit dan sementit, pendinginan yang cepat menyebabkan austenit berubah menjadi martensit. Pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan sangat diperlukan untuk menghilangkan tegangan dalam dan mengurangi kekerasan. Efek temperatur tempering pada kekerasan baja karbon ditunjukkan pada Gambar 1. Sedangkan proses pendinginan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Kekerasan besi-baja martensit (0,35-1,2%C) di temper 1 jam (After E. C. Bain and H. W. Paxton. "Alloying Elements in Steel," 2d ed. American Society for Metals, 1966, p.38)

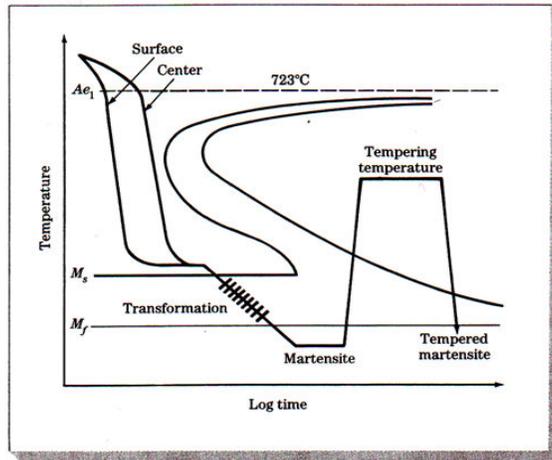
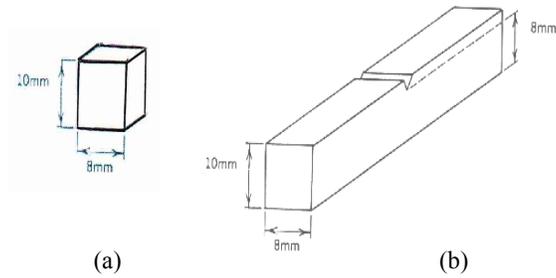


Diagram 2. Kurva pendinginan untuk martempering. (After "Metals Handbook", vol.2, 8th ed. American Society for Metals, 1964, p.37.)

Metode Penelitian

Baja JIS G 4051 S 15 C diuji komposisi kimianya dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) yang dilengkapi dengan sistem komputerisasi. Langkah selanjutnya adalah perlakuan panas *hardening* pada temperatur 900°C kemudian dilakukan *holding time* hingga 30 menit. Pendinginan dilakukan melalui tiga media pendingin, yaitu oli, air dan udara. Masing-masing benda uji yang telah mengalami pendinginan tersebut, kemudian diberi perlakuan *tempering* hingga 500°C dengan *holding time* 30 menit.

Setelah benda uji mendapat perlakuan panas, dilakukan pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan dan pengujian impact. Pengamatan struktur mikro bahan setelah dilakukan *heat treatment* menggunakan microscope optic. Pengujian kekerasan dilakukan dengan uji kekerasan Vickers dengan beban indentasi 5 kg dan lama indentasi 30 detik. Pengujian impact dilakukan dengan standard Charphy. Pengujian kekerasan dan impact dilakukan terhadap benda uji yang telah diberi perlakuan panas (*hardening* dan *tempering*) dan juga benda uji yang tidak diberi perlakuan panas.



Gambar 3. Benda uji (a) benda uji kekerasan
(b) benda uji impak

HASIL DAN PEMBAHASAN

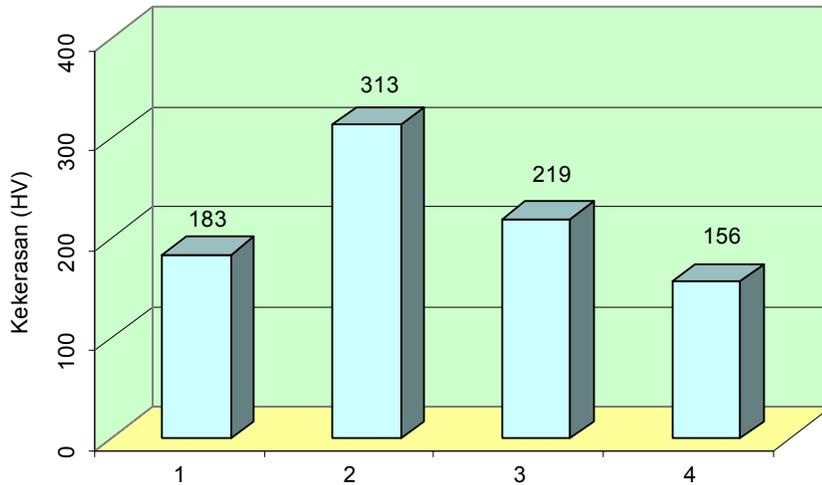
Hasil Uji Komposisi Kimia

Komposisi kimia pada baja JIS G 4051 S 15 C hasil pengujian adalah 0.15343% C, 0.15795% Si, 0.0203% S, 0.0145% P, 0.28029% Mn, 0.01918% Ni, 0.02659% Cr, 0.00009% Mo, 0.00232% V, 0.0255% Cu, 0.00209% W, 0.00166% Ti, 0.00171% Sn, 0.02806% Al, 0.03537% Nb, 0.00005% Zr, Zinc (Zn) 0.00035%Zr dan 98.2322%Fe. Dari komposisi tersebut terlihat jelas bahwa baja JIS G 4051 S 15 C adalah baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0.15343%.

Baja JIS G 4051 S 15 C, termasuk dalam golongan baja karbon rendah, dengan kadar karbon 0.15343% dan unsur paduan utamanya adalah karbon , Silicon dan Mangan.

Hasil Uji Kekerasaan

Hasil pengujian kekerasan bahan setelah proses *heat treatment* dan kemudian didinginkan pada berbagai media pendinginan ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

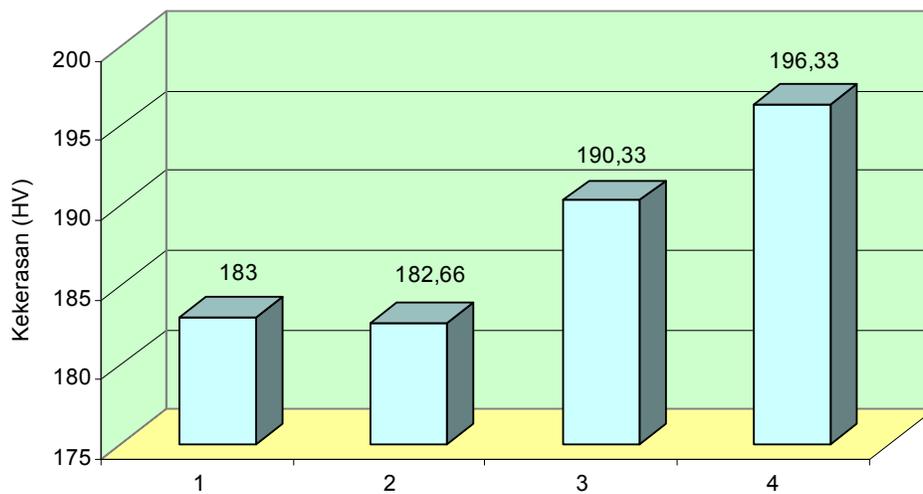


Gambar 4. Grafik kekerasan bahan uji pada berbagai media pendinginan setelah proses hardening

Keterangan gambar:

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1 : Material awal | 3 : Pendinginan oli |
| 2 : Pendinginan air | 4 : Pendinginan udara |

Pada Gambar 4 terlihat bahwa benda kerja yang diberi treatment *hardening* dan diberi pendinginan cepat dengan cara dicelupkan ke air, memiliki tingkat kekerasan tertinggi. Pada benda yang mendapat treatment dan pendinginannya dibiarkan di udara bebas memiliki kekerasan akhir dibawah nilai kekerasan benda awal (tanpa *treatment*)

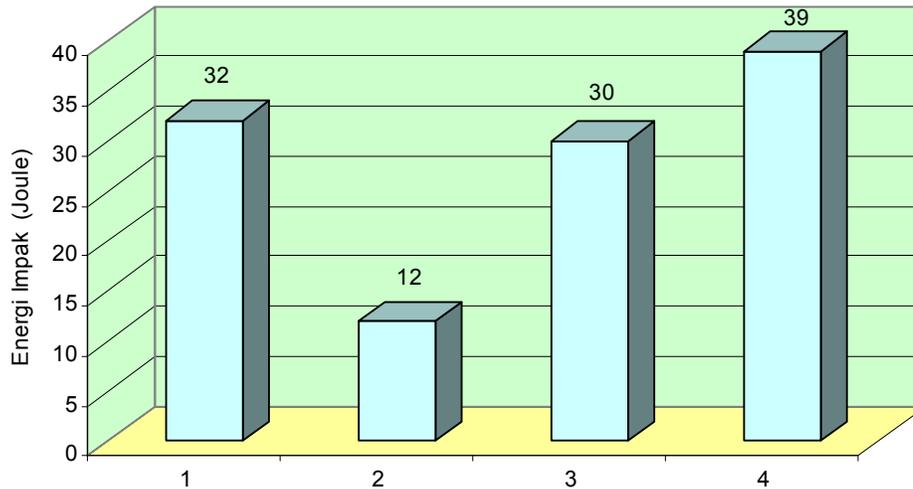


Gambar 5. Grafik kekerasan bahan uji pada berbagai media pendinginan setelah proses tempering

Gambar 5 memperlihatkan kondisi kekerasan bahan setelah dilakukan proses tempering dan didinginkan dengan berbagai media pendingin. Pada gambar tersebut terlihat bahwa benda uji yang didinginkan di udara bebas memiliki kekerasan akhir yang tertinggi di atas kekerasan awal dibandingkan dengan benda uji yang lainnya. Benda uji dengan pendinginan air memiliki kekerasan akhir lebih rendah dibandingkan kekerasan benda tanpa *treatment*.

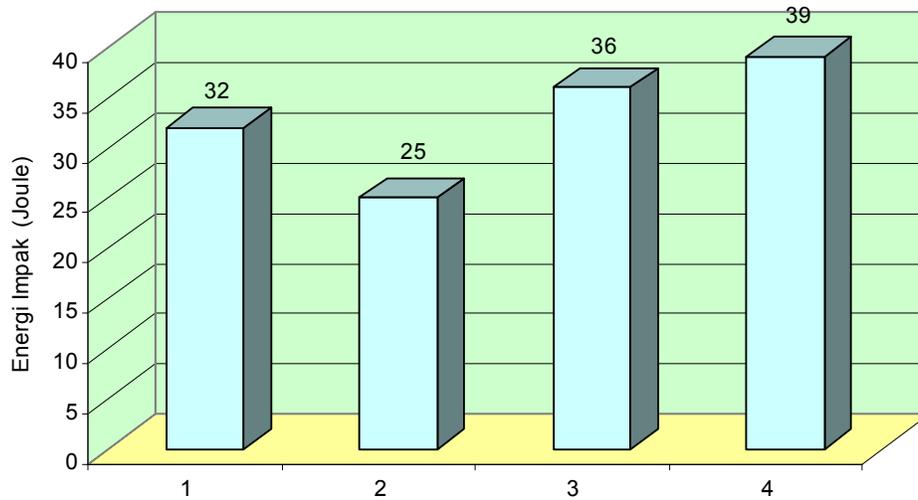
Hasil Pengujian Impak

Data besarnya energi impak hasil pengujian impak pada benda uji dengan luas penampang uji 64 mm^2 diperlihatkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Energi Impak pada bahan uji setelah di hardening dan dilakukan pendinginan pada berbagai media.

Gambar 6 memperlihatkan besarnya energi impak hasil pengujian. Terlihat bahwa pada bahan uji dengan pendinginan udara memiliki energi impak tertinggi, sedangkan pada pendinginan celup air memiliki energi impak terendah bahkan lebih rendah dari pada energi impak benda awal (tanpa *treatment*).

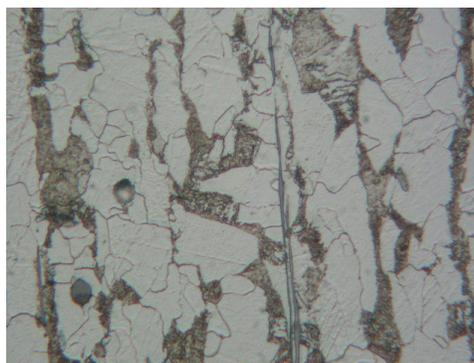


Gambar 7. Energi Impak pada bahan uji setelah di hardening dan dilakukan pendinginan pada berbagai media.

Energi impak bahan pada bahan setelah dilakukan tempering diperlihatkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut diperlihatkan bahwa bahan tidak ada perubahan energi impak pada bahan yang didinginkan di udara bebas, sedangkan pada bahan yang dicelup ke dalam air dan oli mengalami kenaikan energi impak bila dibandingkan terhadap bahan setelah dihardening.

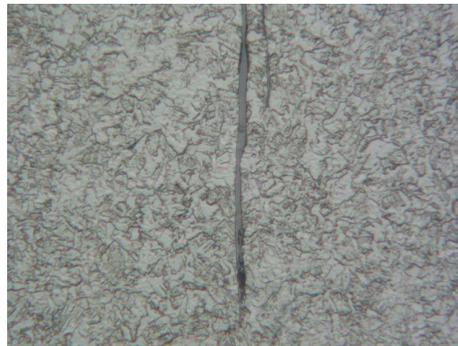
Hasil Foto Struktur Mikro

Hasil pengujian metallografi pada setiap benda uji antara benda uji yang di hardening dan di tempering, terlihat pada Gambar 8 hingga Gambar 11.

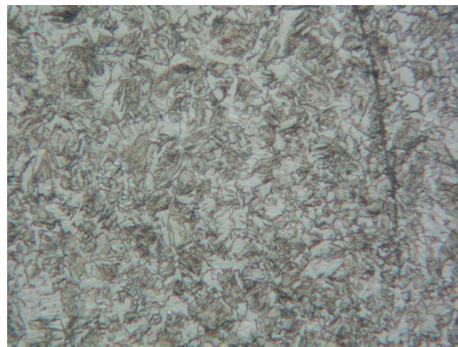


Gambar 8. Struktur mikro benda original,dietsa Nital 2% (1000X)

Foto metallografi pada material *non heat treatment* dengan sisi bagian samping dan posisi tegak lurus akan terlihat struktur ferrit dan perlit, dimana struktur ferrit adalah merupakan kristal besi murni.. Ferrit merupakan bagian baja yang paling lunak dan ferrit murni tidak cocok jika digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban tinggi karena kekuatannya kecil. Sedangkan perlit adalah campuran khusus terdiri dari dua fasa dan terbentuk sewaktu austenit dengan komposisi eutektetoid bertransformasi menjadi kristal ferit halus dan kristal sementit halus, dimana struktur perlit terdiri dari pelat-pelat/lamel ferit dan sementit yang tersusun berdampingan.

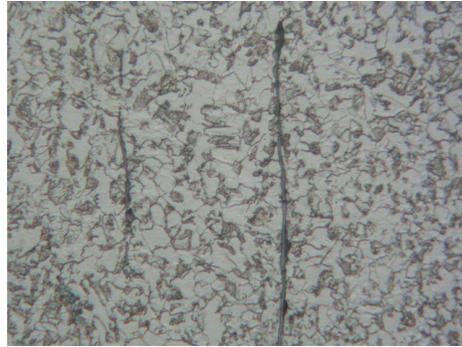


(a)



(b)

Gambar 9. Struktur benda uji dicelup dalam air, dietsa Nital 2%, (a) tempering (b) hardening. (1000X).

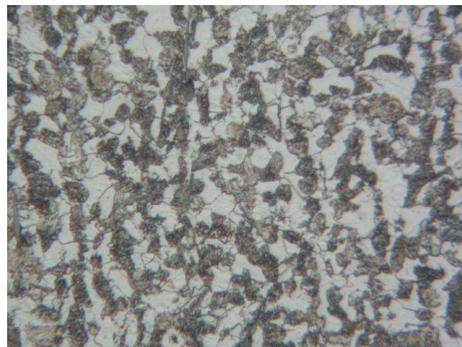


(a)

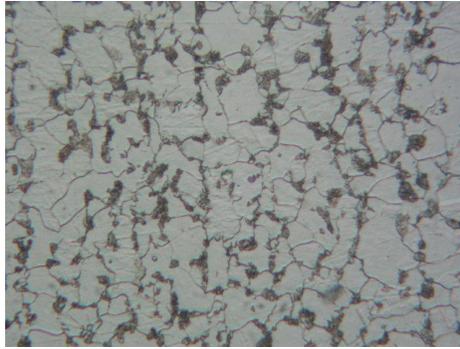


(b)

Gambar 10. Struktur mikro benda uji dicelup dalam oli, dietsa Nital 2%, (a) tempering (b) hardening. (1000X)



(a)



(b)

Gambar 11. Struktur mikro benda uji pendinginan udara bebas, dietsa Nital 2%, (a) tempering (b) hardening. (1000X)

Dari setiap foto metallografi benda uji yang dilakukan proses hardening dengan temperatur 900°C , holding time 30 menit yang media pendinginannya air, oli, maupun udara yang dilanjutkan proses tempering dengan temperatur temper 500°C , holding time 30 menit tidak ada struktur lain selain perlit dan ferrit. Yang terlihat hanya perubahan struktur perlit yang menggumpal menjadi butiran-butiran kasar, sehingga perlit lebih banyak dibandingkan dengan ferrit dan itu terjadi pada struktur mikro benda uji yang di hardening pendinginan udara yang dilanjutkan dengan tempering. Pada pendinginan media oli butiran perlit lebih halus sedangkan pada pendinginan air struktur ferrit lebih banyak dibandingkan perlit. Pada pendinginan yang cepat tidak ada waktu untuk pemisahan karbon dimana kristal austenit (FCC) tanpa memisahkan karbon berubah menjadi kristal ferrit (BCC).

Pembahasan

Kadar karbon baja JIS G 4051 S 15 C sebesar 0.15343 % dalam besi, baja jenis ini berpotensi untuk ditingkatkan kekuatan dan kekerasannya.

Pada benda uji yang pendinginannya dicelup pada air dan oli, nilai kekerasan bahan meningkat dari nilai kekerasan bahan sebelum/tanpa *treatment*. Terjadinya peningkatan nilai kekerasan ini disebabkan terjadinya perubahan struktur perlit yang menggumpal menjadi butiran-butiran kasar, sehingga perlit lebih banyak dibandingkan dengan ferrit. Berbeda halnya dengan nilai kekerasan bahan uji yang didinginkan di udara bebas. Bahan ini mengalami penurunan nilai kekerasan dari nilai awal sebelum di hardening. Hal ini dapat dijelaskan dengan mengamati hasil foto mikro pada bahan tersebut. Pada Gambar 11(b) terlihat struktur mikro bahan setelah hardening yang didinginkan di udara bebas, mengalami

penyebaran perlit yang menjadi butiran yang kecil-kecil dan jumlahnya lebih rendah dari ferrit. Sedangkan pada struktur mikro bahan awal (Gambar 8) terlihat dimana struktur perlit terdiri dari pelatpelat/lamel ferrit dan sementit yang tersusun berdampingan.

Pada pendinginan celup air dan oli, kekerasan bahan setelah perlakuan *tempering* mengalami penurunan dari harga kekerasan bahan sebelumnya (setelah *hardening*), tetapi nilai kekerasannya masih di atas kekerasan bahan awal (tanpa *treatment*). Penurunan kekerasan ini menyebabkan meningkatnya nilai keuletan bahan yang ditandai dengan meningkatnya nilai energi dampak hasil pengujian dampak pada bahan setelah bahan tersebut diberi *treatment* tempering. Struktur mikro bahan ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan struktur perlit yang menggumpal menjadi butiran-butiran yang lebih besar, tetapi jumlahnya tetap lebih banyak dibandingkan dengan ferrit. Struktur ini yang menyebabkan nilai kekerasan bahan setelah proses tempering mengalami penurunan, namun tetap di atas kekerasan bahan tanpa *treatment*.

Pada pengujian kekerasan bahan setelah proses tempering dengan pendinginan di udara bebas, terjadi peningkatan jumlah perlit dalam bahan. Peningkatan perlit ini mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan bahan dari kekerasan sebelumnya (156 HV menjadi 196,33 HV), tetapi peningkatan ini tidak diiringi dengan penurunan energi dampak bahan.

Kesimpulan

Baja JIS G 4051 S 15 C dapat ditingkatkan ketangguhannya dengan perlakuan panas *hardening* pada temperatur 900°C kemudian dilakukan *holding time* hingga 30 menit, kemudian dilanjutkan dengan perlakuan *tempering* hingga 500°C dengan *holding time* 30 menit. Ketangguhan maksimum pada penelitian ini diperoleh pada pendinginan udara bebas, yaitu pada energi dampak 39 Joule atau 0,61 Joule/mm². Energi dampak bahan sebagai parameter ketangguhan bahan meningkat 22% dari nilai awal 32 Joule atau 0,5 Joule/mm².

Daftar Pustaka

- Albert.,G, 1999, *Element of Physical Metallurgy*. 2nd edition, Addison-Wesley Publishing Company INC, Massachusetts, U.S.A
- Avner., S.H., 1974, *Introduction to Physical Metallurgy*. 2nd edition, McGraw Hill International Book Company, New York, U.S.A.
- Callister,WD., 2001, *Fundamentals of material science and Engineering*. McGraw-Hill, New York

Dieter, G.E., 1998, "*Metalurgi Mekanik*". Terjamah Sriati Djaprie, Edisi ketiga, Jilid 1 dan 2, Penerbit Erlagga.

Sinha, 2003, *Phisical Metallurgy Handbook*, McGraw-Hill, New York

Smith. WF., 1993, *Principles of Materials Science and Engineering*. 3th edition, McGraw Hill International Book Company, New York, U.S.A.