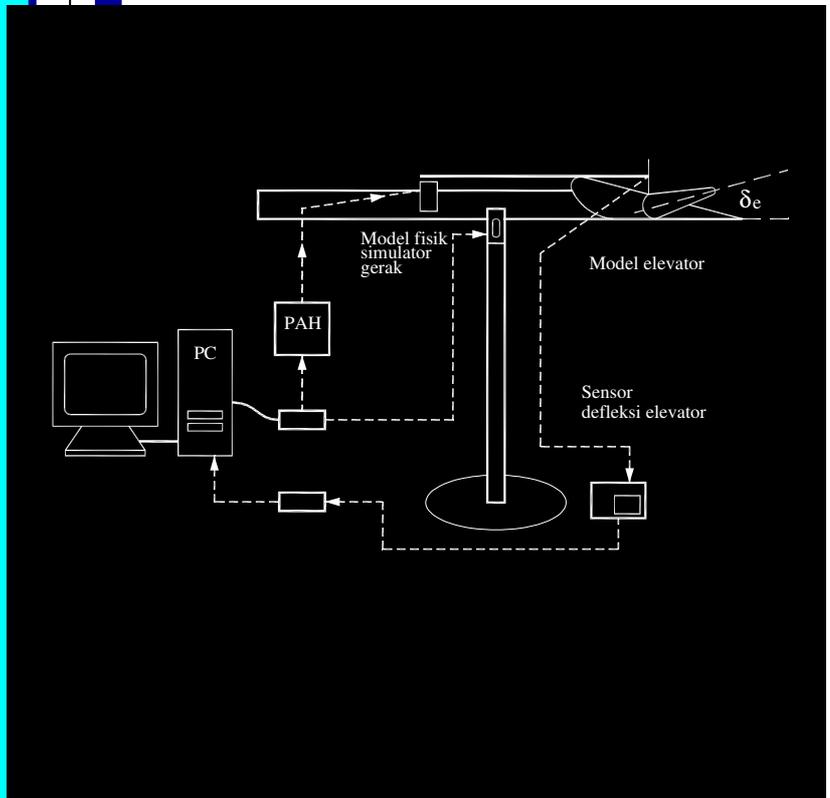


Jurnal Teknik Mesin
Volume 22, No.1, April 2007

W
E
S
E
W



EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua)
A. Suwono
D. Suharto
K. Bagiasna
S. D. Jenie
S. S. Brodjonegoro
Abdurrachim
I. Nurhadi
R. Suratman
P. S. Darmanto

MITRA BESTARI

Ign. P. Nurprasetio (ITB)
I. S. Putra (ITB)
A. I. Mahyuddin (ITB)
Y. Yuwana M (ITB)
Z. Abidin (ITB)
P. Sutikno (ITB)
T. Hardianto (ITB)
T. A. F. Soelaiman (ITB)
N. P. Tandian (ITB)
S. Wiryolukito (ITB)
A. Basuki (ITB)

REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua)
I M. Astina
I. G. N. W. Puja
Indrawanto
W. Adriansyah
A. Wibowo
I N. Diasta

ALAMAT REDAKSI

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa 10, Bandung 40132
Tel. :(022)-2504243
Fax: (022)-2534099
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id
yadi@tu.ms.itb.ac.id

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun
Bulan April dan Oktober.

EDITORIAL

Makalah pertama pada Jurnal Mesin Volume 22 No. 1 ditulis oleh Bambang Widyanto dan Achmad Sambas dari Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung. Makalah ini membahas mengenai perlakuan panas (*solution treatment*) pada baja mangan austenitik. Proses perlakuan diberikan dengan mengoptimalkan temperatur pemanasan, dan waktu penahanan. Pemeriksaan terhadap hasil perlakuan dilakukan melalui pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan. Baja mangan hasil perlakuan ini mempunyai keuletan yang lebih tinggi dan tingkat ketahanan aus yang memadai.

Makalah kedua yang berjudul Optimasi Pelapisan Material Peredam Viskoelastik pada Struktur Pelat Elastik yang ditulis oleh I Wayan Suweca dan Mokhammad Nuriman Yusuf dari Fakultas Teknologi Industri ITB. Metode optimasi yang digunakan merupakan modifikasi dari algoritma SUMT (*Sequential Unconstrained Minimization Technique*). Dari hasil kajian diketahui bahwa distribusi optimum lapisan material viskoelastik pada material elastik sangat dipengaruhi oleh jenis tumpuan struktur dan jumlah modus getar yang dilibatkan dalam analisis.

Indra Herlamba Siregar dari Universitas Negeri Surabaya, dan Abdul Muis dari Politeknik Samarinda, menulis makalah ketiga yang berjudul Karakteristik Aerodinamis Dua Silider Teriris Type 1 yang Tersusun *Side by Side* pada Bilangan Reynolds Subkritis. Makalah ini berisi hasil-hasil pengamatan terhadap kondisi aliran fluida yang melintasi sepasang silinder teriris. Besaran-besaran yang dimati antara lain distribusi koefisien *drag*, dan distribusi koefisien tekanan.

Makalah keempat berjudul Kaji Numerik dan Eksperimental Penyerapan Energi Tabung Aluminium Bergalur dengan Beban Aksial ditulis oleh Bambang K. Hadi et al dari Kelompok Keahlian Struktur Ringan Fakultas Teknologi Industri ITB. Makalah ini berisi kajian kemungkinan penggunaan tabung aluminium bergalur sebagai komponen penyerap energi. Kajian dilakukan baik dengan menggunakan pendekatan analitis, numerik dengan dinamik eksplisit ABAQUS dan pengujian. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah galur semakin kecil beban peruntuhan rata-rata. Beban peruntuhan rata-rata hasil pengujian yang diperoleh selalu lebih besar dari hasil prediksi secara analitis maupun numerik.

Makalah terakhir berjudul Pembuatan dan Pengujian Sensor Ultrasonik Sebagai *Feedback* pada Sistem Kendali Otomatik *Pitch Attitude Hold* ditulis oleh U.M. Zaeny dari Fakultas Teknologi Industri ITB. Makalah ini membahas mengenai hasil-hasil uji coba penggunaan sensor jarak ultrasonik yang diusulkan untuk digunakan sebagai alternatif pengganti *static tube* yang biasa digunakan. Usulan penggantian ini dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa *static tube* tidak bekerja cukup akurat untuk wahana yang terbang hanya beberapa meter dari permukaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat diandalkan sebagai sensor jarak.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 1, April 2007

ISSN 0852-6095

Diterbitkan oleh : Program Studi Teknik Mesin,
Fakultas Teknologi Industri - ITB

Surat ijin : STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

DAFTAR ISI

Pengaruh waktu austenitisasi pada proses pelarutan karbida baja mangan austenitik.

Bambang Widyanto dan Achmad Sambas

1-8

Optimasi pelapisan material peredam viskoelastik pada struktur pelat elastik

I Wayan Suweca dan Mokhamad Nuriman Yusuf

9-20

Karakteristik aerodinamis dua silinder teriris type 1 yang tersusun side by side pada bilangan Reynolds subkritis.

Indra Herlamba Siregar dan Abdul Muis

21-28

Kaji numerik dan eksperimental penyerapan energi tabung aluminium bergalur dengan beban aksial.

Bambang K. Hadi, Ichsan S. Putra, David Basuki dan Yanyan Tedy S.

29-34

Pembuatan dan pengujian sensor ultrasonik sebagai feedback pada sistem kendali otomatis pitch attitude hold.

U.M. Zaeny, T. Indriyanto dan H. Muhammad

35-43

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. 22, No. 1, April 2007

ISSN 0856-6095

PENGARUH WAKTU AUSTENITISASI PADA PROSES PELARUTAN KARBIDA BAJA MANGAN AUSTENITIK

Bambang Widyanto⁽¹⁾, Achmad Sambas⁽²⁾

⁽¹⁾ Kelompok Keahlian Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung

⁽²⁾ Laboratorium Foundry, Teknik Pengecoran Logam,

Politeknik Manufaktur Bandung

Ringkasan

Baja mangan austenitik digunakan pada komponen dengan ketahanan aus yang baik dan mampu menahan beban impact. Contoh aplikasinya yaitu sebagai rock crushers dan dredge buckets di industri pertambangan, sebagai grinding mills di industri semen dan sebagai bagian kepala frogs reI kereta api di industri transportasi. Namun baja mangan austenitik hasil pengecoran memiliki kekurangan, yaitu sifat yang cukup getas serta ketangguhan yang masih rendah akibat adanya karbida. Oleh karena itu untuk memperbaikinya maka baja mangan austenitik hasil pengecoran harus melalui proses solution treatment untuk melarutkan karbida ke dalam fasa austenit. Pada penelitian ini, dilakukan pula proses pembuatan spesimen dengan tebal yang bervariasi yaitu 2, 3, 4 dan 5 in, untuk mengetahui pengaruh dimensi pada sifat dari produk yang dibuat. Masing-masing spesimen diperoleh dengan proses pengecoran dengan komposisi kimia sesuai standar ASTM A 128 grade A. Setelah itu, dilakukanlah proses solution treatment dengan metode step heating dengan temperatur 575°C dan 1050°C dan waktu pemanasan yang ditentukan sesuai dengan referensi. Temperatur pemanasan ditentukan berdasarkan Diagram Fasa Fe-Mn-C dan penelitian sebelumnya. Waktu penahanan ditentukan berdasarkan pemodelan perpindahan panas dan literatur. Kemudian pengaruh dari metode solution treatment terhadap struktur mikro, ukuran butir dan kekerasan pada keempat macam spesimen tersebut diamati untuk menentukan waktu solution treatment yang paling optimal. Sasaran akhir dari penelitian ini adalah dihasilkannya metode perlakuan panas yang tepat, untuk menghasilkan sifat-sifat paduan yang diinginkan dan dalam kasus ini didapatkan kekerasan 160 HB.

Abstract

Austenitic manganese steel is used for components which need good wear resistance and impact resistance. The application examples of austenitic manganese steel castings are in the mining industries such as rock crusher and dredge buckets, and in transportation industry, this material was used in railroad track work such as frog. However as-cast austenitic manganese steel is brittle with low toughness due to the presence of carbides. Hence, the as-cast austenitic manganese steel should be solution treated to dissolve the carbides into austenite phase, to improve its mechanical properties. Additionally, this research is enriched by using thickness parameter, to understand the influence of the dimension. The chemical composition in the casting process is in accordance with ASTM A 128 grade A. The solution treatment processes was done using a step heating procedure at temperature 575°C and 1050°C and determined heating time. Heating temperatures were determined based on Fe-Mn-C phase diagram and by the previous researches. Holding time was determined based on the literature, and heat transfer simulation result. The effects of the solution treatment were observed in the microstructure, grain size, and hardness of the specimens to obtain the optimal solution treatment that can be used. The objective of this research is to find the suitable heat treatment method in order to produce the desirable material properties and in this case, 160HB was obtained.

Key words: solution treatment, austenitic manganese steel, step heating

1. PENDAHULUAN

Baja mangan austenitik yang mengandung 1,2% C dan 12% Mn ditemukan pertama kali oleh Sir Robert Hadfield pada tahun 1882. Baja mangan austenitik ini memiliki sifat ketangguhan dan keuletan yang tinggi.

Karena memiliki sifat tersebut maka baja mangan austenitik banyak digunakan pada komponen yang memerlukan ketahanan aus yang baik dan kemampuan menahan beban impact. Contoh aplikasinya adalah sebagai rock crushers dan dredge buckets di industri pertambangan, sebagai grinding mills di industri

semen, sebagai bagian kepala *frogs* rel kereta api di industri transportasi, sebagai *tank track pads* di militer, pengeruk pasir, dan lain-lain.

Ditinjau dari aplikasi yang begitu luas, maka merupakan suatu tantangan yang cukup menarik untuk bisa membuat produk dengan bahan tersebut, terutama untuk produk yang memiliki dimensi dengan ukuran besar yang sebagian besar masih diimpor.

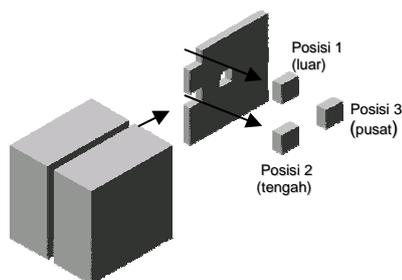
Baja mangan austenitik biasanya dibuat dengan proses pengecoran, namun hasil proses pengecoran ini memiliki sifat yang cukup getas serta ketangguhan dan keuletan yang masih rendah akibat adanya karbida. Oleh karena itu, baja mangan austenitik hasil pengecoran harus melalui proses *solution treatment* untuk melarutkan karbida ke dalam fasa austenit. Proses *solution treatment* dilakukan dengan memanaskan spesimen hingga temperatur austenit, kemudian didinginkan cepat dengan cara dicelupkan ke dalam air.

Permana [1] dan Widyanto [2] telah melakukan penelitian tentang metode perlakuan panas untuk baja mangan austenitik ini dengan memakai parameter temperatur dan waktu pemanasan. Sedangkan penelitian ini, akan dilakukan dengan menambahkan pengaruh dimensi di dalam melakukan proses *solution treatment*.

Sasaran dari penelitian ini secara prinsip adalah untuk mengetahui pengaruh perekayasaaan proses *solution treatment*, dalam menghasilkan baja mangan austenit yang memiliki sifat mekanik yang mendekati berbagai persyaratan dalam *standard*. Dengan memasukkan parameter dimensi, maka diperoleh manfaat lain yaitu dapat melakukan *setup* proses pembuatan produk bahan baja mangan austenit dalam berbagai dimensi. Dengan demikian maka diharapkan dapat dibuat komponen dari baja *mangan hadfield* untuk menggantikan produk import.

2. PROSEDUR PENELITIAN

Dalam penelitian ini, material yang digunakan sebagai target adalah baja mangan austenitik standard ASTM A 128 Grade A. Bentuk spesimen dibuat berupa kubus dengan panjang rusuk yang bervariasi yaitu: sebesar 2, 3, 4 dan 5 in. Gambar 2.1. menunjukkan bentuk spesimen uji.



Gambar 1. Bentuk spesimen dan potongan untuk penelitian

Komposisi Kimia Target

Komposisi kimia spesimen ditargetkan sesuai dengan batasan yang terdapat pada standard ASTM A 128 grade A seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia ASTM A 128 Grade A

Komposisi (%)			
C	Mn (Min)	Si (max)	P (max)
1,0–1,3	11,0	1,0	0,07

Perhitungan peramuhan dilakukan untuk mendapatkan cairan logam yang memiliki komposisi target. Bahan yang diramu adalah berupa bahan dasar seperti scrap baja, sedangkan bahan paduan seperti FeMn, FeSi dan *Carburizer*. Jumlah masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2. Total bahan baku disesuaikan dengan kapasitas tanur induksi yang dipakai, yaitu 250 kg.

Tabel 2. Peramuhan material

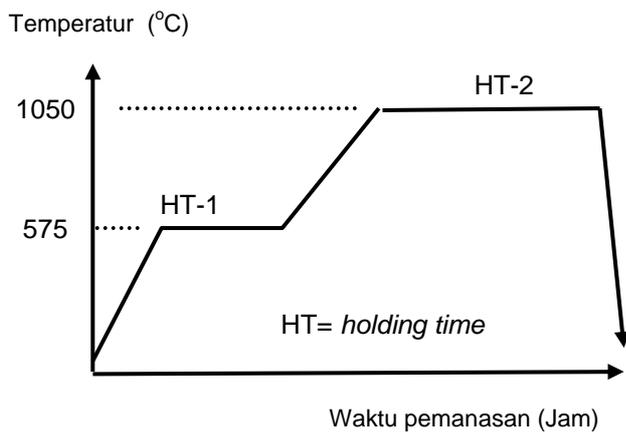
Bahan Baku	Prosentase	Berat (Kg)
<i>Return material</i>	30,00	75,00
<i>Scrap baja</i>	56.30	140,00
<i>Carburiser</i>	1,10	3,00
FeSi 75	0,60	1,50
FeMn	12,00	32,00
TOTAL	100,00	250,00

Proses pengecoran

Proses pengecoran dilakukan untuk memperoleh spesimen balok dengan ukuran yang bervariasi (balok 2 in, 3 in, 4 in dan 5 in). Kegiatan dalam proses pengecoran meliputi; pembuatan pola (*pattern making*), pengolahan pasir cetak (*sand mixing*), pembuatan cetakan (*molding*), peleburan (*melting*), pengecoran pada cetakan (*pouring*), pembongkaran (*cleaning*), pembersihan (*shot blasting*), pemeriksaan secara visual (*inspection*), dan penyelesaian akhir (*felting*) [6].

Solution Treatment

Proses *solution treatment* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *Step Heating*, yaitu memanaskan benda kerja secara bertahap mulai dari temperatur kamar hingga temperatur 575°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 1 - 3 jam (HT1).



Gambar 2. Siklus proses perlakuan panas step heating.

Kemudian pemanasan dilanjutkan hingga temperatur mencapai 1050°C (HT2) dan ditahan pada temperatur tersebut disesuaikan dengan ketebalan masing-masing, ditunjukkan pada Tabel 3. Setelah itu spesimen didinginkan cepat dengan cara dicelupkan ke dalam bak pendingin. Gambar 2.2, menggambarkan siklus proses perlakuan panas.

Tabel 3. Waktu *holding time* untuk setiap sampel

Ketebalan (in)	Holding time (575°C)	Holding time (1050°C)
2 in	3 jam	3 jam
3 in	3 jam	4 jam
4 in	3 jam	5 jam
5 in	3 jam	6 jam

Pemotongan spesimen

Untuk mengetahui distribusi struktur mikro dan kekerasan pada spesimen, maka spesimen uji tersebut dipotong menjadi 3 bagian. Yaitu; bagian luar, bagian pertengahan dan bagian pusat. Bentuk potongan dapat dilihat pada Gambar 1.

Karena bahan spesimen tersebut mempunyai sifat yang sangat ulet, maka spesimen tersebut sangat sulit dipotong dengan menggunakan gergaji potong. Karena pemotongan secara mekanik menyebabkan terjadinya peningkatan kekerasan pada spesimen sebagai akibat terjadinya transformasi fasa menjadi austenit. Dengan demikian pemotongan dilakukan dengan alat potong EDM (*Electro Discharge Machining*).

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Brinell dengan jumlah pengujian sebanyak tiga kali untuk setiap potongan spesimen. Prosedur pengujian mengacu pada standard ASTM E 10-96 (*Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials*) [11].

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro digunakan untuk melihat struktur mikro baja mangan austenitik baik hasil pengecoran maupun hasil perlakuan panas. Prosedur pengujian mengacu pada standard ASTM E 112-96 (*Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*) [9].

Pengukuran besar butir dilakukan menggunakan metode perbandingan. Ukuran butir diperoleh dengan cara membandingkan dengan gambar butir standard yang terdapat pada ASTM. Pola-pola ukuran butir tersebut bervariasi dari ukuran 1 sampai dengan 9. Harga *Ukuran butir* yang lebih besar berarti butir austenitnya makin kecil dan sebaliknya. Satuan ini bukan dalam satuan panjang (mm) karena tidak semua bentuk butir pada struktur mikro memiliki bentuk ekuiaksial. Ada butir yang berbentuk pipih sehingga memiliki panjang berbeda dalam arah horisontal dan vertikal.

Menurut standar ASTM E 112-96, perbesaran yang digunakan dalam metode perbandingan tersebut, disarankan adalah perbesaran 100 x [10].

Urutan persiapan sampel metalografi adalah sebagai berikut:

- a) *Pemotongan*
Pemotongan dilakukan untuk memperoleh ukuran spesimen sebesar 15 x 15 x 15 mm. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan proses EDM.
- b) *Pengerindaan dan pengampelasan*
Proses pengerindaan dilakukan untuk meratakan sampel, Ampelas yang dipakai berukuran (grit) 80, 180, 360, 600, 800, hingga 1000.
- c) *Pemolesan*
Sampel yang telah diampelas kemudian dipoles pada kain bludru dengan menggunakan larutan alumina (Al_2O_3 + aquades) merek Bohler dengan ukuran partikel alumina sebesar 0,05 μm .
- d) *Pengetsaan*
Setelah itu spesimen dietsa menggunakan larutan 2% nital (HNO_3 + alkohol) selama 7 - 15 detik.
- e) *Pengamatan*
Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan mikroskop optik Nikon Epiphot di Laboratorium Teknik Metallurgi, Program studi Teknik Mesin ITB.

Karakterisasi material

Karakterisasi material berupa komposisi, didapatkan dari pengamatan dengan OES (*Optical Emission Spectrometry*), dengan tujuan untuk mengetahui komposisi kimia bahan, dan SEM (*Scanning Electron Microscope*)/EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) untuk mengetahui gambar struktur mikro dan komposisi kimia material baja mangan austenitik.

3. DATA DAN ANALISIS

Komposisi Kimia Spesimen

Komposisi kimia spesimen hasil pengecoran dapat dilihat pada Tabel 4. Komposisi kimia ini diuji menggunakan *Optical Emission Spektrometry*. Pada spesimen ini terdapat kandungan Karbon sebesar 1,0% dan kandungan Mangan sebesar 11,6%. Kandungan Mangan pada rentang komposisi kimia target yaitu minimal sebesar 11%. Kandungan Karbon yang dipilih sebesar 1,0% (cukup rendah pada standard ASTM A128) karena bila kandungan Karbon terlalu tinggi dapat menyebabkan presipitasi karbida yang berlebih pada saat pengecoran sehingga lebih sulit untuk mendisosiasi dan melarutkan karbida ke dalam fasa austenit pada saat *solution treatment*. Kandungan Mangan sebesar 11,6% diharapkan dapat menjaga kestabilan fasa austenit pada temperatur kamar dan dapat meningkatkan kekuatan tarik dan keuletannya.

Tabel 4. Komposisi kimia spesimen pengecoran hasil OES (*Optical Emission Spektrometry*)

Unsur-unsur	Persen Berat (wt%)	Keterangan
C	1,00	Paduan utama
Mn	11,55	
Si	0,57	Unsur-unsur pengotor (<i>Impurities</i>)
S	0,02	
P	0,04	
Ni	0,03	
Cr	0,13	
Mo	0,02	
Cu	0,01	

Solution Treatment

Pemilihan temperatur pemanasan sebesar 1000°C didasarkan pada Diagram Fasa Pseudo-Biner Fe-13% Mn-C. Pada komposisi 13% Mn dan 1% C, baja mangan austenitik memiliki fasa *full austenit* pada temperatur di atas 900°C. Namun perlu diperhatikan pula bahwa pada saat pengambilan spesimen dari tungku hingga menyentuh permukaan air (pada saat pendinginan cepat) terdapat waktu tunda (*delay*) yang dapat menurunkan temperatur spesimen sehingga bila temperatur spesimen sebelum menyentuh air sudah berada di bawah 900°C dapat menyebabkan terbentuknya karbida. Untuk itu temperatur pemanasan perlu dinaikkan hingga 1050°C untuk mencegah peristiwa di atas.

Pemanasan spesimen hingga temperatur 1050°C juga dapat mempercepat disosiasi karbida dan mempermudah difusi atom sehingga karbida dapat larut lebih cepat bila dibandingkan dengan pemanasan pada temperatur 900°C. Namun temperatur pemanasan jangan terlalu tinggi karena dapat menyebabkan dekarburisasi yang terlalu berlebihan sehingga dapat menurunkan kekerasan dipermukaan dan ketahanan aus spesimen.

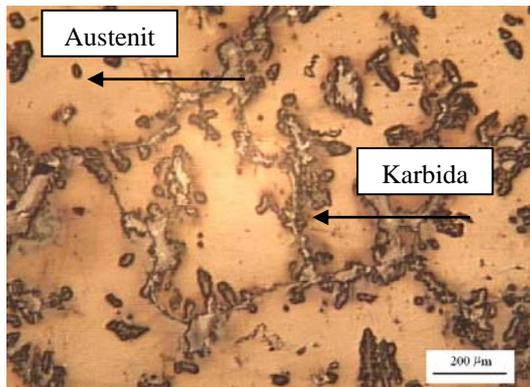
Pada saat penentuan waktu penahanan (*holding time*), perlu dipikirkan bahwa waktu penahanan tersebut ditujukan untuk menghomogenkan temperatur di setiap bagian spesimen hingga mencapai temperatur 1050°C, dan untuk mendisosiasi karbida serta mendifusikan atom Karbon ke dalam fasa austenit. Selain itu diperlukan waktu selama 6 menit untuk mendifusikan atom Karbon ke dalam fasa austenit. Menurut Avery [5], diperlukan waktu penahanan selama 2 jam untuk memanaskan spesimen tarik dengan diameter 1 in pada temperatur 1038°C (1900K). Spesimen tarik pada penelitian sebelumnya memiliki diameter 17 mm. Oleh karena itu, waktu penahanan dipilih selama 100 menit dengan pertimbangan waktu selama 38 menit untuk menghomogenkan temperatur, 56 menit untuk mendisosiasi karbida dan 6 menit untuk mendifusikan atom karbon ke dalam fasa austenit [2].

Pada metode *step heating 1*, spesimen dipanaskan bersama sama dengan tungku dari temperatur kamar hingga temperatur 575°C, kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 3 jam. Baja mangan austenitik memiliki koefisien ekspansi thermal yang lebih tinggi daripada baja karbon (sekitar 1,5 kalinya). Oleh karena itu pemanasan yang cepat dapat menyebabkan retak pada batas butir yang disebabkan oleh *thermal stress*. Oleh karena itu diperlukan pemanasan bertahap untuk mencegah *thermal shock*. Selain itu pula diharapkan pada pemanasan mula (*pre-heat*) di temperatur 575°C sudah terjadi disosiasi sebagian kecil karbida menjadi fasa ferit dan austenit dan difusi atom Karbon ke dalam fasa austenit, sehingga pada proses *solution treatment* di temperatur 1050°C diperlukan waktu yang lebih sebentar untuk melarutkan karbida ke dalam fasa austenit. Hal ini dimaksudkan agar butir tidak tumbuh terlalu besar saat proses *solution treatment*.

Pemilihan temperatur 575°C berdasarkan pada penelitian sebelumnya, yang melakukan pemanasan pada temperatur 575°C selama 3 jam dan pada temperatur 850°C selama 3 jam [5]. Ternyata pemanasan pada temperatur 575°C selama 3 jam menghasilkan struktur mikro yang tidak jauh berbeda dengan struktur mikro hasil pengecoran, sedangkan pemanasan pada temperatur 850°C selama 3 jam menyebabkan karbida tumbuh membesar. Oleh karena itu *pre-heat* dilakukan pada temperatur 575°C karbida akan membesar sehingga dapat mempersulit pelarutan karbida ke fasa austenit.

Spesimen hasil Pengecoran (*As-cast*)

Struktur mikro *as-cast* (hasil pengecoran) baja mangan dapat dilihat pada Gambar 3. Dari struktur mikro tersebut dapat diidentifikasi adanya dua fasa yaitu austenit sebagai matriks dan karbida sebagai presipitat yang mengendap pada batas butir maupun di dalam butir austenit.



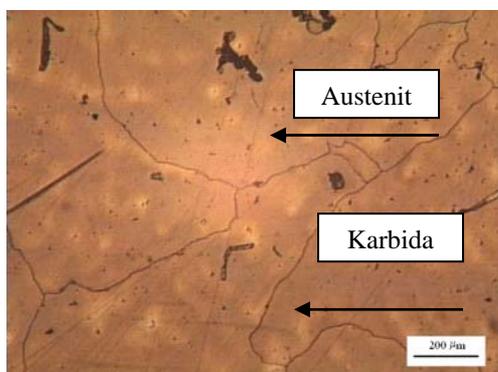
Gambar 3. Struktur mikro spesimen Baja Mangan ukuran 4 in hasil proses pengecoran, sebelum mengalami proses perlakuan panas (*as-cast*).

Dari gambar tersebut dapat diamati adanya karbida kontinyu di batas butir austenit akibat segregasi unsur mangan dan karbon yang menyisih saat pembekuan. Karbida non-kontinu terdapat di dalam butir austenit akibat fenomena segregasi unsur-unsur, yang akhirnya terjebak di lengan-lengan dendrit. Karena itulah maka karbida yang berada di dalam butir ini tidak kontinyu.

Karbida-karbida ini bersifat keras dan getas. Dari hasil pengamatan, harga kekerasan tertinggi berada pada batas butir karena segregasi di batas butir lebih besar dibandingkan dengan di dalam butir. Sesuai dengan kondisi kerja baja mangan yaitu benturan maka karbida-karbida tersebut harus diuraikan melalui proses perlakuan panas khusus sehingga fasa akhir hanya austenit saja.

As solution treatment

Struktur mikro spesimen hasil perlakuan panas dapat dilihat pada Gambar 4. Dari struktur mikro tersebut tampak matriksnya berupa fasa *Austenit*, hal ini berarti proses *solution treatment* berjalan dengan baik. Karbida pada batas butir dan di dalam butir telah terurai pada saat proses *solution treatment*. Struktur dendrit dari struktur mikro tersebut sudah hampir tidak tampak.

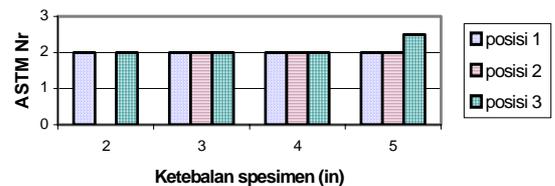


Gambar 4. Struktur mikro spesimen Baja Mangan ukuran 2 in hasil proses pengecoran, setelah mengalami proses perlakuan panas pada temperatur 1050°C, *holding time* selama 3 jam.

Ukuran butir

Besarnya ukuran butir yang umum untuk austenit dinyatakan dalam nomor satuan standar, antara 1 sampai dengan 9. Kurva ukuran butir austenit hasil *solution treatment* dapat dilihat pada Gambar 5. Dari data dapat dilihat bahwa ukuran rata-rata butir *austenit* hasil *solution treatment*, berkisar antara ukuran 2 sampai dengan 3. Ukuran butir tersebut termasuk ukuran butir yang cukup besar/kasar, hal tersebut terjadi akibat laju pendinginan yang cukup lambat pada saat proses pembekuan hasil pengecoran. Laju pendinginan yang lambat menyebabkan butiran akan tumbuh berkembang.

Ukuran butir

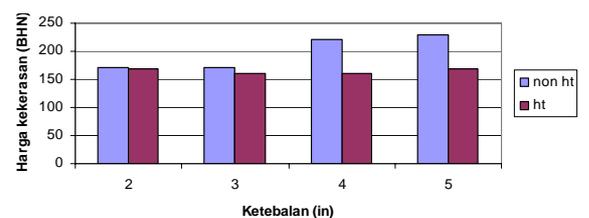


Gambar 5. Ukuran butir

Sifat Mekanik (Kekerasan)

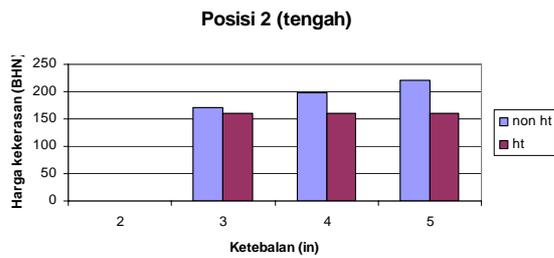
Analisis dilakukan pada posisi luar (posisi 1). untuk sampel ukuran 2 in, 3 in, 4 in dan 5 in (Gambar 6). Pada pengamatan sampel dengan 4 ukuran, kekerasannya mengalami penurunan setelah proses *heat-treatment* karena waktu *solution treatment* yang diperlukan untuk menguraikan karbida telah tercapai. Harga penurunan pada sampel ukuran 4 dan 5 mengalami penurunan yang sangat drastis berkaitan dengan proses penguraian karbida yang lebih sempurna, dan bayangan dendrit sudah tidak terlihat.

Posisi 1 (luar)

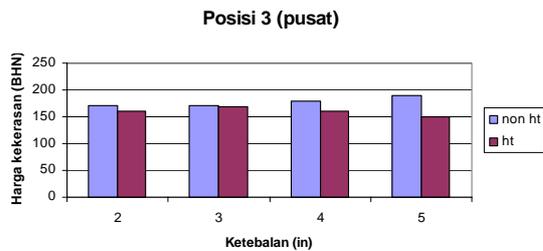


Gambar 6. Harga kekerasan pada posisi 1 (posisi luar)

Analisis pada posisi pertengahan (posisi 2) didasarkan pada data hasil uji kekerasan sampel ukuran 2 in, 3 in, 4 in dan 5 in (Gambar 7). Pengamatan pada ke 4 ukuran sampel tersebut, menunjukkan bahwa pada umumnya harga kekerasan mengalami penurunan setelah mengalami proses *heat-treatment*. Hal ini disebabkan karena waktu *solution treatment* yang diperlukan untuk menguraikan karbida telah tercapai. Sama dengan posisi 1, bahwa harga penurunan pada sampel ukuran 4 dan 5 mengalami penurunan yang sangat drastis. Hal ini diakibatkan karena proses penguraian karbida lebih sempurna, bayangan dendrit sudah tidak tampak



Gambar 7. Harga kekerasan pada posisi 2 (pertengahan)



Gambar 8. Harga kekerasan pada posisi 3 (pusat spesimen)

Analisis pada posisi pusat (posisi 3) Berdasarkan data hasil uji kekerasan sampel ukuran 2 in, 3 in, 4 in dan 5 in (Gambar. 8). Dari ke 4 ukuran sampel, rata-rata harga kekerasannya mengalami penurunan setelah mengalami proses *heat-treatment*. Hal ini disebabkan karena waktu *solution treatment* yang diperlukan untuk menguraikan karbida telah tercapai. Sama dengan posisi 1 dan 2, harga penurunan pada sampel ukuran 4 dan 5 mengalami penurunan yang sangat drastis. Hal ini diakibatkan karena proses penguraian karbida lebih sempurna, bayangan dendrit sudah tidak tampak.

Dari ketiga posisi tersebut terlihat bahwa penurunan harga kekerasan terjadi akibat terurainya karbida dari matriks *austenit*. Pada struktur mikro hasil perlakuan panas diperoleh matriks *austenit* 100%. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu *holding time* yang diperlukan pada proses *solution treatment*, telah mencukupi.

Hasil simulasi MSC Nastran

Simulasi dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan untuk menghomogenkan spesimen pada temperatur 1050°C. Kemudian dianalisis apakah ada kesesuaian dengan rumus umum yang selalu digunakan untuk proses perlakuan panas yang menyebutkan bahwa waktu pemanasan yang dipakai adalah 2 jam untuk ketebalan lebih kecil atau sama dengan 1 in, ditambah dengan 1 jam untuk setiap penambahan ketebalan 1 in [4], atau dinyatakan dengan rumus berikut ini:

$$t = 2 \text{ jam (tebal } \leq 1 \text{ in)} \\ + n \text{ jam (untuk setiap } n \text{ in} \\ \text{penambahan ketebalan)}$$

Juga dianalisis apakah dengan waktu tersebut dapat dicapai struktur mikro yang diharapkan, yaitu terurainya karbida.

Dari salah satu proses simulasi diperoleh gambar hasil simulasi yang menunjukkan distribusi temperatur (dalam Kelvin) pada spesimen ketebalan 2 in setelah 6881 detik (1,9 jam). Ternyata untuk mencapai temperatur *solution treatment* sebesar 1050°C, hanya diperlukan waktu sebesar 1,9 jam. Waktu tersebut lebih singkat jika dibandingkan dengan waktu yang disarankan pada literatur yaitu 3 jam. Ada penghematan waktu sebesar 1 jam.

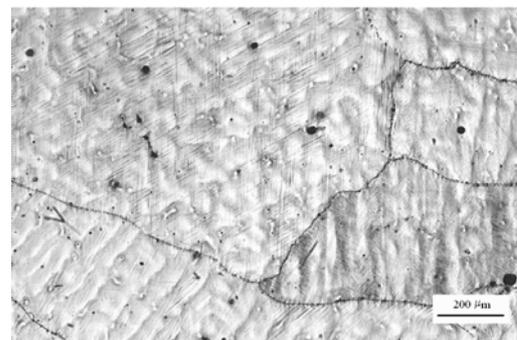
Tabel 5 menunjukkan lama waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur *solution treatment* pada masing-masing ukuran sampel. Ternyata terdapat selisih waktu kurang lebih 10 menit untuk setiap perubahan ukuran 1 in. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa lama waktu pemanasan yang diperlukan untuk menghomogenkan temperatur adalah lebih singkat.

Tabel 5. Waktu *holding* hasil simulasi

Ukuran sampel (in)	Temperatur (Kelvin)	Waktu (jam)
2	1343	3 jam
3	1343	3 jam 9 menit
4	1343	3 jam 15 menit
5	1343	3 jam 24 menit

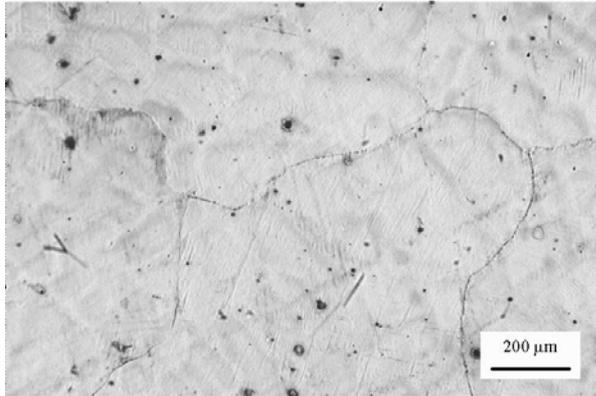
Pembuktian hasil simulasi

Pembuktian hasil simulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap struktur mikro. Uji coba dilakukan pada spesimen ukuran 2 in dan 3 in. Masing-masing sampel dilakukan *solution treatment* selama 0,5 jam dan 3 jam.



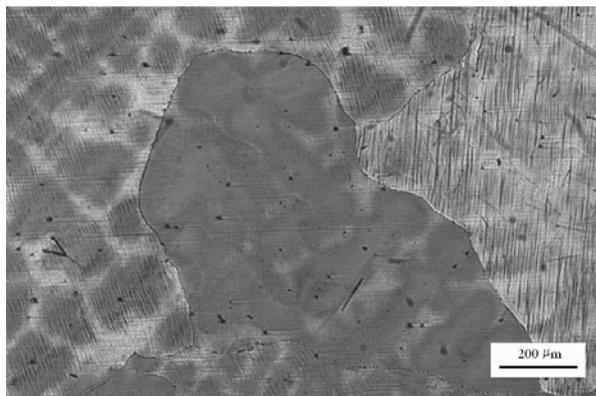
Gambar 9. Struktur mikro sampel uji 2 in dengan lama penahanan 0,5 jam

Gambar 9 menunjukkan struktur mikro spesimen ukuran 2 in hasil perlakuan panas dengan *holding time* selama 0,5 jam. Proses *solution treatment* berjalan kurang baik. Karbida pada batas butir dan di dalam butir telah terurai pada saat proses *solution treatment*, tetapi struktur dendrit dari struktur mikro tersebut masih tampak. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya energi yang diberikan oleh lingkungan untuk terjadinya difusi atom.

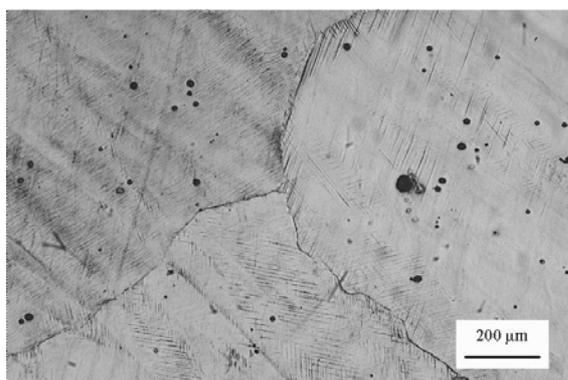


Gambar 10. Struktur mikro sampel uji 2 in dengan lama penahanan 2 jam

Sedangkan pada Gambar 10, tampak bahwa struktur mikro tersebut matriksnya berupa fasa *Austenit*. Hal ini berarti proses *solution treatment* berjalan dengan baik. Karbida pada batas butir dan di dalam butir telah terurai pada saat proses *solution treatment*. Struktur dendrit dari struktur mikro tersebut sudah hampir tidak tampak.



Gambar 11. Struktur mikro sampel uji 3 in dengan lama penahanan 0,5 jam



Gambar 12. Struktur mikro sampel uji 3 in dengan lama penahanan 2 jam

Gambar 11 menunjukkan struktur mikro spesimen ukuran 3 in hasil perlakuan panas dengan *holding time* selama 0,5 jam. Proses *solution treatment* berjalan kurang baik. Karbida pada batas butir dan di dalam butir telah terurai pada saat proses *solution treatment*, tetapi struktur dendrit dari struktur mikro tersebut masih tampak. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya energi yang diberikan oleh lingkungan untuk terjadinya difusi atom.

Pada Gambar 12 menunjukkan struktur mikro spesimen ukuran 3 in hasil perlakuan panas dengan *holding time* selama 2 jam. Tampak bahwa struktur mikro tersebut matriksnya berupa fasa *Austenit*. Hal ini berarti proses *solution treatment* berjalan dengan baik. Karbida pada batas butir dan di dalam butir telah terurai pada saat proses *solution treatment*. Struktur dendrit dari struktur mikro tersebut sudah hampir tidak tampak.

4. KESIMPULAN

Pembuatan produk dengan bahan baja mangan austenitik dapat diterapkan pada benda cor dengan ketebalan hingga 5 in yang kemudian dikenai proses perlakuan panas yang sesuai untuk menghasilkan sifat yang diinginkan.

Struktur mikro baja mangan hasil perlakuan panas tersebut bermatriks *austenit* dan terbebas dari karbida, setelah mengalami proses *step heating* pada temperatur 575°C dan 1050°C dan pengaturan waktu pemanasan yang tepat (waktu pemanasan didasarkan pada referensi) yang dilanjutkan dengan *quenching*, yang menunjukkan bahwa proses perlakuan panas yang dilakukan, mengenai dengan baik.

Pada kondisi *as cast*, fraksi karbida pada bagian luar lebih banyak dibanding fraksi karbida pada bagian pusat, harga kekerasan dibagian luar lebih tinggi dibandingkan harga kekerasan di bagian pusat. Sedangkan setelah proses perlakuan panas dengan pengaturan temperatur dan waktu pemanasan yang tepat, harga kekerasan tersebut menjadi lebih kecil 20% tetapi lebih homogen. Hal lain yang positif yang di peroleh adalah adanya penurunan kegetasan dan peningkatan keuletan.

Proses simulasi dengan *software*, menyatakan bahwa waktu pemanasan dapat direduksi untuk menghasilkan sifat yang diinginkan sesuai dengan target.

DAFTAR PUSTAKA

1. M.S. Permana, *Casting Practice of Hadfield Manganese Steel Alloy and Effect of Solution Treatment on its Microstructure*, Thesis, Program Magister Ilmu dan Teknik Material ITB, Bandung 1999.
2. B. Widyanto, *Peningkatan Pembuatan Paduan Baja Mangan Hadfield Produk Lokal Melalui Proses Solution Treatment*, Laporan Pelaksanaan RUT VIII Oktober 2002.
3. W. Hume-Rothery, *An Elementary Introduction The Structures of Alloys of Iron*, Pergamon Press, London 1966.
4. G. Krauss, *Principles of Heat Treatment of Steel*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio 1980
5. H.S. Avery, *Austenitic Manganese Steel*, Metals Handbook, Vol 1, 10th ed, Properties and Selection Iron, Steel and High-Performance Alloy, ASM International, 1990.
6. B.W. Niebel dan A.B. Draper, *Modern Manufactur Process Engineering International ed*, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore, 1989.
7. D.A. Porter dan K.E. Easterling, *Phase Transformation in Metals and Alloys*, 2nd Edition, hapman & Hall, London, 1992
8. R. Suratman, *Panduan Proses Perlakuan Panas*, Diktat Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung, 1994.
9. D.K. Subramanyam, *Austenitic Manganese Steel Castings*, *ASM Handbook 9th ed, Vol 9 Metallography and Microstructures*, ASM International, Material Park, OH. 1985.
10. B. Widyanto, A. Sambas dan M. Permana. Pengaruh dimensi pada hasil Solution Treatment Baja Mangan Hadfield, *seminal Nasional Ilmu dan Teknologi Material*, ITS Surabaya, 2004.
11. Annual Book of ASTM Standars, Volume 03.01, *Standards Relating to Metals-Mechanical Testing, Elevated and Low-Temperature tests*, 1998.