

## Pengaruh Temperatur Proses Austemper Pada Paduan Fe-Cr-Mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Keausan

Aprilio Rubentus Mauloko<sup>1</sup>, Ratna Kartikasari<sup>2,\*</sup>, Sutrisna<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional  
Yogyakarta

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

\*Corresponding author: [ratna@itny.ac.id](mailto:ratna@itny.ac.id)

### Abstract

*Fe-Cr-Mn alloy is a stainless steel in which the element Mn replaces Ni. The advantage of this alloy is high strength but the brittle nature is still dominant. This study aims to analyze the effect of austemper temperature on the microstructure, hardness, and wear of Fe-Cr-Mn alloy after the austemper process. The research begins with specimen preparation, namely cutting Fe-Cr-Mn alloy into test specimens. The austempering process begins with heating to a temperature of 950°C held for 1 hour and then dipped in molten salt (KNO<sub>3</sub> + 45% NaNO<sub>3</sub>) for 20 minutes at a temperature of 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C and then cooling in water. The tests carried out are the microstructure test with the optical microscope method, the hardness test with the Vickers method, and the wear test with the Ogoshi method. The chemical composition test results show that the Fe-Cr-Mn alloy contains the main element (Fe) at 69.95%, the main alloying element chromium (Cr) at 18.44%, manganese (Mn) at 9.39% and carbon (C) at 0.09%, so including high alloy steel. The microstructure of Fe-Cr-Mn alloy consists of ferrite and austenite structures. The higher the temperature of the Fe-Cr-Mn alloy austemper process, the larger the grain size. The hardness test results show that the austemper process has reduced the hardness value and wear resistance to reach a value of 0.001582 mm<sup>3</sup>/kg.m. at 350°C.*

**Keywords:** Fe-Cr-Mn alloy, austemper, microstructure, hardness, wear.

### Abstrak

Paduan Fe-Cr-Mn adalah baja tahan karat dimana unsur Mn menggantikan unsur Ni. Keunggulan paduan ini adalah kekuatan yang tinggi tetapi sifat getasnya masih dominan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur austemper terhadap struktur mikro, kekerasan, dan keausan paduan Fe-Cr-Mn setelah proses austemper. Penelitian dimulai dengan persiapan spesimen yaitu memotong paduan Fe-Cr-Mn menjadi spesimen uji. Proses austemper dimulai dengan pemanasan sampai temperatur 950°C ditahan selama 1 jam lalu dicelupkan dalam garam cair (KNO<sub>3</sub>+45% NaNO<sub>3</sub>) selama 20 menit pada temperatur 250°C,300°C,350°C,400°C,450°C selanjutnya dilakukan pendinginan dalam air. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro dengan metode mikroskop optik, uji kekerasan dengan metode Vickers, dan uji keausan dengan metode Ogoshi,. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn mengandung unsur utama (Fe) sebesar 69,95%, unsur paduan utama kromium (Cr) sebesar 18,44%, mangan (Mn) sebesar 9,39% dan karbon (C) 0,09%, sehingga termasuk baja paduan tinggi. Struktur mikro paduan Fe-Cr-Mn terdiri dari struktur ferit dan austenite. Semakin tinggi temperatur proses austemper paduan Fe-Cr-Mn maka ukuran butir semakin besar. Hasil uji kekerasan menunjukkan proses austemper menurunkan nilai kekerasan dan ketahanan aus hingga mencapai nilai sebesar 0,001582 mm<sup>3</sup>/kg.m. pada temperatur 350°C.

**Kata Kunci :** Paduan Fe-Cr-Mn, austemper, struktur mikro, kekerasan, keausan.

## PENDAHULUAN

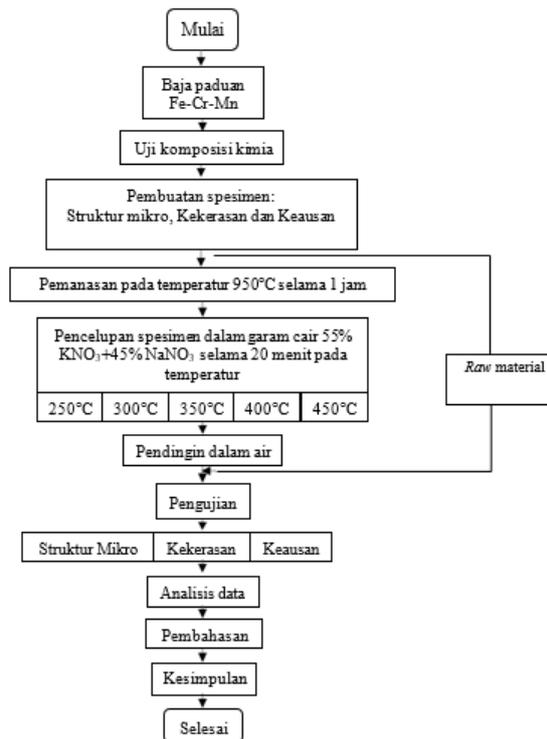
Baja tahan karat Fe-Cr-Mn diklasifikasikan sebagai baja tahan karat austenitik. Paduan ini pertama

kali digunakan pada 1930-an, ketika nikel sulit ditemukan di Jerman, dan alternatif untuk stabilisator austenit akhirnya dicari. Kemunculan awal paduan Fe-Cr-Mn adalah seri 205, dan seri 201 dan 202 mulai muncul pada pertengahan 1950-an. Ilmuwan logam Jerman telah menemukan bahwa mangan dan nitrogen dapat menggantikan nikel. Komposisi paduan Fe-Cr-Mn adalah 16-18% Cr, 5,5-7,5% Mn dan 3,5-5,5% Ni. Baja Jenis ini digunakan dalam kondisi yang membutuhkan kekuatan suhu tinggi dan ketahanan korosi, biasa digunakan pada poros, pompa, pipa lepas pantai, serta peralatan kimia dan peralatan masak [1]. Austemper adalah proses *heat treatment* celup terputus yang diikuti dengan terbentuknya struktur bainite. Selama proses ini spesimen yang telah mencapai temperatur austenite didinginkan dan dibiarkan bertransformasi secara isothermal pada temperatur dan waktu tahan yang tetap. Berdasarkan Pernyataan teknis ASM International, temperatur proses austemper biasanya antara 260°C-400°C. Perlakuan panas ini menghasilkan struktur bainite yang sepenuhnya dipengaruhi oleh waktu transformasi isothermal. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan keuletan, ketahanan impak dan mengurangi distorsi [2].

Telah dilakukan penelitian tentang studi pengaruh temperatur proses *austemper* terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan korosi paduan Fe-5,2Al-0,6C [3]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro paduan Fe-5,2Al-0,6C pada *raw material* menunjukkan struktur perlit dan ferit setelah dilakukan proses *austemper* struktur mikro yang terlihat adalah struktur ferit dengan ukuran butir yang semakin besar, karena kandungan fungsi dari Al yang sebagai penstabil ferit. Nilai kekerasan tertinggi paduan Fe-5,2Al-0,6C terdapat pada *raw material*, dan nilai kekerasan terendah terdapat pada spesimen dengan proses *austemper* 150°C [3]. Sehingga di ambil kesimpulan bahwa semakin lama proses pemanasan *austemper* maka nilai kekerasan semakin turun. Telah dilakukan penelitian tentang perlakuan panas *austemper* dengan temperatur *quenching* 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C juga dari pengujian siklus tinggi yang dilakukan dengan dengan mesin uji *fatigue rotating bending* terjadi peningkatan kekuatan sebesar 8,5%, yang awalnya di angka 94 Mpa untuk material tanpa perlakuan, dan setelah diberi perlakuan panas *austemper* meningkat menjadi 102 Mpa untuk material dengan proses *austemper* [4]. Pada proses *austemper* akan lebih baik menggunakan variasi suhu yang lebih variatif, yang berkisar pada suhu 500°C, 600°C dan 700°C, hal ini agar lebih muda mengetahui pada suhu *austemper* mana yang menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatau impek meningkat, dan transformasi lebih jelas pada struktur mikro dan hasil fraktografi [5]. Telah dilakukan penelitian pengaruh perlakuan panas *austemper* dua tahap terhadap pada sifat mekanik baja ST-90, hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *austemper* umumnya menghasilkan struktur bainit, dan pada temperatur 450°C-550°C menunjukkan nilai kekerasan tertinggi [6]. Proses *austemper* dapat di bedakan menjadi dua tahap yaitu tahap pemanasan (*Heating*) pada tahap ini, bahan baja di panaskan ke suhu yang sesuai. Austenisasi suhu pemanasan ini harus mencapai titik kritis austenit, yang bervariasi tergantung pada jenis baja yang digunakan sehingga dapat menghasilkan struktur/fase seimbang [7]. Tahap ke dua yaitu tahap *quenching* pada tahap ini baja dimasukkan kedalam media pendingin yang disebut *bath austempering* biasanya berisi garam cair. Suhu garam cair di pertahankan pada suhu diatas temperatur martensit tahap kedua ini dapat menghasilkan struktur/fasa bainit. Struktur bainit ini diharapkan meningkatkan kekerasan dan ketangguhan pada paduan Fe-Cr-Mn.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan prosedur sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Bahan baku penelitian adalah baja paduan Fe-Cr-Mn berbentuk silinder diameter 14 mm dengan panjang 16 cm. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian komposisi kimia menggunakan alat spektrometer milik PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Setelah mempersiapkan spesimen yang akan diuji, yaitu dengan cara pemotongan baja paduan Fe-Cr-Mn, menggunakan laser *cutting* dengan jumlah spesimen 14 dan tiap potongan berukuran tinggi 5mm. Selanjutnya proses austemper dimulai dengan pemanasan didalam mesin *furnace* pada temperatur 950°C selama 1 jam dilanjutkan dengan pencelupan dalam garam cair (  $KNO_3 + NaNO_3$  ) pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C, selama 20 menit, tahap akhir proses austemper dilakukan pendinginan didalam air. Selanjutnya dilakukan persiapan spesimen untuk pengujian bahan yang meliputi mounting menggunakan resin dan hardener, pengamplasan menggunakan amplas dengan nomor nomor (200 *mesh*, 400 *mesh*, 600 *mesh*, 800 *mesh* dan 1000 *mesh*), *etsa* menggunakan *aqua regia* ( $HNO_3 + HCL$ ) 1:3. Tahap terakhir penelitian ini dilakukan proses pengujian bahan meliputi: pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik, uji kekerasan dengan metode *Vickers* dengan beban 40 kgf, uji keausan menggunakan alat uji keausan metode *Ogoshi*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

## Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

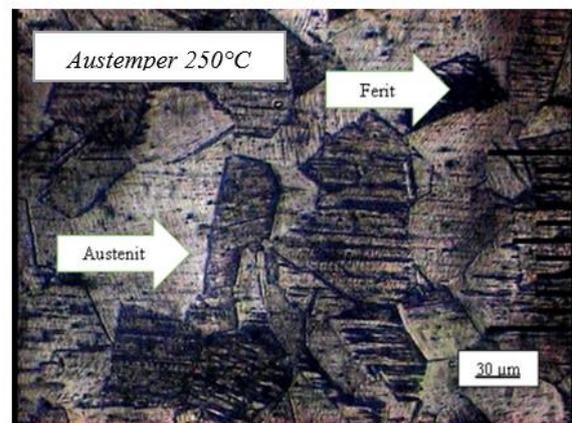
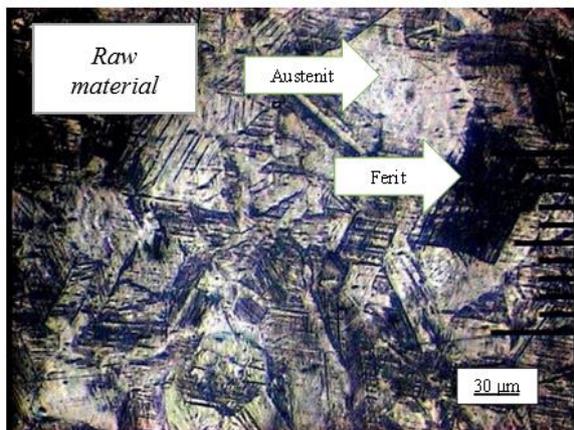
Tabel 1. Hasil pengujian menggunakan *specktrometer*

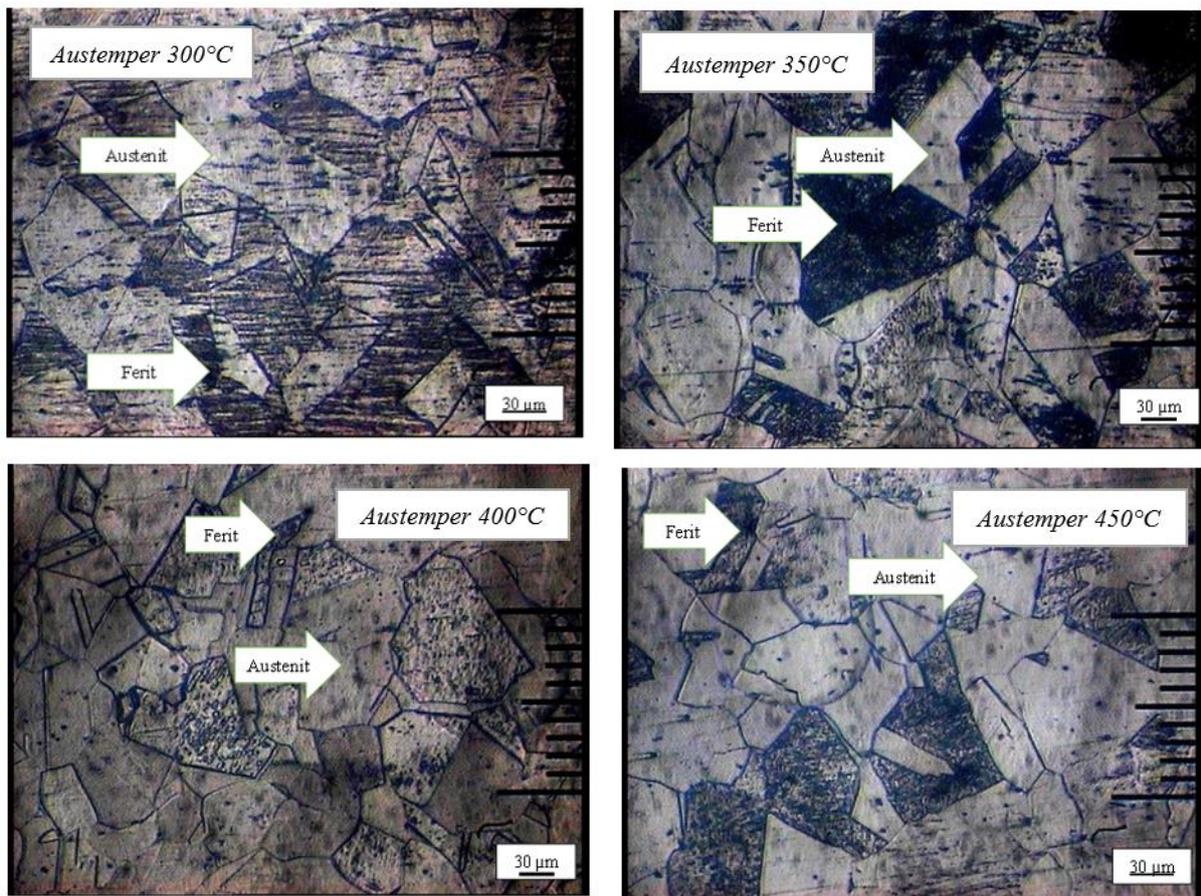
No	Unsur	(% Berat)
1	Fe	69,95
2	Cr	18,44
3	Mn	9,39
4	C	0,09
5	Si	0,52
6	P	0,02
7	Al	0,03
8	Sn	0,01
9	Cu	0,85
10	Ni	0,47
11	Mo	0,05
12	Nb	0,02
13	V	0,07
14	Pb	0,02
15	Zn	0,05
TOTAL		100

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn pada penelitian ini mengandung unsur utama besi (Fe) sebesar 69,95%, unsur paduan utama kromium (Cr) sebesar 18,44%, mangan (Mn) sebesar 9,39% dan karbon (C) sebesar 0,09%. Jumlah unsur paduan utama dan unsur paduan tambahan adalah sebesar 23,52% (lebih dari 10%), maka material yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baja paduan tinggi [8]. Pada paduan Fe-Cr-Mn ada beberapa unsur yang berpengaruh terhadap sifat bahan, penambahan unsur kromium (Cr) sebesar 18,4 sebagai penstabil atau pembentuk struktur ferit, meningkatkan ketahanan korosi dan mampu bentuk. Penambahan unsur mangan (Mn) sebesar 9,39% sebagai penstabil austenite memiliki nilai kuat luluh yang rendah sehingga baja menjadi ulet dan kuat. Unsur Karbon (C) sebagai penstabil struktur austenit sebesar 0,09% dalam paduan yang menyebabkan kekuatannya relatif rendah, lunak dan keuletannya tinggi.

## Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada spesimen uji menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali. Sebelum melakukan pengujian spesimen uji di etsa terlebih dahulu menggunakan zat kimia berupa *aqua regia* yaitu cairan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam klorida (HCl) dengan perbandingan 1:3. Spesimen uji berjumlah 6 buah yang terdiri dari raw material dan spesimen yang sudah mengalami proses *austemper*.





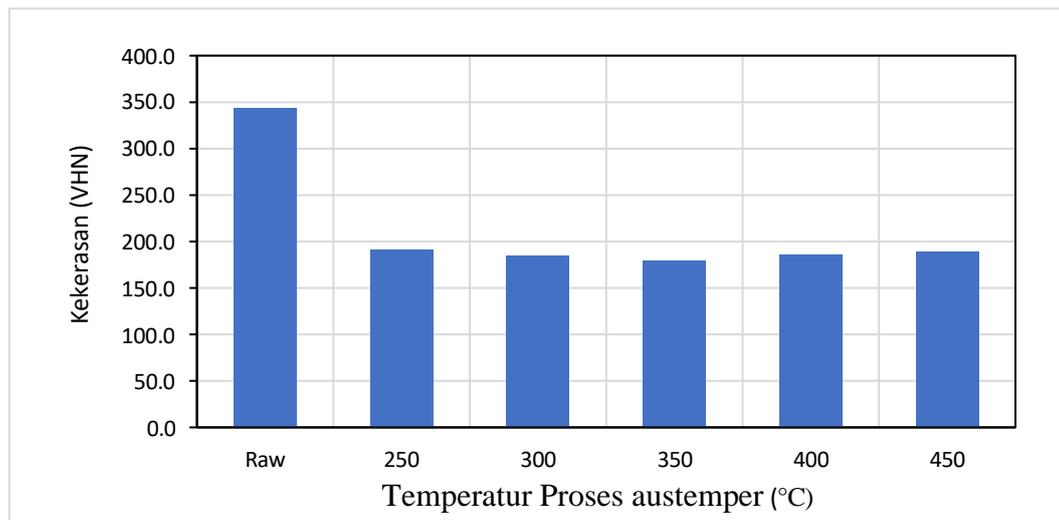
**Gambar 2.** Foto mikro paduan Fe-Cr-Mn sebelum dan setelah proses *austemper*

Hasil pengujian struktur mikro paduan Fe-Cr-Mn memperlihatkan struktur austenit dan ferit pada spesimen *Raw material* (Gambar 2), dimana struktur austenit berwarna putih terang dan ferit berwarna agak gelap berbentuk equiaxed, sebagian memanjang tidak beraturan, hal ini disebabkan karena unsur kromium (Cr) yang terkandung dalam paduan Fe-Cr-Mn merupakan unsur pembentuk dan penstabil ferit [8]. Dan unsur mangan (Mn) yang merupakan pembentuk dan penstabil austenit [9]. Pada proses austemper 250°C terlihat struktur austenit dan ferit lebih besar dikarenakan pengaruh kadar unsur Cr dan Mn sebagai penstabil ferit dan austenit sangat dominan dibanding pengaruh proses austemper. Pada proses 300°C menunjukkan struktur austenit lebih besar dan struktur ferit terlihat lebih kecil karena proses austemper pada temperatur 300°C menyebabkan perubahan ukuran butir.

Pada proses austemper 350°C menunjukkan struktur yang terbentuk adalah austenit dan ferit pada temperatur ini kedua struktur baik austenit maupun ferit mengalami pertumbuhan butir. Dimana struktur austenit mulai rapat dan struktur ferit membesar tetapi tidak terlalu rapat dibandingkan proses austemper 300°C hal ini disebabkan oleh komposisi kimia dan kondisi perlakuan panas. Pada proses austemper 400°C menunjukkan struktur austenit lebih besar dan rapat diantara batas butir, sedangkan ferit mulai mengecil diantara batas butir austenit hal ini dikarenakan proses austemper pada temperatur 400°C menyebabkan perubahan ukuran butir. Pada proses austemper 450°C memperlihatkan struktur austenit lebih besar dan struktur ferit mengecil dikarenakan proses austemper pada temperatur 450°C menyebabkan perubahan ukuran butir. Berdasarkan analisis struktur mikro dapat diambil kesimpulan bahwa paduan Fe-Cr-Mn termasuk kategori *duplex stainless steel* [10]. Hal ini dibuktikan bahwa hanya ada dua fasa yaitu fasa austenit dan ferit setelah proses Austemper terjadi perubahan ukuran butir menjadi lebih besar [11].

### Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode uji kekerasan *Vickers*. Harga kekerasan yang diperoleh dengan cara menghitung beban yang diberikan dibagi dengan nilai rata-rata diagonal bekas pijakan piramida intan pada posisi yang diuji.



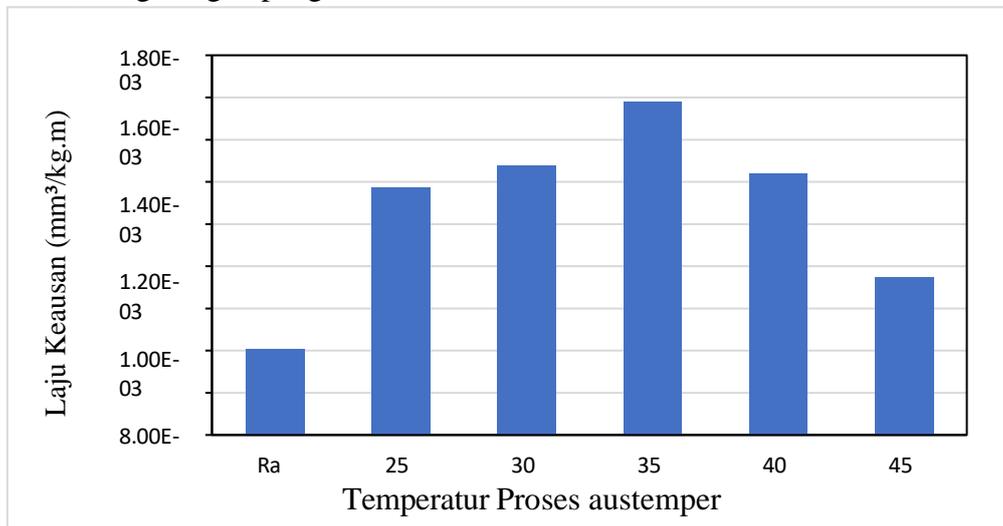
**Gambar 3.** Diagram Pengujian Kekerasan *Vickers* Paduan Fe-Cr-Mn, sebelum dan setelah proses austemper

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* dengan beban sebesar 40 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada titik berbeda yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari paduan Fe-Cr-Mn diperoleh nilai kekerasan tertinggi yaitu dengan angka kekerasan sebesar 343,2 kg/mm<sup>2</sup>. Tingginya nilai kekerasan ini dikarenakan ukuran butir austenit pengaruh unsur mangan relatif besar. Selanjutnya untuk hasil perhitungan proses austemper pada temperatur 250°C nilai kekerasan sebesar 191,9 kg/mm<sup>2</sup>, yang mana mengalami penurunan sebesar 44,08% dianggap signifikan. Hal ini disebabkan struktur austenit dan ferit lebih besar dikarenakan belum terjadi perubahan secara nyata pada proses austemper paduan Fe-Cr-Mn. Pada temperatur 300°C menunjukkan nilai sebesar 184,9 kg/mm<sup>2</sup>.

Nilai kekerasan menurun kembali sebesar 3,64% dianggap tidak signifikan. Hal ini disebabkan struktur austenit terlihat lebih besar sedangkan struktur ferit terlihat lebih kecil karena terjadi perubahan yang signifikan dibandingkan proses austemper 250°C. Selanjutnya untuk spesimen proses austemper pada temperatur 350°C menunjukkan nilai kekerasan sebesar 179,2 kg/mm<sup>2</sup>, spesimen ini mengalami penurunan kekerasan sebesar 3,09% dianggap tidak signifikan. Hal ini terlihat bahwa struktur yang terbentuk adalah austenit dan ferit pada temperatur ini kedua struktur baik austenit maupun ferit mengalami pertumbuhan butir [12]. Dimana struktur austenit mulai merapat dan struktur ferit membesar tetapi tidak terlalu rapat dibandingkan proses austemper 300°C hal ini disebabkan oleh komposisi kimia dan kondisi perlakuan panas. Selanjutnya untuk proses austemper pada 400°C memiliki nilai angka kekerasan sebesar 186,0 kg/mm<sup>2</sup> pada proses ini mengalami peningkatan sebesar 3,79% dianggap tidak signifikan. Hal ini disebabkan struktur austenit lebih dominan besar dan rapat diantara batas butir, sedangkan ferit mulai mengecil diantara batas butir austenit jika dibandingkan dengan proses austemper 350°C. Selanjutnya proses austemper pada temperatur 450°C dengan nilai kekerasan sebesar 188,8 kg/mm<sup>2</sup> pada temperatur ini spesimen mengalami peningkatan 1,5% dianggap tidak signifikan [13]. Hal ini disebabkan struktur austenit lebih dominan besar dan mulai rapat sedangkan ferit terlihat besar namun tidak terlalu rapat dibandingkan proses austemper 400°C. Dari data nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa *raw* material paduan Fe-Cr-Mn memiliki nilai kekerasan tertinggi dengan nilai sebesar 343,2 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada proses austemper 250°C, 300°C, 400°C, 450°C nilai kekerasan menurun dikarenakan pengaruh kadar Cr-Mn lebih dominan dari pada perubahan pengaruh temperatur proses austemper terhadap perubahan struktur mikro [14].

## Analisis Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat *universal wear* dengan metode *Ogoshi*, yaitu benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Pengujian keausan dilakukan dengan tiga gesekan yang berbeda pada setiap spesimen. Pengujian ini menggunakan gaya tekan 6,36 kg dengan pengausan 15 mm.



**Gambar 4.** Diagram hasil pengujian keausan paduan Fe-Cr-Mn sebelum dan sesudah proses austemper.

Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian keausan menggunakan metode *Ogoshi* dengan beban 6,36 kg dengan jarak pengausan 15 mm. Berdasarkan hasil pengujian terhadap paduan Fe-Cr-Mn di dapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000405 mm<sup>3</sup>/kg.m, hal ini menunjukkan paduan Fe-Cr-Mn memiliki struktur austenit dan ferit dengan butir yang relatif besar karena mangan (Mn) sebagai penstabil struktur austenit dan kromium (Cr) sebagai penstabil struktur ferit. Selanjutnya pengujian keausan proses austemper pada temperatur 250°C di dapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,001172 mm<sup>3</sup>/kg.m mengalami kenaikan secara signifikan sebesar 189,38% dibandingkan dengan spesimen *raw material* hal ini disebabkan oleh struktur austenit dan ferit yang lebih besar dari paduan Fe-Cr-Mn *raw material* pengujian keausan proses austemper pada temperatur 300°C dengan nilai rata-rata 0,001276 mm<sup>3</sup>/kg.m mengalami kenaikan sebesar 8,87%.

Kenaikan keausan ini disebabkan oleh struktur austenit terlihat lebih besar sedangkan struktur ferit terlihat lebih kecil karena terjadi perubahan yang signifikan. Pada proses austemper 350°C dengan nilai rata-rata 0,001582 mm<sup>3</sup>/kg.m mengalami kenaikan secara signifikan sebesar 23,98%. Hal ini disebabkan karena struktur austenit mulai merapat sedangkan struktur ferit semakin membesar dan terlihat jelas jika dibandingkan proses austemper 300°C. Selanjutnya pada pengujian keausan proses temperatur 400°C dengan nilai rata-rata 0,001239 mm<sup>3</sup>/kg.m mengalami penurunan sebesar 21,69%. Hal ini disebabkan karena perubahan struktur austenit lebih dominan besar dan rapat diantara batas butir, sedangkan ferit mulai mengecil diantara batas butir austenit. Selanjutnya pengujian keausan proses austemper pada temperatur 450°C dengan nilai rata-rata 0,000749 mm<sup>3</sup>/kg.m. mengalami penurunan sebesar 39,55% dibandingkan dengan proses austemper 400 °C. Penurunan keausan ini disebabkan oleh struktur austenit dominan besar sedangkan struktur ferit terlihat besar namun tidak terlalu rapat. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada paduan Fe- Cr-Mn terjadi pada spesimen *raw material*, sedangkan nilai keausan terendah terjadi pada *raw material*. Hal ini menunjukkan bahwa pada nilai kekerasan tertinggi, nilai keausan paling rendah sesuai dengan yang dikatakan oleh Abdul Qohar (2020) bahwa semakin tinggi nilai kekerasan maka semakin rendah nilai keausan atau semakin tinggi nilai kekerasan maka ketahanan aus semakin tinggi juga [14-16].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disusun kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn mengandung unsur utama Besi (Fe) sebesar 69,95%, serta unsur paduan utama Kromium (Cr) 18,44%, Mangan (Mn) 9,39% dan Karbon(C) 0,09%. Jumlah unsur paduan utama ditambah kadar unsur paduan lain sebesar 23,52%, sehingga paduan Fe-Cr-Mn termasuk baja paduan tinggi.
2. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa baja paduan Fe-Cr-Mn terdiri dari struktur austenit dan ferit sehingga termasuk kategori *duplex stainless steel*. Proses austemper menyebabkan terjadinya perubahan besar butir austenit dan ferit. Semakin tinggi temperatur maka semakin besar ukuran butir austenit maupun ferit.
3. Hasil uji kekerasan dengan metode *Vickers* menunjukkan bahwa baja paduan Fe-Cr-Mn memiliki nilai kekerasan sebesar 343,2 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan proses. austemper menurunkan nilai kekerasan secara cukup signifikan, semakin tinggi temperatur proses austemper tidak mengubah nilai kekerasan secara signifikan.
4. Hasil uji keausan dengan metode *Ogoshi* menunjukkan bahwa baja paduan Fe- Cr-Mn memiliki nilai keausan sebesar 0,001582 mm<sup>3</sup>/kg.m pada temperatur 350<sup>0</sup>C sedangkan nilai terendah pada *raw* sebesar 0,000405 mm<sup>3</sup>/kg.m. Nilai keausan meningkat dan mencapai maksimum pada temperatur 350<sup>0</sup>C. Kemudian menurun kembali hingga temperatur 450<sup>0</sup>C.

## REFERENSI

- [1] Cardarelli, F., 2008, *Materials Handbook A Concise Desktop Reference*, Second Edition, Springer, London
- [2] Qohar, A., Kartikasari, R., dan Iskandar, AD, 2020, Studi Pengaruh Temperatur Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan.
- [3] Wibowo, D, B., 2007, Pengaruh Perlakuan Panas Austemper Dua Tahap Pada Sifat Mekanik Material Baja ST-90.
- [4] Herbirowo, S., 2020, Pengaruh Perlakuan Panas Karburisasi Austemper Pada Baja Laterit Paduan Cr-Mc Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro, *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*. Iron & Steel Society, 1999, Steel.
- [5] Setiawan, 2007, Pengaruh Perlakuan Panas Austemper Dua Tahap ada Sifat Mekanik Material Baja ST-90.
- [6] Smallman 1999, *Metalurgi Fisik dan Rekayasa Material*, Erlangga, Jakarta.
- [7] Anver, S.H., 1974, *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill Internatonal Book Company, Inc., New York.
- [8] Ali Yafi, 2016, Pengaruh kadar chromium terhadap kekerasan dan struktur mikro, baja paduan Fe-Cr-Mn, melalui proses peleburan
- [9] Fahmi, Deniyasa, 2018, Pengaruh Temperatur dan Waktu Austemper Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 1045. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*.
- [10] Outokumpu, 2013, *Stainless steel Handbook*, Outokumpu Oyj, Swedden, Hal. 1-4.
- [11] Muhammad Arief Reynaldy, Ratna Kartikasari, and Angger Bagus Prasetyo, "Pengaruh Temperatur Proses Austemper Besi Tuang Paduan Al (2,17%) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Keausan", *Jurnal Teknik Mesin merupakan Jurnal Teknologi Bidang Mekanika meliputi Rekayasa Konversi Energi, Rekayasa Mat*, vol. 4, no. 2, pp. 175-184, Sep. 2023.
- [12] J. Pue Wea, R. Kartikasari, and A. Bagus Prasetyo, "Pengaruh Waktu Proses Dct Pada Baja Mangan Dengan Penambahan 17,4 Cr Dan 18,4 Cr Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Keausan", *Jurnal Teknik Mesin merupakan Jurnal Teknologi Bidang*

- Mekanika meliputi Rekayasa Konversi Energi, Rekayasa Mat*, vol. 4, no. 2, pp. 166-174, Sep. 2023.
- [13] J. Sepryanto, R. Kartikasari, and A. Bagus Prasetyo, “Pengaruh Temperatur Anil Pada Paduan Fe-Al-Mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Aus”, *Jurnal Teknik Mesin merupakan Jurnal Teknologi Bidang Mekanika meliputi Rekayasa Konversi Energi, Rekayasa Mat*, vol. 4, no. 1, pp. 1-9, Mar. 2023.
- [14] Wahyu Nugroho, R. Kartikasari, and A. Bagus Prasetyo, “Pengaruh Penambahan Unsur Cu Pada Ingot Bahan Wajan Produk Ikm Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Keausan, Dan Ketahanan Korosi ”, *Jurnal Teknik Mesin merupakan Jurnal Teknologi Bidang Mekanika meliputi Rekayasa Konversi Energi, Rekayasa Mat*, vol. 3, no. 2, pp. 149-157, Sep. 2022.
- [15] D. Maruasas Nainggolan, R. Kartikasari, and A. B. Prasetyo, “Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Aus Paduan Fe-1, 8AL-6,5C”, *Jurnal Teknik Mesin merupakan Jurnal Teknologi Bidang Mekanika meliputi Rekayasa Konversi Energi, Rekayasa Mat*, vol. 3, no. 2, pp. 119-127, Sep. 2022.
- [16] M. A. A. Aziz, R. Kartikasari, and A. Bagus Prasetyo, “Pengaruh Temperatur Temper Pada Paduan Fe-1,2al-4,8c Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik”, *Jurnal Teknik Mesin merupakan Jurnal Teknologi Bidang Mekanika meliputi Rekayasa Konversi Energi, Rekayasa Mat*, vol. 3, no. 1, pp. 51-64, Mar. 2022.