



Studi pengaruh proses *tempering* terhadap struktur mikro dan kekerasan *post-annealing* baja mangan austenitik

Ilham Azmy^{1*}, Muhammad Adi Khoirul Umam², Rizki Muliawan³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

³Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
Bandung, 40112, Indonesia

*Email: ilham.azmy@polban.ac.id

Abstrak

Baja mangan austenitik atau lebih dikenal dengan nama baja *hadfield* merupakan baja yang memiliki sifat kekerasan yang tinggi, tapi keuletan dan ketangguhannya relatif rendah. Dalam penggunaan di lingkungan pembebanan kontinyu, baja ini sering mengalami *lifetime defect* dan kegagalan. Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu proses rekayasa baja agar dapat meningkatkan umur pemakaian dan menurunkan sifat kekerasan sehingga keuletan dan ketangguhannya menjadi lebih baik. Perlakuan panas bertujuan untuk merekayasa struktur mikro, menghaluskan butir kristal, dan menghilangkan tegangan internal yang nantinya berefek pada perubahan sifat mekanik. Penelitian dilakukan dengan mememanaskan baja mangan austenitik sampai temperatur austenisasi (1000 °C) yang ditahan selama 120 menit dan pendinginan sangat lambat didalam tungku *furnace*. Proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan media pendingin oli sebelum baja mengalami proses *tempering*. Proses *tempering* melibatkan tiga variasi temperatur berbeda yaitu 200 °C, 400 °C, dan 600 °C. Pemilihan variasi temperatur ini bertujuan untuk mengetahui tingkat perubahan fasa pada struktur mikro dan pengaruhnya terhadap sifat kekerasan. Setelah proses *tempering* selesai, dilakukan pengamatan metalografi dan pengujian kekerasan dengan metode Rockwell C. Variasi temperature *tempering* memberikan pengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan nilai kekerasan. Pada variasi temperatur *tempering* 400 °C, baja mangan austenitik menunjukkan struktur mikro yang signifikan dengan kemunculan martensit temper kembar (*twinning*) di antara matriks karbida (FeMn₃C). Fenomena ini memberikan efek penurunan kekerasan hingga 16,9 HRc, yang sebaliknya menandai peningkatan keuletan dan ketangguhan baja mangan austenitik. Dengan demikian, baja mangan austenitik hasil proses *tempering* 400 °C akan memiliki *lifetime* yang lebih baik pada aplikasinya dalam dunia industri.

Kata kunci : baja mangan austenitik, *tempering*, struktur mikro, kekerasan

Study of tempering process effect on microstructure and hardness post-annealing manganese austenitic steel

Abstract

Austenitic manganese steel, well-known as hadfield steel, is a steel which exhibits high-hardness properties but relatively possess low ductility and toughness characteristics. In the application of continuous load, this steel often to encounter lifetime defect and failure. From these problems, an engineering process is urgently needed to improve lifetime age and decrease hardness properties which will affects to give better ductility and toughness properties. Heat treatment aims to transform microstructure, sublimate crystal grain, and remove internal stress which gives alteration to mechanical properties. The research was acted by heating manganese austenitic steel to austenization temperature (1000 °C) and holding it in 120 minutes, followed by slow cooling process in the furnace. Quenching process was undergone by using oil as cooling media prior to tempering process. Tempering process involves three different temperature variations in 200 °C, 400 °C, and 600 °C. The selection of temperature variation was intended to find the change of microstructure and its effects to hardness properties. After tempering process finished, metallography technique and hardness test were acted by using optical microscope and Rockwell C method. Tempering temperature variations gives impact on the change of microstructure and hardness value. On 400 °C tempering temperature variation, manganese austenitic steel exhibits a significant microstructure which marked by the emergence of twin tempered-martensit among carbide matrix (FeMn₃C). These phenomena offer the effect of hardness value reduction up to 16,9 HRc, which inversely marked the increment of ductility and toughness manganese austenitic steel. Therefore, manganese austenitic steel as-result of tempering temperature 400 °C will possess better lifetime in the wide-range industry application.

Keywords: *manganese austenitic steel, tempering, microstructure, hardness*

1. Pendahuluan

Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan untuk proses produksi dan bahan baku dalam dunia industri. Salah satunya adalah baja mangan austenitik ASTM A128. Baja jenis ini banyak sekali digunakan pada industri peralatan berat, industri transportasi, industri logam, dan berbagai industri lainnya. Dalam pengaplikasiannya, baja mangan austenitik ini seringkali ditemukan permasalahan-permasalahan yang muncul di lapangan. Permasalahan yang umum terjadi adalah *lifetime defect* yang berpengaruh pada rusak material baja mangan austenitik sebelum umur pakainya habis. Di sisi lain, penurunan nilai sifat mekanik seperti nilai kekerasan, keuletan, dan ketangguhan menjadi hal yang biasa terjadi karena pembebanan yang dilakukan secara berkelanjutan. Proses rekayasa baja mangan austenitik diperlukan untuk meningkatkan karakteristik dan sifat mekaniknya.

Rekayasa baja umumnya dapat dilakukan dengan metode perlakuan panas. Perlakuan panas pada baja mangan austenitik dapat meningkatkan sifat mekanik baja yang lebih kuat agar tidak mudah patah. Perlakuan panas *annealing* dapat meningkatkan keuletan (*ductility*) baja tersebut sehingga baja dapat menahan beban kontinyu lebih baik dan umur baja akan lebih panjang. Abrianto[1] melakukan studi tentang analisis struktur mikro dan sifat mekanik baja mangan austenitik hasil proses perlakuan panas. Dalam hasil studinya dijabarkan bahwa perbedaan struktur mikro hasil proses *quenching* yang terdiri dari matriks austenit, sementara untuk proses *normalizing* dan *annealing* menunjukkan matriks ferit. Hidayat[2] telah meneliti tentang peningkatan nilai impak baja *hadfield* Mn 12 melalui proses perlakuan panas homogenisasi bertahap. Hasilnya menunjukkan bahwa proses pemanasan awal memberikan dampak positif, dimana proses pemanasan pada tahap austenisasi lebih efisien. Di sisi lain, Hussein[3] telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi temperatur *tempering* terhadap sifat mekanik dan mikro struktur pada baja mangan *hadfield* AISI 3401 *Hammer Clinker Cooler* PT Semen Gresik. Hasil penelitiannya menunjukkan pengaruh temperatur *tempering* yang signifikan dalam peningkatan sifat mekanik dan mikro struktur baja mangan *hadfield* AISI 3401 tersebut. Ketiga studi tersebut telah menunjukkan bahwa proses perlakuan panas sangat berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik baja mangan austenitik. Salah satu proses perlakuan panas yaitu proses *tempering* memiliki pengaruh yang signifikan dalam meningkatkan sifat mekanik baja dari yang mudah patah menjadi lebih kuat, atau juga dapat mengubah sifat mekanik baja dari getas menjadi lebih ulet[3]. Proses perlakuan panas *tempering* sendiri melibatkan dua proses yaitu proses *quenching*

dengan pendinginan cepat yang dilanjutkan dengan proses *tempering* itu sendiri dengan variasi temperatur yang berbeda. Variasi temperatur *tempering* ini akan berpengaruh pada proses homogenisasi mikrostruktur baja yang erat kaitannya dengan peningkatan kekuatan dan kekerasannya[4].

Dengan metode rekayasa perlakuan panas tersebut, diharapkan dapat terjadi perubahan karakteristik baja mangan austenitik yang nantinya akan memberikan sifat yang baru. Sifat baru ini dapat memberikan fungsi yang lebih baik untuk diaplikasikan. Perubahan karakteristik baja ini meliputi struktur mikro dan sifat mekaniknya. Maka dari itu, penelitian ini difokuskan mengenai rekayasa baja mangan austenitik dengan menggunakan tiga variasi temperatur *tempering* sebesar 200, 400, dan 600 °C. Ketiga variasi temperatur *tempering* tersebut digunakan untuk mengamati perubahan struktur mikro dan pengaruhnya terhadap sifat kekerasan baja mangan austenitik.

2. Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja mangan austenitik ASTM A 128. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini melibatkan beberapa proses yang terdiri dari preparasi spesimen, proses *annealing*, proses *tempering*, pengujian spektrometri, pengamatan metalografi, dan pengujian kekerasan.

2.1. Preparasi Spesimen

Pelat baja mangan austenitik dipotong dengan menggunakan gergaji tangan dengan dimensi 15x6x5 milimeter agar tidak terjadi perubahan struktur mikro karena kenaikan temperatur hasil gesekan proses pemotongan. Proses penggerindaan kemudian dilakukan untuk menghaluskan permukaan spesimen hasil pemotongan. Adapun spesimen yang digunakan berjumlah 5 (lima) buah untuk masing-masing spesimen tanpa perlakuan, proses *annealing*, *tempering* 200 °C, *tempering* 400 °C, dan *tempering* 600 °C.

2.2. Proses Annealing

Proses perlakuan panas *annealing* dilakukan dengan memanaskan spesimen baja mangan austenitik hingga mencapai temperatur austenisasi 1000 °C. Proses pemanasan ditahan selama 1 jam agar terjadi distribusi pemanasan yang merata, lalu didinginkan sangat lambat di dalam tungku *furnace* selama 24 jam.

2.3. Proses Tempering

Perlakuan panas *quenching* dilakukan terlebih dahulu dengan memanaskan spesimen baja mangan austenitik pada temperatur austenisasi 1000 °C selama 30 menit, lalu mendinginkannya secara cepat dengan mencelupkan spesimen ke dalam media pendingin oli. Setelah itu, dilakukan proses *tempering* spesimen baja mangan austenitik. Adapun

untuk proses *tempering* dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) variasi temperatur *tempering* yaitu 200, 400, dan 600 °C. Setiap spesimen baja dipanaskan hingga mencapai ketiga variasi *tempering* tersebut, lalu ditahan selama 180 menit. Proses *tempering* diakhiri dengan proses pendinginan sangat lambat yang dilakukan didalam tungku *furnace* selama 24 jam. Hasil dari proses ini merupakan spesimen baja yang nantinya akan dilakukan pengamatan metalografi dan pengujian kekerasan.

2.4. Pengujian Spektrometri

Untuk mengetahui komposisi kimia spesimen baja mangan austenitik yang digunakan pada penelitian ini agar sesuai standar ASTM A 128, maka dilakukan pengujian spektrometri menggunakan mesin *Optical Emission Spectrometer* ARL 3460. Pengujian ini akan menentukan jumlah kandungan unsur paduan pada spesimen baja mangan austenitik yang digunakan.

2.5. Pengamatan Metalografi

Pengamatan struktur mikro dari spesimen baja mangan austenitik dilakukan dengan menggunakan teknik metalografi (ASTM E3). Preparasi spesimen metalografi dipersiapkan dengan proses *mounting* memakai bakelit, lalu kemudian dilakukan *grinding* hingga halus dengan kertas amplas (100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000 *mesh*). Untuk menghilangkan *scratch* setelah diampas, maka dilakukan proses *polishing* dengan menggunakan pasta alumina hingga terlihat mengkilap. Selanjutnya, proses *etching* sesuai standar ASTM E340 dilakukan dengan campuran larutan HCl, HNO₃, dan gliserin. Setelah itu, spesimen baja mangan austenitik dapat diamati struktur mikronya dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus*. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan perbesaran mikroskop secara bervariasi hingga dapat didapatkan gambar struktur mikro yang *visible*.

2.6. Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen baja mangan austenitik maka dilakukan pengujian kekerasan Rockwell (ASTM E384) dengan menggunakan *Digital Hardness Testing Machine Mitutoyo HM-122*. Adapun pengujian kekerasan yang dipakai pada penelitian ini, menggunakan uji kekerasan Rockwell C dengan indenter kerucut *diamond*. Pembebanan yang diberikan pada alat pengujian ini yaitu *minor load* 10 kgf dan *major load* 150 kgf pada tiga titik indentasi dengan jarak setiap titiknya 200 µm dari spesimen baja mangan austenitik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Spektrometri


Uji spektrometri ini dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia spesimen baja mangan austenitik yang digunakan pada penelitian ini agar dapat dibandingkan dengan standar ASTM A 128[5]. Pada Tabel 1 ini ditunjukkan komposisi baja mangan austenitik standar ASTM A 128.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Mangan Austenitik standar ASTM A 128

ASTM A128	C %	Mn %	Cr %	Mo %	Ni %	Si % (max)	P % (max)
A	1.05-1.35	11.0 min	1.00			1.00	0.07
B-1	0.9-1.05	11.5-14.0				1.00	0.07
B-2	1.05-1.2	11.5-14.0				1.00	0.07
B-3	1.12-1.28	11.5-14.0				1.00	0.07
B-4	1.2-1.35	11.5-14.0				1.00	0.07
C	1.05-1.35	11.5-14.0	1.5-2.5			1.00	0.07
D	0.7-1.3	11.5-14.0			3.0-4.0	1.00	0.07
E-1	0.7-1.3	11.5-14.0		0.9-1.2		1.00	0.07
E-2	1.05-1.45	11.5-14.0		1.8-1.2		1.00	0.07
F	1.05-1.35	6.0-8.0		0.9-1.2		1.00	0.07

Setelah dilakukan pengujian spektrometri dari spesimen baja mangan austenitik yang digunakan, didapatkan hasil kandungan komposisi kimia seperti ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Uji Spektrometri Spesimen Baja Mangan Austenitik

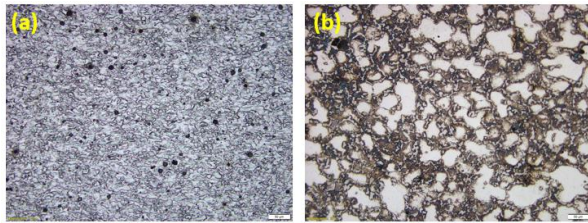
SPEKTROMETER EMISI OPTIK			
Foto benda Uji :	No	Unsur / Element	Nilai (%)
	1	Carbon (C)	1,13
	2	Silicon (Si)	0,413
	3	Sulfur (S)	0,024
	4	Phosphorus (P)	0,060
	5	Manganese (Mn)	13,01
	6	Nickel (Ni)	0,02
	7	Chromium (Cr)	0,60
	8	Molybdenum (Mo)	0,018
	9	Vanadium (V)	0,000
	10	Copper (Cu)	0,024
	11	Wolfram/Tungsten (W)	0,001
	12	Titanium (Ti)	0,002
	13	Tin (Sn)	0,004
	14	Aluminium (Al)	0,043
	15	Plumbum/Lead (Pb)	0,0004
	16	Antimony (Sb)	0,000
	17	Niobium (Nb)	0,000
	18	Zirconium (Zr)	0,000
	19	Zinc (Zn)	0,001
	20	Ferro/iron (Fe)	84,658

Berdasarkan hasil uji spektrometri pada tabel 2, dapat disimpulkan bahwa spesimen baja mangan austenitik yang digunakan pada penelitian ini telah sesuai standar baja mangan austenitik ASTM A 128 *grade A* dengan komposisi kimia (Fe = 84,658 %, C = 1,13 %, dan Mn = 13,01 %).

3.2. Pengamatan Metalografi

Spesimen baja mangan austenitik mengalami proses *annealing* dengan pemanasan hingga temperatur austenisasi. Hal ini menyebabkan perubahan struktur mikro daripada spesimen baja mangan austenitik yang tidak mengalami perlakuan panas. Pada Gambar 1(a) menunjukkan struktur mikro baja mangan austenitik tanpa perlakuan, sementara itu pada Gambar 1(b) memperlihatkan

struktur mikro baja mangan austenitik yang telah mengalami proses *annealing*.

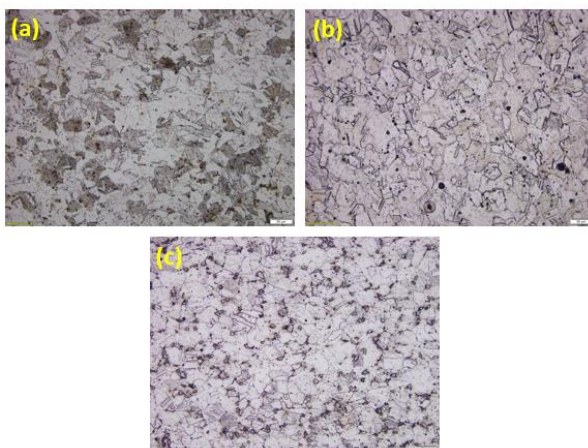


Gambar 1. Struktur mikro baja mangan austenitik: (a) tanpa perlakuan, (b) hasil proses *annealing*

Struktur mikro yang terlihat pada baja mangan austenitik tanpa perlakuan menunjukkan dominasi fasa matriks austenit dan butiran-butiran fasa karbida (FeMn_3C) yang halus[6]. Fasa austenit ini diakibatkan karena banyaknya komposisi kandungan penstabil austenit yang tinggi. Karbida halus (FeMn_3C) terbentuk pada batas-batas butir austenit. Kandungan karbon (C) yang tinggi terlihat dengan terbentuknya butiran (*grain*) berwarna hitam.

Pada umumnya, baja dengan hasil perlakuan panas *annealing* memiliki struktur mikro karbida sementit. Karbida sementit merupakan senyawa besi karbon (Fe_3C) dengan sel satuan orthorombik dan bersifat keras[7]. Namun demikian, struktur yang terlihat pada baja mangan austenitik dengan perlakuan *annealing* menunjukkan fasa matriks austenit yang menjadi dominan dari sebelum perlakuan dan butiran-butiran fasa karbida (FeMn_3C) menjadi lebih kasar. Matriks austenit ini akan semakin banyak seiring dengan semakin lamanya waktu tahan (*holding time*). Sedangkan struktur karbida mangan terlihat membentuk *coarse grain*[8]. Hal ini terjadi karena waktu tahan yang kurang saat pemanasan sehingga menjadi kurang larut.

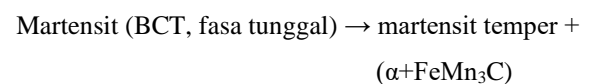
Adapun perbandingan struktur mikro baja mangan austenitik hasil proses *tempering* dengan tiga variasi temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur mikro baja mangan austenitik

hasil proses *tempering* dengan variasi temperatur: (a) 200 °C, (b) 400 °C, dan (c) 600 °C.

Gambar 2(a) menunjukkan struktur mikro baja mangan austenitik dengan proses *tempering* pada temperatur 200 °C. Struktur yang terbentuk pada perlakuan ini adalah austenit, martensit temper dan matriks karbida dengan batas butir yang halus. Austenit ini masih mendominasi karena merupakan struktur utama dari baja mangan austenitik. Martensit temper merupakan struktur martensit yang telah mengalami proses *tempering*. Struktur martensit ini terbentuk karena pendinginan cepat pada proses *quenching* yang telah dilakukan sebelum proses akhir *tempering*. Proses *quenching* yang telah dilakukan akan menghasilkan struktur mikro martensit. Struktur ini memiliki struktur kristal BCT (*Body Centered Tetragonal*) dan bersifat metastabil. Apabila dilakukan pemanasan kembali secara bertahap, karbon yang terperangkap dalam struktur BCT akan keluar dan menjadi karbida, sehingga strukturnya akan berubah menjadi BCC (*Body Centered Cubic*) [6,9]. Perubahan fasa dan struktur kristal ini dapat terjadi pada proses *tempering*, melalui reaksi berikut:



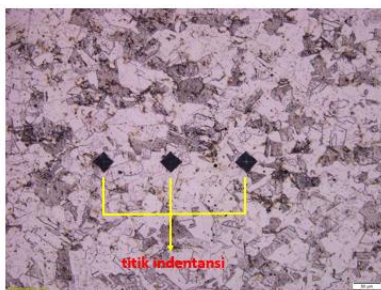
Gambar 2(b) memperlihatkan struktur mikro baja mangan austenitik setelah *ditemper* dengan temperatur 400 °C. Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen baja ini adalah matriks austenit, matriks *twinning* dan matriks karbida dengan batas butir yang lebih kasar dari proses *tempering* 200 °C. Pada hasil pengamatan terlihat matriks *twinning* atau martensit kembar, hal ini terjadi jika kadar C dalam baja tinggi. Pada reaksi *twinning* ini timbul energi regangan elastis yang harus diakomodasi pada batas kembaran-matriks yang koheren supaya tidak terjadi retak pada lamela martensit[10]. Matriks karbida (FeMn_3C) terlihat lebih kasar, hal ini terjadi seiring dengan naiknya temperatur *tempering*.

Gambar 2(c) menunjukkan struktur mikro baja mangan austenitik dengan variasi temperatur *tempering* 600 °C. Struktur mikro yang terbentuk pada proses ini adalah austenit, martensit temper dan matriks karbida dengan batas butir yang kasar. Pada perlakuan *quench-tempering*, martensit temper menjadi lebih banyak karena temperatur *tempering* yang tinggi dan waktu pendinginan cepat, selain itu distribusi yang lebih merata bila dibandingkan dengan proses *tempering* sebelumnya[11]. Matriks austenit pada kondisi proses ini terlihat masih mendominasi namun jauh lebih sedikit dari variasi temperatur proses *tempering* 200 °C dan 400 °C.

3.3. Pengujian Kekerasan

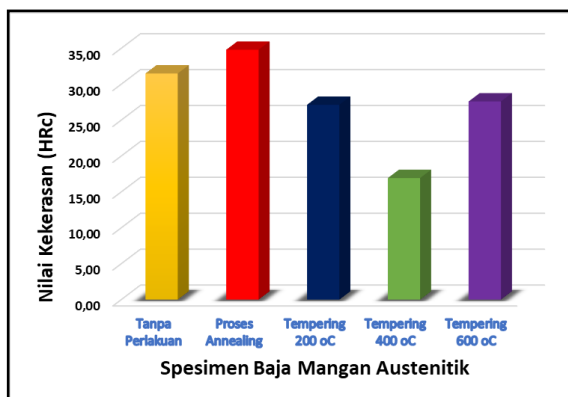
Pengujian kekerasan menjadi salah satu parameter sifat mekanik yang harus diperhatikan

pada penelitian ini. Hal ini dimaksudkan untuk dapat membandingkan perubahan nilai kekerasan yang terjadi setelah diberikan variasi temperatur proses *tempering* yang berbeda-beda yang nantinya dapat dihubungkan dengan nilai kekuatan, keuletan, dan ketangguhan. Kekerasan sendiri dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan gaya deformasi, goresan, dan tusukan/indentasi. Kekerasan pada baja sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia terutama kadar karbon (C) dan struktur mikro baja. Proses indentasi spesimen baja mangan austenitik dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali percobaan pada titik yang berbeda. Pada Gambar 3, terlihat hasil proses indentasi yang berada pada lokasi fasa baja mangan austenitik yang berbeda. Hal ini akan mengakibatkan perbedaan nilai kekerasan sehingga perlu untuk dibuat rerata dari nilai kekerasan yang akan menggambarkan nilai kekerasan umum pada spesimen baja mangan austenitik ini.



Gambar 3. Titik indentasi pengujian kekerasan pada spesimen

Maka, dari hasil indentasi pengujian kekerasan tersebut, didapatkan rerata nilai kekerasan dari setiap spesimen baja mangan austenitik tanpa perlakuan, dengan proses *annealing*, *tempering* 200 °C, 400 °C, dan 600 °C seperti dapat dilihat pada Grafik berikut.



Gambar 4. Nilai Kekerasan Hasil Pengujian Rockwell C (HRC) Spesimen Baja Mangan Austenitik

Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa spesimen baja mangan austenitik tanpa perlakuan dan proses *annealing* memiliki nilai kekerasan yang

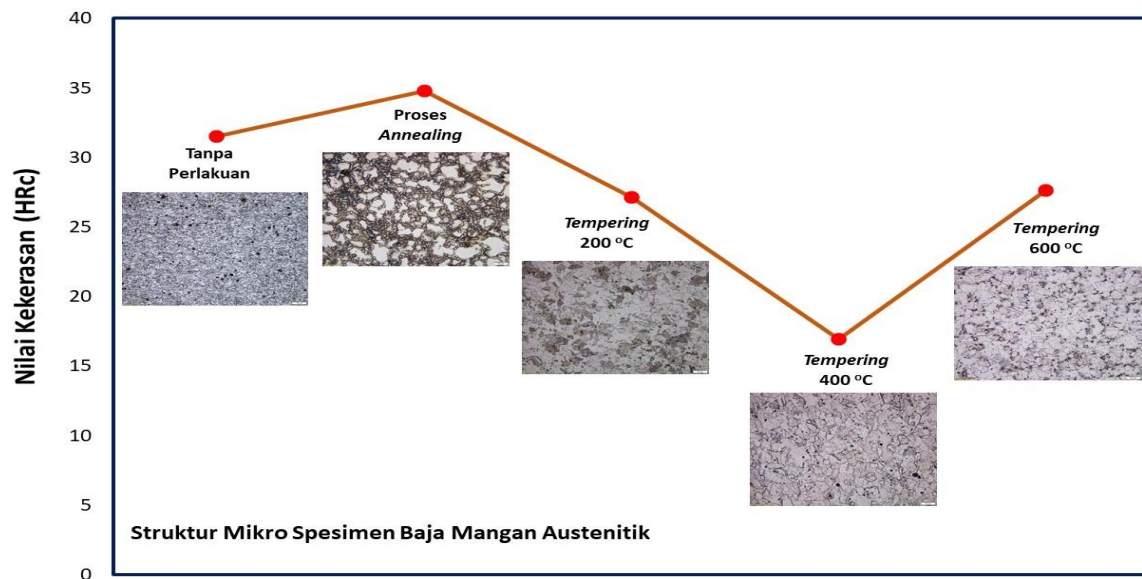
lebih tinggi daripada spesimen baja mangan austenitik hasil proses *tempering*. Spesimen baja mangan austenitik tanpa perlakuan dan hasil proses *annealing* berturut-turut memiliki nilai kekerasan sebesar 31,5 HRC dan 34,8 HRC. Hal ini terjadi karena struktur matriks austenit yang dominan dan karbida (FeMn_3C) yang masih berbentuk butiran kasar[12,13]. Pada nilai kekerasan baja mangan austenitik hasil proses *tempering* menunjukkan penurunan yang signifikan. Hal ini merupakan akibat dari proses *tempering* yang bertujuan untuk merapatkan struktur kristal guna menghindari terjadinya retak akibat proses *quenching* yang seharusnya meningkatkan nilai kekerasan[14].

Di sisi lain, karbon yang keluar dari struktur martensit akan menyebabkan tegangan didalam berkurang sehingga kekerasannya juga berkurang. Kekerasan terkecil terdapat pada spesimen baja mangan austenitik hasil proses *tempering* 400 °C sebesar 16,9 HRC. Sementara itu, untuk spesimen baja hasil proses *tempering* 200 °C dan 600 °C berturut-turut sebesar 27,13 HRC dan 27,6 HRC.

3.4. Pengaruh Proses *Tempering* terhadap Struktur Mikro dan Sifat Kekerasan

Proses perlakuan panas *tempering* yang dilakukan pada *post-annealing* baja mangan austenitik memberikan perubahan yang signifikan pada struktur mikro dan sifat kekerasan. Baja mangan austenitik atau lebih dikenal luas dengan nama baja *hadfield* umumnya memiliki sifat kekerasan yang tinggi sehingga karakteristik ini memberi efek pada rendahnya nilai kekuatan (*strength*), keuletan (*ductility*), dan ketangguhan (*toughness*). Pada aplikasi dengan beban yang kontinyu, maka karakteristik baja mangan austenitik ini akan mudah terdeformasi dan *failure*. Maka dari itu, proses *tempering* ini sangat diperlukan dalam mengubah sifat keuletan tersebut agar menjadi lebih baik.

Dari hasil pengamatan metalografi, spesimen baja mangan austenitik tanpa perlakuan dan hasil proses *annealing* didominasi oleh struktur mikro dengan fasa matriks austenit. Perubahan struktur mikro baja mangan austenitik yang umumnya memiliki fasa austenit ini terjadi setelah diberi proses *tempering*. Matriks austenit bertransformasi menjadi fasa karbida (FeMn_3C) dan martensit *temper*. Martensit ini hanya bisa terbentuk dari transformasi fasa austenit. Perubahan matriks fasa austenit menjadi martensit *temper* ini akan berpengaruh pada penurunan nilai kekerasan baja mangan austenitik. Efek variasi temperatur *tempering* menghasilkan perubahan struktur mikro dan penurunan nilai kekerasan yang berbeda-beda. Dengan demikian, ditemukan adanya hubungan perubahan struktur mikro dan penurunan nilai kekerasan tersebut.



Gambar 5. Hubungan Perubahan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Mangan Austenitik

Grafik diatas memperlihatkan hubungan perubahan nilai kekerasan dan struktur mikro baja mangan austenitik. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan perubahan nilai kekerasan yang signifikan terutama pada baja mangan austenitik hasil proses *tempering* 400 °C yaitu sebesar 16,9 HRC. Apabila dihubungkan dengan struktur mikro, baja mangan austenitik hasil *tempering* 400 °C terdapat perbedaan yang signifikan dengan hasil *tempering* 200 °C dan 600 °C, yang ditandai dengan munculnya martensit temper kembar (*twinning*) diantara matriks karbida ($FeMn_3C$). Kemunculan martensit temper kembar ini dipicu oleh timbulnya regangan elastis yang harus diakomodir oleh kembaran-matriks *boundary* yang saling berhubungan satu sama lain agar tidak terjadi retak antar lamela martensit[10,15]. Di sisi lain, spesimen baja mangan austenitik tanpa perlakuan dan hasil proses *annealing* memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi (31,5 dan 34,8 HRC). Hal ini disebabkan oleh struktur mikro yang didominasi fasa matriks austenit yang mempertahankan sifat awal kekerasan baja mangan austenitik tersebut.

Maka dari itu, nilai kekerasan paling kecil pada baja mangan austenitik ini merupakan hasil proses *tempering* 400 °C. Nilai terkecil tersebut sejalan dengan perubahan struktur mikro yang signifikan bila dibandingkan dengan spesimen hasil perlakuan panas lainnya. Dengan kata lain, baja mangan austenitik hasil proses *tempering* 400 °C memiliki kekuatan, keuletan, dan ketangguhan yang lebih baik. Peningkatan sifat mekanik tersebut merupakan timbal balik dari hasil penurunan nilai kekerasan[16]. Pada akhirnya, pengaruh proses *tempering* 400 °C sangat berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan penurunan sifat

kekerasan yang signifikan sehingga menghasilkan sifat mekanik baja mangan austenitik yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variasi temperatur proses *tempering* sangat berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan sifat kekerasan baja mangan austenitik. Baja mangan austenitik hasil proses *tempering* 400 °C memiliki nilai kekerasan terkecil sebesar 16,9 HRC dan struktur mikro yang signifikan dengan kemunculan martensit kembar (*twinning*) dan fasa karbida ($FeMn_3C$) berbutir kasar dalam matriks austenit. Dengan demikian, baja mangan austenitik tersebut memiliki kekuatan, keuletan, dan ketangguhan yang baik sehingga akan sangat berguna dalam lingkungan aplikasi yang memiliki pembebanan berkelanjutan dan memiliki *lifetime* yang panjang.

Referensi

- [1] A. Abrianto. "Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Mangan Austenitik Hasil Proses Perlakuan Panas". *Jurnal Teknik*, Vol. VII, No. 2, pp. 90-99, 2008.
- [2] E. Hidayat dan B. Bandanadaja. "Peningkatan Nilai Impak Baja Mangan Hadfield Mn 12 Melalui Proses Perlakuan Panas Homogenisasi Bertahap". *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*. Vol. 01, No. 02, pp. 9-14, 2018.
- [3] C. Hussein dan Sadino. "Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanik dan Mikro Struktur Pada Baja

- Mangan Hadfield AISI 3401 Hammer Clinker Cooler PT Semen Gresik”. *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-4, 2012.
- [4] Khalid, Kardiman, dan V. Naubnome. “Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Baja AISI 1045 Sebagai Bahan Pisau Mesin Pencacah Plastik”. *Dinamika : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 12, No. 1, pp. 19-25, 2020.
- [5] ASTM International, “ASTM A128 / A128M-19 Standard Specification for Steel Castings-Austenitic Manganese.” West Conshohocken, PA, 2019.
- [6] Aa Santosa dan M. Jimi. “Pengaruh Perbedaan Komposisi Mangan Pada Komponen Jaw Plate Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro”. *Infomatek*, Vol. 20, No. 1, pp. 51-58, 2018.
- [7] M. Steven Leria H.S. “Pemulihan Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Karbon Setelah Mengalami Pemesinan Dengan Perlakuan Panas Annealing”. *Jurnal Teknik Mesin UBL*, Vol. 4, No. 2, pp. 1-4, 2017.
- [8] E. Pujiyulianto, S.B. Pratomo, dan Pawawoi. “Pengaruh Karbon Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Mangan Austenitik”. *Jurnal Metal Indonesia*, Vol. 40, No. 1, pp. 17-25, 2018.
- [9] Y. Handoyo. “Pengaruh Quenching dan Tempering Pada Baja JIS Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft”. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 3, No. 2, pp. 102-115, 2015.
- [10] H. Wahyudi, T. Dirgantara, R. Suratman, dan A. Ramelan. “Pengaruh Faktor dan Mekanisme Pengerasan Regangan Baja Hadfield”. *Mesin*, Vol. 27, No. 2, pp. 40-54, 2018.
- [11] S. Mizhar dan Suherman. “Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140”. *Jurnal Dinamis*, Vol. 2, No. 8, pp. 21-26, 2011.
- [12] B.J.M. Beumer. *Ilmu Bahan Logam Jilid I*. Jakarta: Bharatara Karya Aksara, 2008, pp. 89-91.
- [13] A.N. Setyo HD dan S. Widodo. “Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering”. *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 8-17, 2018.
- [14] U. Gurol and S.C. Kurnaz. “Effect Carbon and Manganese Content on The Microstructure and Mechanical Properties of High Manganese Austenitic Steel”. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, Vol. 56, No. 2, pp. 171-182, 2020.
- [15] B. Arto. “Analisis Waktu Penuaan Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Paduan Ingat Bentuk $Cu_{53,4}Zn_{38,6}Pb_{5,7}Sn_{2,3}$,” pada *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 11*, pp. 12-16, 2016.
- [16] H.R. Jafarian, M. Sabzi, S.H. Mousavi Anijdan, A.R. Eivani, N. Park. “The Influence of Austenitization Temperature on Microstructural Developments, Mechanical Properties, Fracture Mode and Wear Mechanism of Hadfield High Manganese Steel”. *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 10, pp. 819-831, 2021.