

Pengaruh Waktu Proses Dct Pada Baja Mangan Dengan Penambahan 17,4 Cr dan 18,4 Cr Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Keausan

Jefrianus Pue Wea¹, Ratna Kartikasari^{2,*}, Angger Bagus Prasetyo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

*Corresponding author: ratna@itny.ac.id

Abstract

Austenitic manganese steel or high manganese steel is an alloy steel containing 0.9-1.2% carbon and 11-14% manganese. The high levels of carbon and manganese make this material at room temperature a very dominant austenite phase. This steel has wear resistance, fairly high hardness, good toughness and corrosion resistance. Some applications demand a high level of hardness. The aim of this study was to analyze the effect of the Deep Cryogenic Treatment (DCT) processing time on manganese steel with the addition of 17.4 Cr and 18.4 Cr on microstructure, hardness and wear. The stages of the research started with the preparation of the specimens, namely cutting the Fe-Cr-Mn alloy for the composition test, microstructure test, hardness test and wear test. The Deep Cryogenic Treatment process is carried out by immersion in liquid nitrogen at a temperature of -196°C with time variations of 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours, and 5 hours, followed by returning to room temperature (warming). The tests carried out were the microstructure test with an optical microscope, the hardness test using the Vickers method and the wear test using the Ogoshi method. The results of the chemical composition test at ϕ 12 mm showed the percentage of Fe content was 71.22%, Cr 17.39%, Mn 9.35%, C 0.09% while at ϕ 14 mm showed the percentage of Fe content was 69.95%, Cr 18.44%, 9.39% Mn, 0.09% C so that it is a high alloy steel. Microstructural observations show that this alloy has an austenite and ferrite structure, whereas the Deep Cryogenic Treatment process at all time variations produces austenite and ferrite structures as well as α FeCr. The hardness value of the Fe-Cr-Mn alloy on the raw material specimen ϕ 12 mm was 241.5 kg/mm² and at ϕ 14 mm it was 310.6. DCT process ϕ 12 has decreased while ϕ 14 mm has increased. The results of the wear test at ϕ 12 mm were 0.000213 mm³/kg.m while the wear at ϕ 14 mm was 0.000176 with a Deep Cryogenic Treatment immersion time of 5 hours, the lower the hardness value, the higher the wear value.

Keywords: Fe-Cr-Mn Alloy, Deep Cryogenic Treatment, Microstructure, Hardness and Wear.

Abstrak

Baja mangan austenitik atau baja mangan tinggi merupakan salah satu baja paduan yang mengandung 0,9-1,2 % karbon dan 11-14 % mangan. Tingginya kadar karbon dan mangan membuat material ini pada temperatur kamar mengandung fasa austenite yang sangat dominan. Baja ini memiliki ketahanan terhadap keausan, kekerasan yang cukup tinggi, ketangguhan yang baik dan tahan terhadap korosi. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh waktu proses Deep Cryogenic Treatment (DCT) pada baja mangan dengan penambahan 17,4 Cr dan 18,4 Cr terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan. Tahapan penelitian dimulai dari persiapan spesimen yaitu memotong paduan Fe-Cr-Mn untuk uji

komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji keausan. Proses Deep Cryogenic Treatment dilakukan dengan perendaman dalam nitrogen cair pada temperatur - 196°C dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam, dilanjutkan pengembalian kembali ke suhu kamar (warming). Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro dengan mikroskop optik, uji kekerasan menggunakan metoda Vickers dan uji keausan menggunakan metoda Ogoshi. Hasil pengujian komposisi kimia pada \varnothing 12 mm menunjukkan persentase kandungan Fe 71,22%, Cr 17,39%, Mn 9,35%, C 0,09% sedangkan pada \varnothing 14 mm menunjukkan presentase kandungan Fe 69,95%, Cr 18,44%, Mn 9,39%, C 0,09% sehingga termasuk baja paduan tinggi. Pengamatan struktur mikro menunjukkan paduan ini mempunyai struktur austenit dan ferit, dimana proses Deep Cryogenic Treatment pada semua variasi waktu menghasilkan struktur austenit dan ferit. Nilai kekerasan paduan Fe-Cr-Mn pada spesimen raw material \varnothing 12 mm sebesar 241,5 kg/mm² dan pada \varnothing 14 mm sebesar 310,6. Proses DCT \varnothing 12 mengalami penurunan sedangkan \varnothing 14 mm mengalami peningkatan. Hasil uji keausan pada \varnothing 12 mm sebesar 0,000213 mm³/kg.m sedangkan keausan pada \varnothing 14 mm sebesar 0,000176 dengan waktu perendaman Deep Cryogenic Treatment selama 5 jam, semakin rendah nilai kekerasan maka akan menyebabkan nilai keausan semakin tinggi.

Kata kunci: Paduan Fe-Cr-Mn, Deep Cryogenic Treatment, Struktur mikro, Kekerasan dan Keausan.

PENDAHULUAN

Baja adalah paduan logam yang komponen utamanya adalah besi, dengan karbon sebagai unsur paduan utama. Karbon bekerja sebagai agen pengeras, mencegah atom besi, yang secara alami teratur dalam lattice, bergeser melalui satu sama lain. Memvariasikan jumlah karbon dan penyebaran paduan dapat mengontrol kualitas baja. Berdasarkan komposisi karbon, baja dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu; baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi [1]. Struktur mikro pada baja dapat dipengaruhi oleh komposisi paduan baja dan perlakuan panas. Struktur mikro merupakan gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang diamati melalui teknik metalografi. Berbagai macam unsur ditemukan dalam baja karbon dan paduan, seperti: fasa ferit, fasa sementit, fasa martensit, fasa perlit, dan fasa bainit. Unsur paduan pada baja berpengaruh pada pembentukan fasa dalam struktur mikro [2].

Baja mangan merupakan salah satu baja penting yang digunakan dalam industri dan memiliki aplikasi yang luas karena mempunyai ketahanan aus yang baik, kemampuan work hardening yang tinggi dengan ketangguhan dan keuletan yang tinggi [3]. Salah satu fungsi penambahan Mangan (Mn) pada paduan besi adalah untuk menetralkan pengaruh dari kandungan sulfur di dalam paduan besi [4]. Sulfur dalam paduan besi menyebabkan paduan menjadi getas karena akan membentuk besi sulfida. Umumnya kadar penambahan mangan di dalam paduan besi sekitar 5 kali dari kadar sulfur yang terkandung di dalam besi. Sehingga, jika kadar sulfur di dalam besi sekitar 0,1 % maka jumlah mangan yang ditambahkan pada paduan seharusnya 0,5 %. Jika penambahan mangan mencapai lebih dari 1% akan menyebabkan mangan menjadi penstabil karbida walaupun sangat lemah. Penambahan mangan sering dilakukan pada cupola kemudian dilakukan penuangan untuk menghasilkan pig iron atau silicomangan briket [5]. Selain itu unsur Mn (mangan) juga dapat meningkatkan kekerasan secara signifikan dan juga unsur Mn (mangan) lebih murah dibandingkan dengan unsur Ni (Nikel) maka unsur Mn (mangan) banyak dikembangkan sebagai pengganti unsur Ni (Nikel) yang mahal. Baja Paduan Fe-Cr-Mn merupakan salah satu tipe baja tahan karat [6].

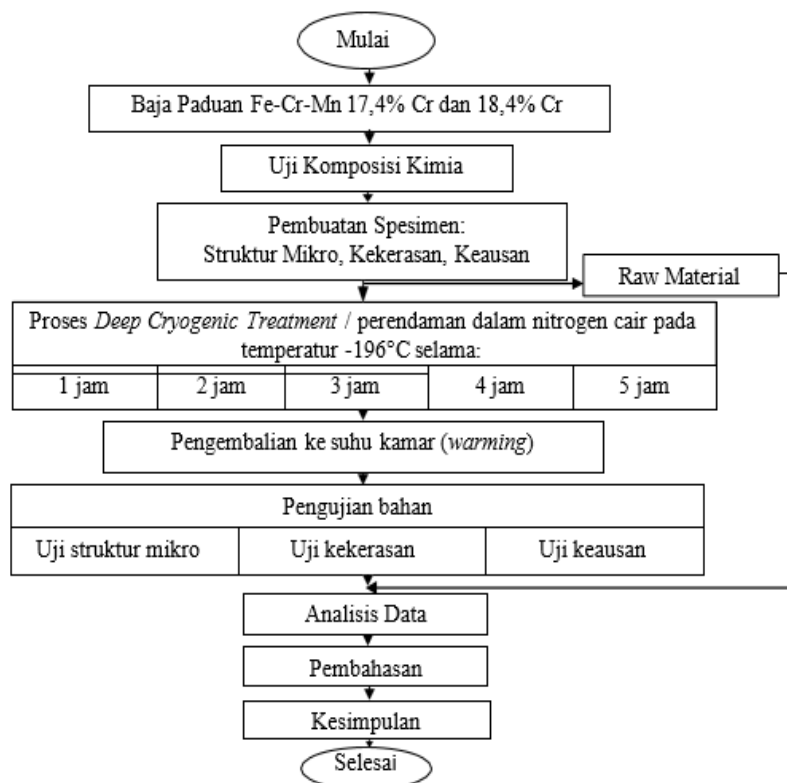
Baja mangan austenitik atau disebut juga dengan baja mangan Hadfield, memiliki kandungan mangan yang tinggi antara 11%-18%. Pada tahun 1982 Robert Hadfield membuat baja mangan austenitic dan komposisi baja mangan austenitic di perkenalkan pertama kali secara komersial adalah baja mangan dengan kandungan karbon 1,2% dan mangan 12,5%. Baja

mangan sulit untuk di lakukan proses permesinan dan pembentukan. Hal ini di karenakan baja mangan memiliki nilai kuat luluh yang rendah dengan nilai 345 – 415 [7]. Duplex stainless steel dapat dianggap sebagai kromium-molibdenum. Baja tahan karat ferrit dibentuk dengan keseimbangan ferritic dan austenitic pada suhu kamar menghasilkan kromium yang tinggi dan molibdenum, bertujuan agar ketahanan korosi yang baik dari ferrite stainless steel serta menguntungkan sifat mekanik austenitic stainless steel [8].

Deep Cryogenic Treatment (DCT) adalah proses perlakuan material pada suhu kriogenik (-196°C). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus dan mengurangi tegangan sisa. Salah satu perlakuan pengerasan suatu logam yang cukup dikenal yaitu DCT [9]. DCT merupakan perlakuan panas pada baja yang melibatkan perendaman pada temperatur sub-zero pada selang waktu tertentu kemudian dipanaskan kembali pada temperatur ruang dan dilanjutkan dengan pemanasan (tempering) selama 1 hingga 2 jam. DCT merupakan perlakuan yang diberikan pada baja dengan tujuan untuk menghilangkan retained austenite yang terbentuk setelah proses perlakuan panas konvensional sehingga akan dihasilkan baja dengan struktur mikro martensit dengan persentase austenit sisa yang lebih rendah sehingga akan mendapatkan baja dengan kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik [10]. Beberapa aplikasi mensyaratkan paduan Fe-Cr-Mn memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dicoba menggunakan proses austenitisasi-Quenching-DCT-aging yang dinyatakan bebas internal stress dan austenit sisa untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus paduan Fe-Cr-Mn. Penelitian ini menganalisis tentang pengaruh waktu peroses DTC pada baja mangan dengan penambahan 17,4 Cr, 18,4 Cr terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan prosedur sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 buah paduan Fe-Cr-Mn berbentuk silinder dengan diameter 14 mm (kadar Cr 18,4%) dan 12 mm (kadar Cr 17,4%). Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung didalam spesimen menggunakan spectrometer. Proses Deep Cryogenic Treatment dilakukan pada spesimen uji yang berjumlah 20 spesimen, dengan variasi waktu yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Alat yang digunakan pada proses Deep Cryogenic Treatment adalah tabung nitrogen cair GT 3, setelah itu mengembalikan temperatur spesimen pada temperatur kamar (warming), Proses pengamplasan dilakukan dengan menggunakan mesin poles menggunakan amplas nomor 400, 600, 800, dan 1000 mesh (butir silicon carbide per inci persegi). Tahap pemolesan bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang rata dan mengkilat, tidak boleh ada goresan yang merintang selama pengujian struktur mikro. Bahan poles digunakan autosol. Sebelum melakukan uji struktur mikro benda uji di teteskan menggunakan cairan etsa (HNO₃ + HCl) 1: 3 selama beberapa detik kemudian spesimen dibersihkan dengan alkohol dan dikeringkan dengan hairdrier. Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan Mikroskopik Optik. uji kekerasan menggunakan metode Vickers, dan uji keausan metode Ogoshi milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program Vokasi UGM

HASIL DAN PEMBAHASAN

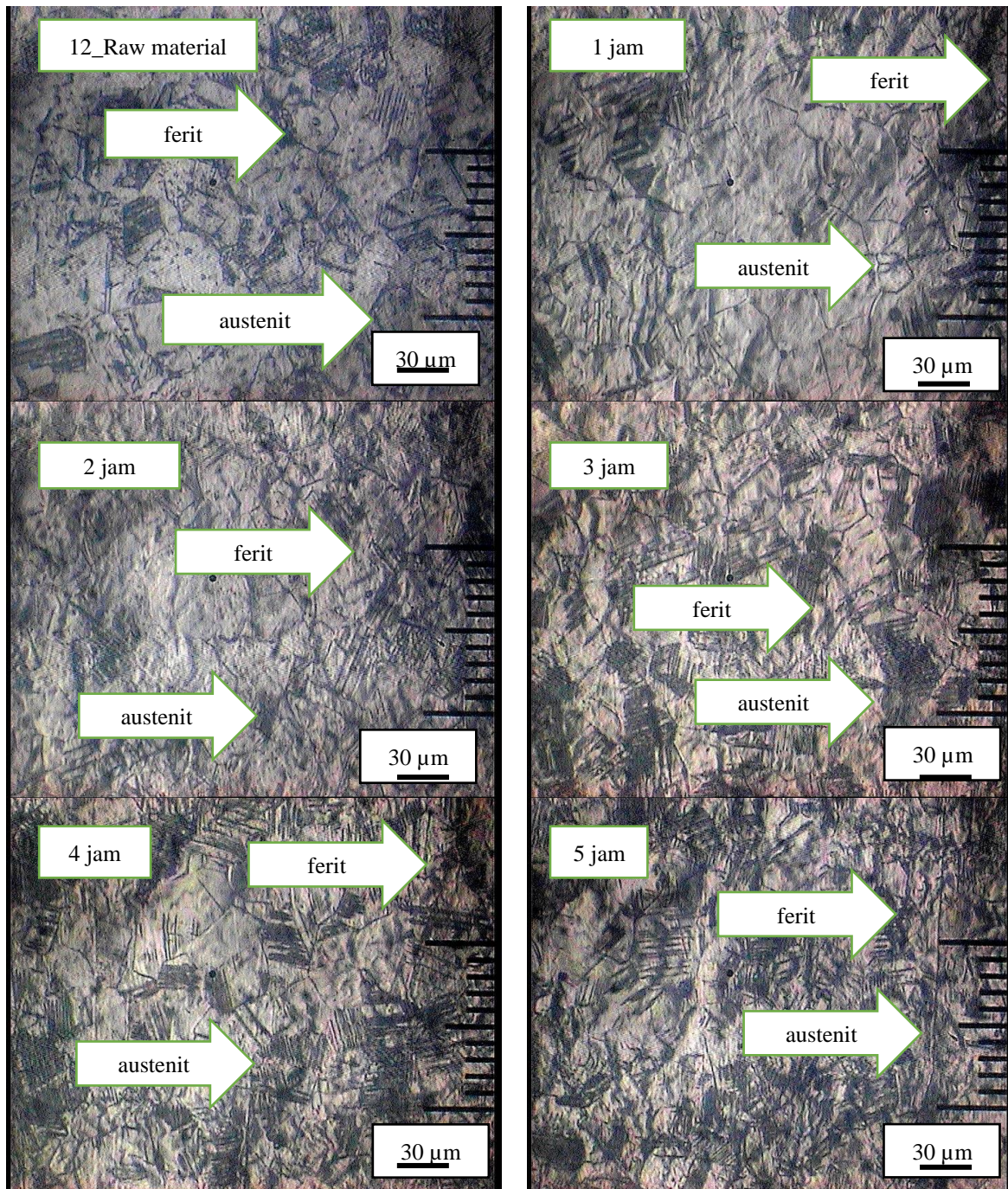
Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi.

Unsur	(% Berat)	
	Ø 12	Ø 14
C	0,09	0,09
Si	0,4	0,52
Mn	9,35	9,39
P	0,02	0,02
Cr	17,39	18,44
Al	0,02	0,03
Sn	0,01	0,01
Cu	0,82	0,85
Ni	0,45	0,47
Mo	0,05	0,05
Nb	0,02	0,02
V	0,07	0,07
Pb	0,03	0,02
Zn	0,05	0,05
Fe	71,22	69,95
Total	100%	100%

Penambahan unsur kromium (Cr) sebagai pembentuk dan penstabil ferit kedalam paduan Fe-Cr-Mn dengan diameter 12 mm sebesar 17,4% dan diameter 14 mm sebesar 18,4%, kromium meningkatkan ketahanan korosi paduan dan digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus, penambahan unsur Mangan (Mn) yang merupakan unsur pembentuk dan penstabil austenit ke dalam paduan Fe-Cr-Mn dengan diameter 12 mm sebesar 9,35% dan diameter 14 mm sebesar 9,39% dalam sistem paduan membuat butiran lebih kecil, meningkatkan kekuatan tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga baja menjadi semakin kuat dan ulet (Cardarelli, 2008). Unsur karbon (C) dalam paduan ini sangat kecil dengan jumlah 0,09% menyebabkan paduan ini mudah dibentuk karena kekuatannya relatif rendah, lunak dan

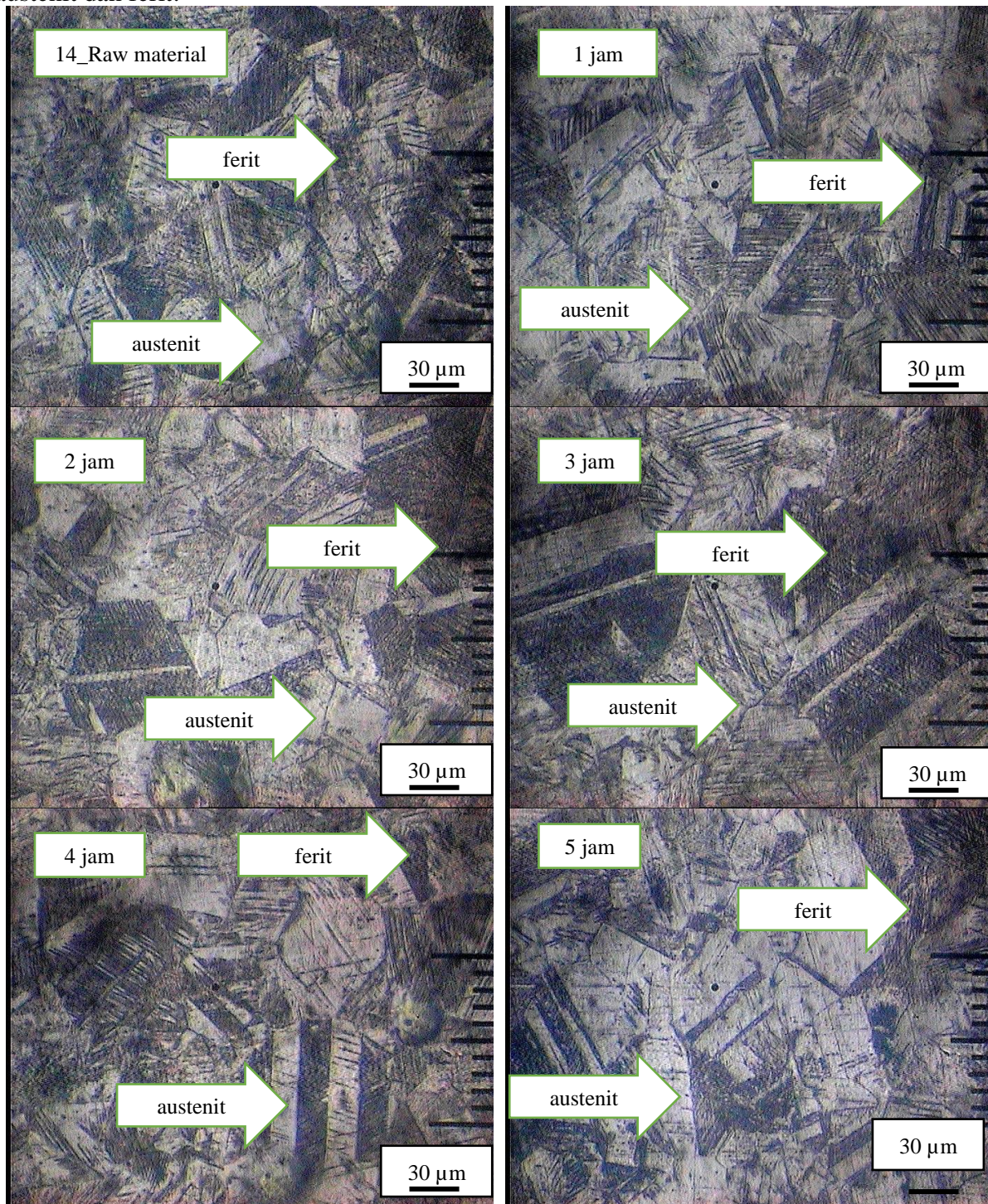
keuletannya tinggi (Avner, 1974). Unsur yang lain tidak berpengaruh terhadap sistem paduan karena kandungan yang ada relatif kecil.



Gambar 2. Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn raw material dan proses DCT Ø 12 mm

Hasil foto struktur mikro pada baja paduan Fe-Cr-Mn diameter 12 mm dan 14 mm pada Gambar 2, menunjukkan bahwa spesimen raw material berstruktur austenit dan ferit. paduan Fe-Cr-Mn diameter 12 mm lebih kecil dari pada diameter 14 mm dimana terdapat struktur austenit berwarna putih terang sedangkan ferrit berwarna lebih gelap (ferrit FeCr), hal ini dikarenakan unsur (Cr) yang terkandung dalam coran paduan Fe-Cr-Mn merupakan unsur pembentuk dan penstabil ferrit, unsur mangan merupakan unsur pembentuk dan penstabil austenit (Cardarelli, 2008). Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun disisi lain membuatnya getas serta menurunkan

keuletanya (Amanto dan Daryanto; 1999). Spesimen proses deep cryogenic treatment dengan waktu perendaman 1 jam (Gambar 2) menunjukkan struktur mikro yang terbentuk adalah austenit dan ferit.



Gambar 3. Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn raw material dan proses DCT Ø 14 mm

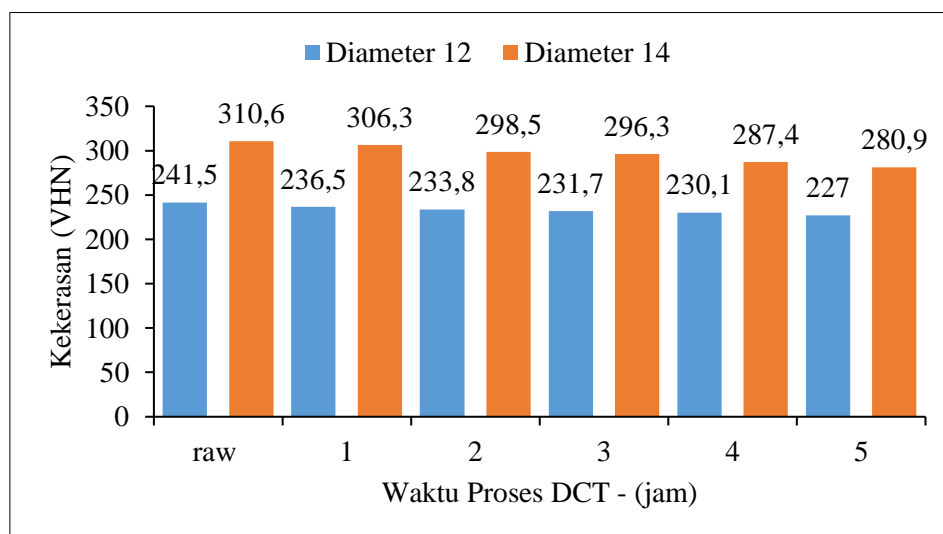
Proses setelah DCT pada ϕ 12 mm dan ϕ 14 mm menyebabkan struktur austenite dan ferit menjadi lebih kecil. Spesimen proses deep cryogenic treatment dengan waktu perendaman 2 jam (Gambar 4) menunjukkan struktur mikro yang terlihat adalah struktur ferit yang tumbuh secara merata dan daerah pertumbuhan struktur austenit menjadi semakin mengecil tetapi tidak signifikan. Spesimen proses deep cryogenic treatment dengan waktu perendaman 3 jam (Gambar 3) pada ϕ 12 mm menunjukkan struktur austenit yang terbentuk butiran relatif lebih

kecil diikuti perubahan butir ferit yang kecil. Struktur ferit terlihat lebih rapat dan luasan daerah ferit yang menjadi kecil dikarenakan terhambatnya laju pertumbuhan butir, sedangkan struktur mikro pada ϕ 14 mm menunjukkan struktur ferit yang terbentuk dengan batas butir relatif besar dan diikuti berkurangnya pertumbuhan austenit. Struktur austenit terlihat lebih rapat dan luasan daerah austenit yang menjadi kecil dikarenakan terhambatnya laju pertumbuhan butir.

Spesimen proses *deep cryogenic treatment* dengan waktu perendaman 4 jam (Gambar 2) pada ϕ 12 mm menunjukkan struktur yang terbentuk adalah austenite dan ferit yang tumbuh secara merata dan menjadi lebih kecil, sedangkan pada ϕ 14 mm menunjukkan struktur yang terbentuk adalah ferit yang dominan dengan pertumbuhan butir yang besar dan pertumbuhan struktur austenit menjadi lebih kecil karena terhambat oleh laju pertumbuhan butir ferit. Spesimen proses *deep cryogenic treatment* dengan waktu perendaman 5 jam (Gambar 2 pada ϕ 12 mm menunjukkan bahwa butir austenite maupun ferit semakin kecil karena laju pertumbuhan ferit terhalang oleh daerah butir austenit yang semakin dominan, sedangkan pada ϕ 14 mm menunjukkan butir ferit semakin kecil sehingga membuat struktur austenit menjadi lebih kecil karena laju pertumbuhan austenit terhalang oleh daerah butir ferit yang semakin dominan. Hasil uji struktur mikro pada Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn setelah dilakukan proses *deep cryogenic treatment* menunjukkan paduan baja yang termasuk kategori duplex stainless steel. Hal ini dibuktikan terbentuknya dua fasa struktur mikro yaitu struktur austenit dan juga struktur ferit.

Analisis hasil uji kekerasan

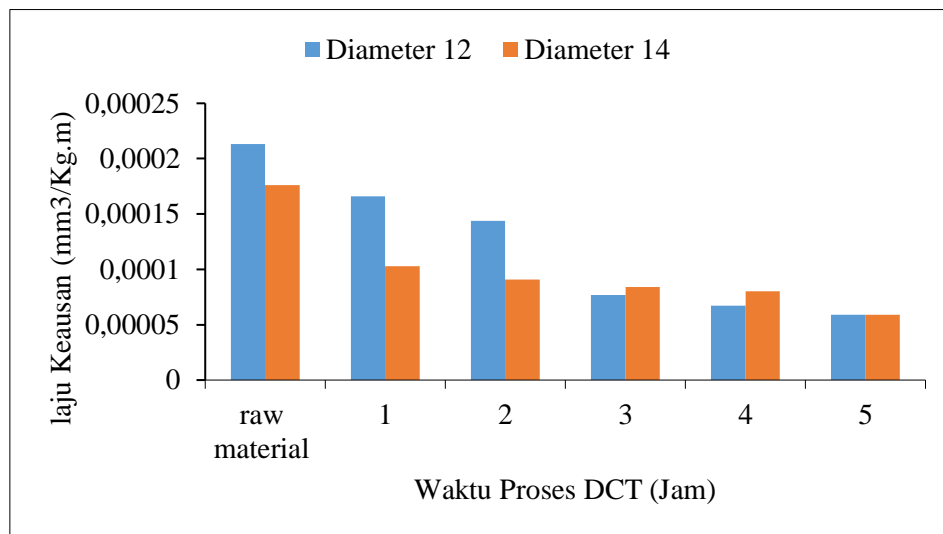
Gambar 4, menunjukkan hasil pengujian kekerasan metode *Vickers* dengan beban seberat 30 kg, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari paduan Fe-Cr-Mn ϕ 12 mm diperoleh harga kekerasan pada raw material sebesar 241,5 kg/mm² sedangkan harga kekerasan tertinggi pada raw material ϕ 14 mm dengan sebesar 310,6 kg/mm². Dari data nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa *raw material* ϕ 12 mm memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi diikuti dengan nilai kekerasan waktu perendaman 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam. Semakin lama waktu perendaman proses *deep cryogenic treatment* menyebabkan nilai kekerasan akan semakin menurun, dikarenakan penambahan unsur paduan Mn dalam spesimen tersebut tinggi dengan nilai 9,35%, sedangkan data kekerasan pada ϕ 14 mm disimpulkan bahwa setelah dilakukan proses DCT dapat meningkatkan nilai kekerasan terhadap baja paduan Fe-Cr-Mn, raw material memiliki nilai kekerasan yang paling rendah diikuti dengan nilai kekerasan waktu perendaman 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam dikarenakan unsur paduan Mn dalam spesimen tersebut tinggi.



Gambar 4. Hasil Uji Kekerasan Vickers Paduan Fe - Cr – Mn

Analisis Hasil uji keausan

Gambar 5, menunjukkan hasil pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi dengan gaya tekan 6,36 kg dengan jarak pengausan 15 m, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 gesekan yang berbeda. Berdasarkan hasil uji keausan terhadap spesimen raw material ϕ 12 mm didapatkan harga keausan sebesar 0,000213 mm³/kg.m dan pada spesimen raw material ϕ 14 mm didapatkan harga keausan sebesar 0,000176 mm³/kg.m. Secara umum nilai keausan pada ϕ 12 mm dan ϕ 14 mm menurun setelah proses DCT. Hal ini disebabkan perubahan butir ferit dan austenite. Hasil pengujian keausan menunjukkan bahwa pengaruh waktu proses DCT menyebabkan menurunnya secara signifikan nilai keausan, artinya ketahanan aus bahan atau paduan Fe-Cr-Mn meningkat dengan semakin meningkatnya waktu proses DCT. Hal ini sesuai dengan hasil uji kekerasan yang mengalami peningkatan dengan semakin lamanya waktu proses DCT.



Gambar 5. Diagram Laju Keausan Baja Paduan Fe-Cr-Mn ϕ 12 mm dan ϕ 14 mm

Tabel 3 dan Gambar 9, menunjukkan hasil pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi dengan gaya tekan 6,36 kg dengan jarak pengausan 15 m, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 gesekan yang berbeda. Berdasarkan hasil uji keausan terhadap spesimen raw material ϕ 12 mm didapatkan harga keausan sebesar 0,000213 mm³/kg.m dan pada spesimen raw material ϕ 14 mm didapatkan harga keausan sebesar 0,000176 mm³/kg.m. Secara umum nilai keausan pada ϕ 12 mm dan ϕ 14 mm menurun setelah proses DCT. Hal ini disebabkan perubahan butir ferit dan austenite. Hasil pengujian keausan menunjukkan bahwa pengaruh waktu proses DCT menyebabkan menurunnya secara signifikan nilai keausan, artinya ketahanan aus bahan atau paduan Fe-Cr-Mn meningkat dengan semakin meningkatnya waktu proses DCT. Hal ini sesuai dengan hasil uji kekerasan yang mengalami peningkatan dengan semakin lamanya waktu proses DCT.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi kimia pada ϕ 12 mm menunjukkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn unsur paduan utama Kromium (Cr) 17,39%, Mangan (Mn) 9,35%, Jumlah unsur paduan utamanya sebesar 26,74%, sehingga paduan Fe-Cr-Mn termasuk baja paduan tinggi. Sedangkan hasil pengujian komposisi kimia pada ϕ 14 mm menunjukkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn mengandung unsur utama unsur paduan utama Kromium (Cr) 18,44%, Mangan

- (Mn) 9,39%. Jumlah unsur paduan utamanya sebesar 27,83%, sehingga paduan Fe-Cr-Mn termasuk baja paduan tinggi.
2. Struktur mikro baja paduan Fe-Cr-Mn ϕ 12 mm terdiri atas struktur austenit dan ferit sehingga termasuk kategori *duplex stainless steel*. Semakin lama waktu perendaman *Deep Cryogenic Treatment* pada ϕ 12 mm maka kecil butir struktur austenite mengalami pertumbuhan menjadi semakin kecil dan struktur ferit menjadi rapat sedangkan paduan Fe-Cr-Mn ϕ 14 mm semakin lama waktu perendaman *Deep Cryogenic Treatment* pada ϕ 14 mm maka butir struktur ferit mengalami pertumbuhan menjadi semakin kecil dan struktur austenite menjadi rapat dan mengecil.
 3. Hasil uji kekerasan pada baja paduan Fe-Cr-Mn ϕ 12 mm dengan metode *Vickers* sebesar 241,5 kg/mm², proses DCT tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan. Baja paduan Fe-Cr-Mn ϕ 14 mm memiliki nilai kekerasan sebesar 310,6 kg/mm², proses DCT menurunkan nilai kekerasan hingga nilai minimum sebesar 280,9 kg/mm² pada DCT 5 jam.
 4. Hasil pengujian keausan dengan metode *Ogoshi* menyatakan bahwa baja paduan Fe-Cr-Mn ϕ 12 mm memiliki nilai keausan sebesar 0,000213 mm³/kg.m, sedangkan baja paduan Fe-Cr-Mn ϕ 14 mm memiliki nilai keausan sebesar 0,000176 mm³/kg.m. Proses DCT menurunkan keausan hingga keausan minimum pada DCT 5 jam baik pada ϕ 12 mm maupun ϕ 14 mm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini, khususnya kepada Prodi Teknik Mesin S1 ITNY.

REFERENSI

- Sari, H.N., 2018, *Material Teknik*, CV Budi Utama, Yogyakarta.
- Purnomo, 2017, *Material Teknik*. Malang: CV. Seribu Bintang.
- Baldissera, P., Delprette, C., 2008, *Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review. The Open Mechanical Journal*. Vol. 2. Hal. 1-11.
- Senthilkumar, D., Rajendran, I., Pellizzari, M., Siiriainen, J., 2011, *Influence Of Shallow And Deep Cryogenic Treatment On The Residual State Of Stress Of 4140 Steel. Journal Of Materials Processing Technology*. Vol. 211. Hal. 396–401.
- Hasananto, N., 2015, Analisis Perbandingan Metode Peningkatan *Wear Resistance*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 6, No. 3, Hal. 153-156.
- Widyanto, B., Sambas, A., 2007, Peningkatan Pembuatan Paduan Baja Mangan *Hadfield* Produk Lokal Melalui Proses *Solution Treatment*. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 22, No. 1, hal. 1-8.
- Baxter, R., 2008, *Effects Of Heat Treatment And Chemical Composition On Microstructure And Mechanical Properties Of Hadfield Steels*.
- Davis, J.R., 2001, *Alloying: Understanding The Basic*. USA: ASM International. Materials Park, OH 44073-0002.
- Cardarelli, F., 2008, *Materials Handbook A Concise Desktop Reference Second Edition Springer, London*.
- Abrianto, A., 2008, Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja Mangan Austenitik Hasil Proses Perlakuan Panas, *Jurnal Teknik Universitas Jendral Achmad Yani*, Vol. 8, No. 11, Hal. 90-99.