

**STUDI EFEK *WORK HARDENING* MELALUI PENUMBUKAN
PADA BAJA MANGAN AUSTENITIK SCMnH 11**

Juliana Anggono* dan Limawan⁺

Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra
Jalan Siwalankerto 142-144, Surabaya 60236
Phone: 031-298 3467, Fax: 031-8417658
E-mail : julianaa@peter.petra.ac.id*

ABSTRAK

Baja mangan austenitik adalah jenis baja yang memiliki ketahanan terhadap keausan dan beban mekanis sehingga aplikasinya banyak dimanfaatkan untuk peralatan-peralatan yang mengalami beban dampak yang besar dan keausan tinggi, seperti stone crusher, hammer mill, dan rail crossing.

Baja mangan yang diteliti dalam studi ini adalah tipe SCMnH 11 hasil solution annealing pada temperatur 1100°C dan waktu tahan 30 menit dan di-quench dalam air sehingga dihasilkan nilai kekerasan 18 HRC. Hasil metalografi menunjukkan struktur mikro yang diamati setelah solution annealing tidak lagi dijumpai karbida pada batas butir austenit karena sudah terlarut dalam fasa austenit selama proses solution annealing pada temperatur 1100°C.

Efek work hardening dipelajari melalui uji kekerasan Rockwell C dan uji keausan setelah spesimen baja mangan mengalami proses penumbukan menggunakan batangan besi seberat 7 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 150 cm. Tumbukan pada permukaan spesimen yang berbentuk silindris Ø 30 mm dan tebal 25 mm dilakukan berulang kali dalam kelipatan 500 kali, yaitu 500 kali, 1000 kali, dan 1500 kali.

Tumbukan yang diberikan memberikan kenaikan kekerasan karena kapasitas work hardening yang dimilikinya besar. Tumbukan berenergi 145,6 kJ/m² menyebabkan peningkatan kekerasan sebesar 32,2 HRC pada tumbukan 500 kali, menjadi 33,9 HRC pada tumbukan 1000 kali, dan pada tumbukan 1500 kali, nilai kekerasannya meningkat menjadi 34,1 HRC. Uji keausan yang dilakukan pada spesimen hasil tumbukan dengan memberikan beban 9,8 N pada putaran sebuah gerinda sebesar 125 rpm selama 2000 putaran mendukung hasil uji kekerasan di atas. Hasil uji keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan berat spesimen setelah pengujian. Kehilangan berat terbanyak, yaitu 1,020 g ditemui pada sampel dengan tumbukan 500 kali dan paling sedikit pada sampel dengan tumbukan 1500 kali, yaitu 0,817 g.

Kata-kata kunci: solution annealing, baja mangan austenitik (baja mangan austenitik), work hardening, tumbukan.

* Dosen tetap Jurusan Teknik Mesin – U. K. Petra, diskusi disampaikan via email: julianaa@peter.petra.ac.id; telp: (031) 298 3467; fax: (031) 849 1215.

⁺ Alumni Jurusan Teknik Mesin – U. K. Petra.

1. Pendahuluan

Baja mangan *austenitik*, yang dikenal sebagai Hadfield *manganese steel* adalah baja yang tangguh, bersifat non magnetik, merupakan paduan Fe-C-Mn yang berguna untuk aplikasi kombinasi abrasi dan impak yang tinggi. Nama Hadfield diberikan atas nama pembuatnya, yaitu Robert Hadfield (1858-1940) yang membuatnya pada tahun 1882 dengan komposisi 1.2% C dan 12% Mn. Kandungan Mn dalam baja meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja meski pengaruhnya tidak sebesar C. Sifatnya yang tangguh dan ulet disertai dengan kapasitas *work hardening* dan ketahanan aus yang tinggi, membuat baja paduan ini banyak dijumpai aplikasinya pada pertambangan (*rock crushers, grinding mill*), pengeboran minyak, pembuatan baja, rel kereta api, serta bak pengeruk pada alat berat, dan pompa. Gambar 1 menunjukkan beberapa aplikasi baja mangan austenitik. Gambar 2 menunjukkan helm yang dibuat dari baja mangan austenitik untuk para prajurit Inggris pada perang dunia I setelah diuji impak.



a)



b)



c)

Gambar 1 Beberapa aplikasi baja mangan a) *jaw plates* terbuat dari 12-14% Mn ⁽¹⁾, b) *roller shells* dari *manganese steel casting* 12-14% Mn ⁽²⁾, dan c) aplikasi *scissor crossover* pada rel kereta api. ⁽³⁾



Gambar 2 Helm prajurit Inggris hasil Perang Dunia I yang dibuat dari baja mangan setelah dilakukan uji impak dan menunjukkan *stiffness* yang baik. ⁽⁴⁾

Tabel 1 menunjukkan berbagai jenis penggunaan baja mangan sesuai dengan simbol menurut standard JIS. ⁽⁵⁾

Standard ASTM A-128-64 yang membahas tentang baja mangan ⁽⁶⁾ memberikan komposisi kimia dengan kandungan 1.0-1.4 %C dan 10-14 %Mn. Namun demikian paduan baja mangan komersial dengan kandungan Mn >13% jarang digunakan karena masalah biaya. Selain itu *work hardening* mencapai maksimum pada kandungan Mn 13% dengan kadar C sebesar 1.15%. ⁽⁷⁾ Pada penelitian ini digunakan baja mangan SCMnH 11 dengan kadar C 1.2% dan Mn 12.8% yang telah dilakukan *solution annealing* pada temperatur pemanasan 1100°C selama 30 menit dan di-*quench* dalam air sehingga didapatkan kekerasan sebesar 18HRC. ⁽⁸⁾ Melalui penelitian ini ingin dipelajari mekanisme *work hardening* baja ini yang telah digunakan lebih dari seabad sejak ditemukan tahun 1882.

Tabel 1 Jenis Penggunaan Baja Mangan ⁽⁵⁾

Kelas	Simbol	Keterangan
1	SCMnH1	Untuk penggunaan umum
2	SCMnH2	Untuk penggunaan produk umum berkualitas tinggi
3	SCMnH3	Untuk rel kereta api
4	SCMnH11	Untuk penggunaan dengan tingkat abrasi tinggi (<i>jaw plate, hammer, dan lain-lain</i>)
5	SCMnH21	Untuk <i>crawler shoes</i>

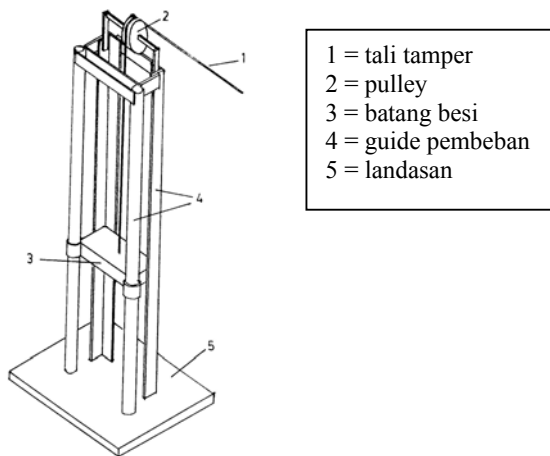
2. Metodologi

Spesimen baja mangan yang dipersiapkan adalah jenis SCMnH11 hasil casting di PT. X dengan komposisi kimia ditunjukkan oleh Tabel 2. Spesimen *as-cast* berbentuk silindris dan dirapikan dengan gerinda untuk mendapatkan ukuran Ø 30 mm dan tinggi 25 mm.

Tabel 2 Komposisi Kimia Baja Mangan SCMnH11

C	Kadar (% berat)				Fe
	Mn	Si	Cr		
1,2	12,8	0,74	2,1		balanced

Kedua sisi permukaan atas dan bawah spesimen telah diratakan untuk persiapan uji kekerasan. Tahap berikutnya adalah melakukan proses *solution annealing* di mana spesimen dipanaskan dalam dapur pada temperatur 1100°C selama 30 menit kemudian di-*quench* dalam air. Spesimen hasil *solution annealing* kemudian diberikan penumbukan mekanis menggunakan batang besi seberat 7 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 150 cm dari permukaan specimen (Gambar 3) untuk mempelajari respon *work hardening*-nya. Penumbukan dilakukan berulang-ulang pada 500x, 1000x, dan 1500x tumbukan. Besar energi potensial per unit luas yang diterima spesimen setiap kali tumbukan adalah 145,6 kJm⁻² dengan asumsi bahwa massa tali, gesekan antara beban dan rel, gesekan antara tali dan pulley diabaikan. Demikian pula dengan transformasi energi potensial menjadi energi panas dan bunyi diabaikan.



Gambar 3 Sketsa alat penumbukan mekanis

Respon *work hardening* spesimen setelah penumbukan dilihat melalui nilai kekerasan yang diuji dengan Rockwell C *hardness tester*. Uji kekerasan dilakukan pada range 0-5 mm, 5-10 mm, 10-15mm, 15-20mm, dan 20-25 mm dari permukaan yang ditumbuk. Hal ini dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan spesimen setelah penumbukan. Selain itu pada spesimen setelah penumbukan juga dilakukan pada ragam uji keausan di mana spesimen dicekam lalu permukaannya dikenai gerinda putar dengan beban

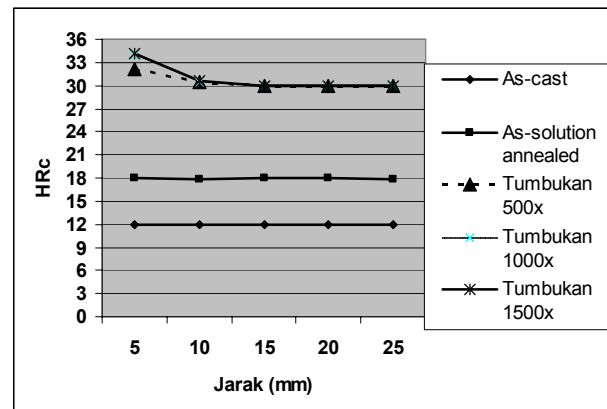
sebesar 9,8 N pada putaran gerinda sebesar 125 rpm selama 2000 putaran.

3. Hasil dan Pembahasan

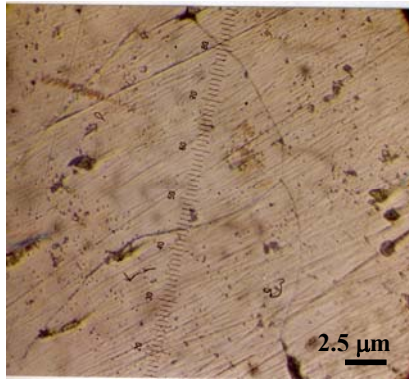
Uji kekerasan Rockwell C dilakukan pada spesimen *as-solution annealed* dan dibandingkan juga dengan kekerasan *as-cast* dan setelah dilakukan tumbukan pada 500x, 1000x, dan 1500x. Hasil uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 4.

Proses *solution annealing* pada temperatur 1100°C selama 30 menit dengan air sebagai media *quenching* telah meningkatkan kekerasannya sebesar 50% dari 12 HRC menjadi 18HRC. Peningkatan kekerasan ini dihasilkan dari struktur mikronya yang sepenuhnya austenit di mana karbida di sekeliling butir austenit telah larut. Gambar 5 menunjukkan struktur mikro setelah *solution annealing* di mana tidak dijumpai adanya transformasi ke martensit, yang tampak adalah butir austenitik yang bebas karbida pada batas butirnya. Kandungan Mn dalam spesimen sejumlah 12,8 % berat telah menstabilkan fasa austenit sampai pada temperatur kamar.

Memperhatikan kembali Gambar 4 tampak bahwa penumbukan mekanis meningkatkan nilai kekerasan baja mangan rata-rata sebesar 67% dari kondisi *as-solution annealed*. Kekerasannya meningkat dari 18HRC menjadi 30 HRC setelah mengalami penumbukan sampai 1500x. Selain itu tampak bahwa kekerasan di permukaan (0-5mm) yang dihasilkan pada penumbukan semakin meningkat dengan meningkatnya tumbukan yang diberikan. Pada penumbukan 500x didapatkan kekerasan permukaan sebesar 32,2 HRC, pada penumbukan 1000x sebesar 33,9 HRC, dan pada penumbukan 1500x sebesar 34,1 HRC. Pada kedalaman >10 mm didapatkan kekerasan rata-rata 30HRC pada semua frekuensi penumbukan. Peningkatan kekerasan yang ditimbulkan oleh efek tumbukan ini disebabkan oleh respon *work hardening* yang diberikan oleh material melalui peningkatan jumlah dislokasi atau kerapatan dislokasi. (9), (10)

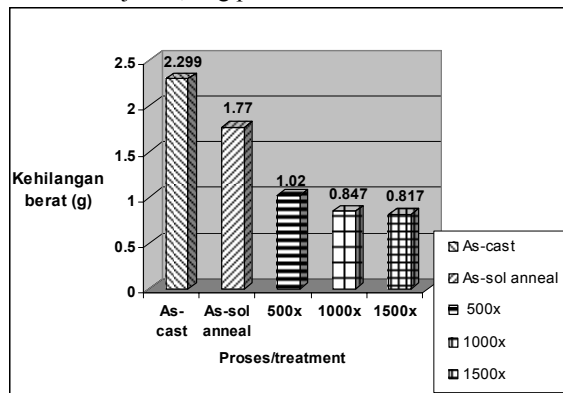


Gambar 4 Perbandingan nilai kekerasan spesimen dengan proses dan treatment berbeda.



Gambar 5 Struktur mikro spesimen as-solution annealed

Hasil uji keausan ditunjukkan pada grafik batang Gambar 6. Hasil uji keausan mendukung hasil uji kekerasan pada Gambar 4 di mana spesimen yang ditumbuk dengan frekuensi 1500x memberikan kehilangan berat yang paling sedikit (0.817g) dibandingkan dengan kehilangan berat pada spesimen dengan tumbukan 1000x (0.847g) dan 500x (1.02g). Demikian pula dengan yang diamati pada spesimen *as-cast* dan *as-solution annealed*. Meningkatnya nilai kekerasan yang didapatkan dari solution annealing dibandingkan *as-cast* menaikkan ketahanan aus baja mangan sebesar 23% dari kehilangan berat 2,299 g pada *as-cast* menjadi 1,77 g pada *as-solution annealed*.



Gambar 6 Hasil uji keausan pada spesimen dengan proses dan treatment berbeda.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa

1. Terjadi peningkatan kekerasan sebesar 50% dari hasil *as-cast* (18 HRc) yang dilakukan *solution annealing* (30HRc) demikian pula dengan ketahanan ausnya yang meningkat sebesar 23% setelah dilakukan *solution annealing*.
2. Kekerasan meningkat pada bagian kulit permukaan spesimen dengan peningkatan jumlah tumbukan yang dikenakan pada permukaan spesimen dari 32,2 HRc (tumbukan 500x), 33,9 HRc (1000x), dan 34,1 HRc

(1500x).

3. Kehilangan berat yang didapatkan dari uji keausan mendukung hasil uji kekerasan di mana kehilangan berat terkecil dialami spesimen setelah dibebani 1500x dan tertinggi pada spesimen setelah dibebani 500x.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Bapak Benny dan Bapak Chris Iman Halim dari PT. X yang telah mengizinkan kami untuk mendapatkan spesimen uji dan pemrosesannya.

Daftar Pustaka

1. <http://www.allproducts.com/manufacture98/yas/h/product3.html>, last visited on Sunday, 14 June 2009.
2. <http://www.allproducts.com/manufacture98/yas/h/product4.html>, last visited on Sunday, 14 June 2009.
3. http://www.voestalpine.com/vaevkn/en/product/s/railway_infrastructure/switchsystems/vignole_switchsystems/crossings/scissor_crossover.html, last visited on Sunday, 14 June 2009.
4. <http://www.sciencemuseum.org.uk/images/I034/I0304506.aspx>, last visited on Friday, 12 June 2009.
5. JIS Handbook, Ferrous Materials and Metallurgy, 1984.
6. ASTM A-128-64, Annual Book of ASTM Standards.
7. Dastur, Y.N. dan Leslie, W.C., Mechanism of Work Hardening in Hadfield Manganese Steel, Metallurgical Transaction A, vol. 12A, May 1981.
8. Eryen, Studi Pengaruh Variasi Perlakuan Solution Annealing terhadap Sifat Mekanis Baja Mangan Hadfield, Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1996.
9. Leslie, W. C., The Physical Metallurgy of Steels, McGraw-Hill International Book Co., Tokyo, 1982.
10. Askeland, D. R., The Science and Engineering of Materials, 3rd ed., PWS Publishing Company, Boston, 1994.