

## **Pengaruh Waktu Proses Austemper Pada Paduan Fe-Cr-20mn Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik**

**Muhammad Frendi Wijaya<sup>1</sup>, Ratna Kartikasari<sup>2\*</sup>, Subardi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : ratna@itny.ac.id

### **ABSTRAK**

Fe-Cr-20Mn baja paduan adalah material yang banyak digunakan dalam industri karena memiliki kombinasi kekuatan dan ketahanan korosi yang baik. Salah satu metode perlakuan panas yang dapat meningkatkan sifat mekanik material ini adalah proses austempering. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu proses austempering terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik baja Fe-Cr-20Mn. Spesimen dipanaskan pada suhu 900°C selama 1 jam untuk proses austenitisasi, kemudian dicelupkan ke dalam garam cair pada suhu 400°C dengan variasi waktu penahanan 10, 20, dan 30 menit sebelum didinginkan dalam air. Uji yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, uji mikrostruktur, uji kekerasan Vickers, uji tarik, dan uji dampak Charpy. Hasil ujimenunjukkan bahwa semakin lama waktu austemper, semakin besar butiran austenit dan semakin kecil struktur ferrit. Keras tertinggi diperoleh pada waktu austemper 10 menit pada 377,5 HV, sementara kekuatan tarik menurun dari 657,3 MPa menjadi 512,5 MPa seiring peningkatan waktu austemper. Ketangguhan bahan juga menurun, dari 109 J/mm<sup>2</sup> pada 10 menit menjadi 104 J/mm<sup>2</sup> pada 30 menit.

**Kata kunci:** Fe-Cr-20Mn, austemper, mikrostruktur, sifat mekanik, perlakuan panas.

### **ABSTRACT**

*Fe-Cr-20Mn alloy steel is a material that is widely used in industry because it has a combination of strength and good corrosion resistance. One of the heat treatment methods that can improve the mechanical properties of this material is the austempering process. This study aims to analyze the effect of austempering process time variation on the microstructure and mechanical properties of Fe-Cr-20Mn steel. The specimens were heated at 900°C for 1 hour for the austenitization process, then dipped in molten salt at 400°C with a variation of holding times of 10, 20, and 30 minutes before being cooled in water. Tests carried out include chemical composition test, microstructure test, Vickers hardness test, tensile test, and Charpy impact test. The test results show that the longer the austemper time, the larger the austenite grains and the smaller the ferrite structure. The highest hardness was obtained at an austemper time of 10 minutes at 377.5 HV, while the tensile strength decreased from 657.3 MPa to 512.5 MPa as the austemper time increased. The toughness of the material also decreased, from 109 J/mm<sup>2</sup> at 10 minutes to 104 J/mm<sup>2</sup> at 30 minutes.*

**Keyword :** Fe-Cr-20Mn, austemper, microstructure, mechanical properties, heat treatment.

### **PENDAHULUAN**

Baja tahan karat adalah baja yang mengandung besi sebagai unsur utama dengan kadar kromium (Cr) melebihi 10,5%, yang berfungsi membentuk lapisan pelindung terhadap korosi. Baja paduan Fe-Cr-Ni termasuk dalam kategori austenitik. Namun, karena sifat toksik nikel (Ni) [1] banyak penelitian berfokus pada penggantian elemen ini dengan mangan (Mn). Baja paduan Fe-Cr-20Mn menjadi alternatif yang menarik karena mangan mampu menstabilkan struktur austenitik secara efektif dan lebih ekonomis. Selain itu, mangan juga berperan dalam meningkatkan kekerasan baja, bahkan beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitasnya lebih unggul dibandingkan karbon [2]. Penambahan unsur paduan seperti mangan (Mn) dan kromium (Cr) berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan baja melalui mekanisme solid solution strengthening serta pembentukan karbida. Pada paduan Fe-Cr-Mn, peningkatan kadar Cr hingga 20% dapat memicu terbentuknya karbida kromium, yang berpotensi mengurangi ketangguhan material [3]. Austemper adalah metode perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekekerasan, keuletan dan ketangguhan baja dengan membentuk struktur bainite [4]. Teknik ini dilakukan dengan memanaskan material hingga mencapai fasa austenit, kemudian didinginkan secara isothermal dalam rentang suhu tertentu antara 260°C hingga 400°C. Dibandingkan metode perlakuan panas lainnya, austemper dapat meningkatkan keuletan dan ketahanan benturan serta mengurangi distorsi akibat pendinginan cepat yang terjadi pada proses hardening konvensional [5]. Beberapa aplikasi industri memerlukan baja paduan Fe-Cr-Mn dengan tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.



Metode perlakuan panas yang umum digunakan adalah hardening, tetapi metode ini sering menimbulkan tegangan *internal* dan sisa austenit yang dapat menurunkan kualitas material [6]. Optimasi perlakuan panas sangat penting untuk meningkatkan kinerja baja dalam aplikasi industri seperti menunjukkan penerapannya dalam komponen seperti poros, pompa, perpipaan laut, peralatan kimia, dan perkakas dapur [7]. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan paduan Fe-Cr-20Mn yang memiliki sifat tangguh. [8]

## METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja coran paduan Fe-Cr-20Mn dalam bentuk ingot dengan ukuran 40 x 40 x 200 mm. Tahap pertama dilakukan pengujian komposisi kimia menggunakan *spectrometer* untuk mengetahui kandungan unsur dalam material. Selanjutnya, dilakukan pemotongan spesimen untuk berbagai pengujian yang meliputi uji struktur mikro dan uji kekerasan dengan ukuran 15 x 15 x 15 mm, uji tarik menggunakan standar ASTM E8, dan uji dampak menggunakan standar ASTM E23 metode *Charpy*. Kemudian dilakukan proses perlakuan panas yang dimulai dengan austenitasi pada temperatur 900°C dengan waktu tahan selama 1 jam. Setelah proses austenitisasi, dilanjutkan dengan proses austemper pada temperatur 400°C dalam media garam cair yang terdiri dari campuran 55% KOH dan 45% NaOH dengan variasi waktu tahan 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Proses terakhir adalah pendinginan cepat dalam media air. Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan *inverted metallurgy microscope* setelah spesimen dietsa menggunakan larutan aqua regia (HNO<sub>3</sub>:HCl dengan perbandingan 1:3). Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers* menggunakan beban 40 kgf. Pengujian tarik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine*, sedangkan pengujian dampak menggunakan metode *Charpy*.

## HASIL DAN ANALISIS

### Analisis Hasil Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia dilakukan untuk menentukan kandungan unsur dalam paduan Fe-Cr-20Mn. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *spectrometer*. Hasil uji komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Komposisi Kimia paduan Fe-Cr-20Mn

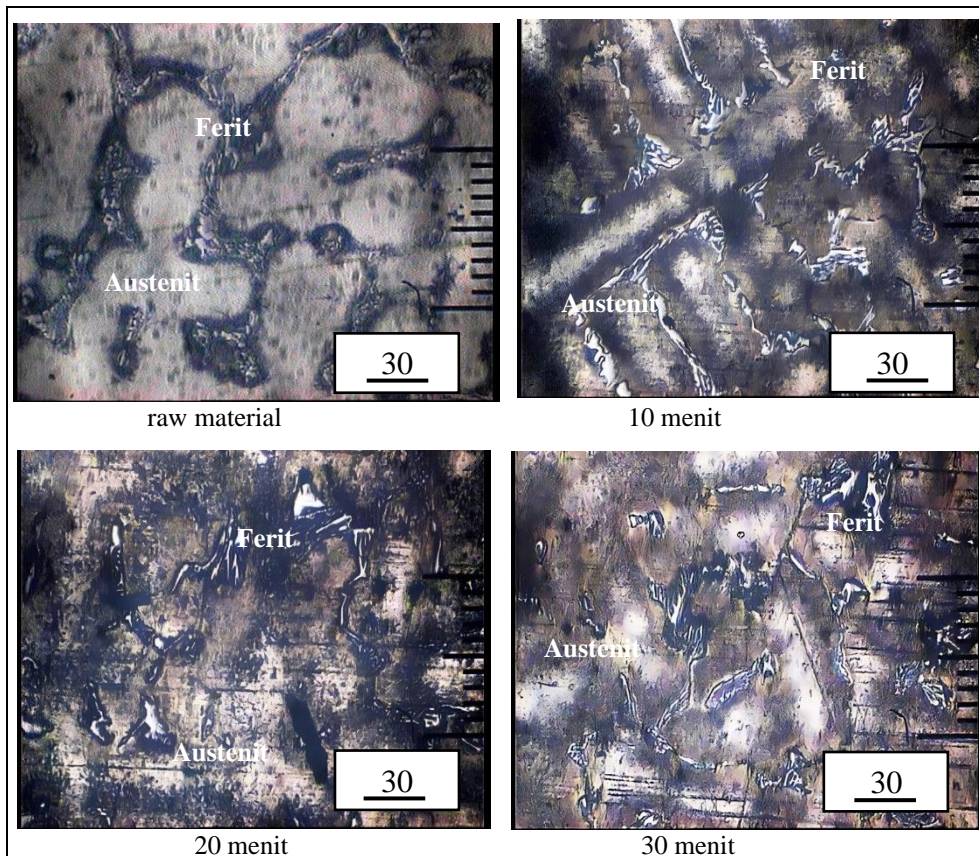
No	Unsur	(% Berat)
1	<b>Fe</b>	<b>58,31</b>
2	<b>Cr</b>	<b>18,05</b>
3	<b>Mn</b>	<b>20,69</b>
4	C	1,01
5	Si	1,43
6	P	1,43
7	Sb	0,01
8	Cu	0,06
9	Ni	0,16
10	Mo	0,02
11	Nb	0,01
12	Pb	0,01
13	V	0,08
14	N	0,15
15	Co	0,04
TOTAL		100

Hasil pengujian komposisi kimia pada baja paduan Fe-Cr-20Mn menunjukkan kandungan utama berupa besi (Fe) sebesar 58,31%, dengan paduan utama kromium (Cr) 18,05%, mangan (Mn) 20,69%, dan karbon (C) 1,01%. Kandungan Cr yang melebihi 10,5% mengklasifikasikan baja ini sebagai *stainless steel* [9]. sementara kadar Mn yang tinggi menjadikannya keras namun relatif getas. Peran Cr sebagai penstabil ferit serta Mn sebagai penstabil austenit meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi baja. Karbon dalam jumlah tinggi berkontribusi pada peningkatan kekerasan, tetapi dengan konsekuensi menurunnya keuletan material. Dengan lebih dari 10% unsur paduan selain besi, baja Fe-Cr-20Mn dikategorikan sebagai baja paduan tinggi yang memiliki sifat mekanis unggul, terutama dalam hal ketahanan korosi dan kekerasan [10].

### Analisis Hasil Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mengamati spesimen menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100 kali. Sebelum proses pengamatan, spesimen dietsa menggunakan campuran larutan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam klorida (HCl) dengan perbandingan 1:3. Sebanyak empat spesimen disiapkan, terdiri dari bahan mentah (*raw material*) serta spesimen yang telah mengalami proses austemper dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, dan 30 menit pada suhu 400°C. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil pengujian struktur mikro pada paduan Fe-Cr-20Mn menunjukkan keberadaan dua fase utama, yaitu austenit dan ferit, yang mengonfirmasi bahwa material ini termasuk dalam kategori *duplex stainless steel*. Pada spesimen raw material, austenit tampak berwarna putih terang, sedangkan ferit berwarna lebih gelap dengan bentuk equiaxed dan sebagian memanjang secara tidak teratur, yang dipengaruhi oleh peran kromium sebagai penstabil ferit dan mangan sebagai penstabil austenit [11]. Proses austemper selama 10 menit menyebabkan ukuran butir austenit dan ferit menjadi lebih kecil. Dengan meningkatnya waktu perlakuan hingga 20 menit, butir austenit mulai tumbuh, sedangkan ferit semakin mengecil dan hampir tidak terlihat. Pada waktu 30 menit, pertumbuhan butir austenit semakin signifikan, sementara ferit semakin mengecil dan tersebar di antara batas butir austenit. Perubahan ini menunjukkan bahwa durasi austemper mempengaruhi ukuran dan distribusi fasa dalam paduan, yang pada akhirnya memengaruhi sifat mekanik material, terutama dalam meningkatkan kombinasi kekuatan dan ketahanan korosi,[12].



**Gambar 1.** Hasil uji struktur mikro paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah proses austemper.

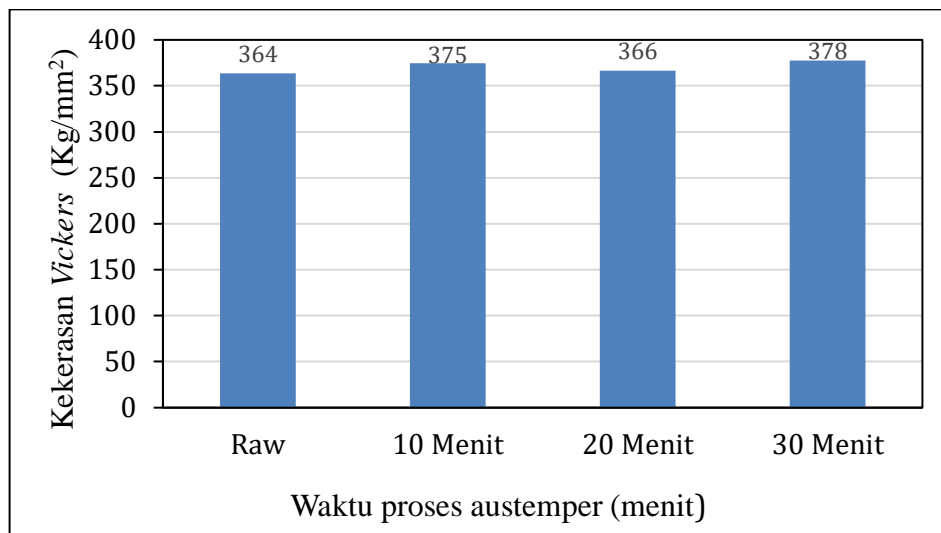
### Analisis Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur tingkat kekerasan suatu material terhadap penetrasi, menggunakan metode *Vickers*. Proses pengujian melibatkan perhitungan dengan membagi beban yang diterapkan oleh indenter dengan nilai rata-rata diagonal jejak penetrasinya. Hasil kekerasan dan grafik dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.



**Tabel 2.** Hasil kekerasan paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper

No	Variasi Spesimen	Diagonal (mm)			Kekerasan (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kekerasan rata-rata (kg/mm <sup>2</sup> )
		d1	d2	rata-rata		
1	Raw	0,45	0,45	0,450	366,2	363,6
2		0,45	0,46	0,455	358,2	
3		0,45	0,45	0,450	366,2	
4	A_10 menit	0,45	0,45	0,450	366,2	374,8
5		0,43	0,44	0,435	391,9	
6		0,45	0,45	0,450	366,2	
7	A_20 menit	0,44	0,46	0,450	366,2	366,2
8		0,46	0,44	0,450	366,2	
9		0,45	0,45	0,450	366,2	
10	A_30 menit	0,44	0,45	0,445	374,5	377,5
11		0,46	0,44	0,450	366,2	
12		0,43	0,44	0,435	391,9	



**Gambar 2.** Grafik kekerasan paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper

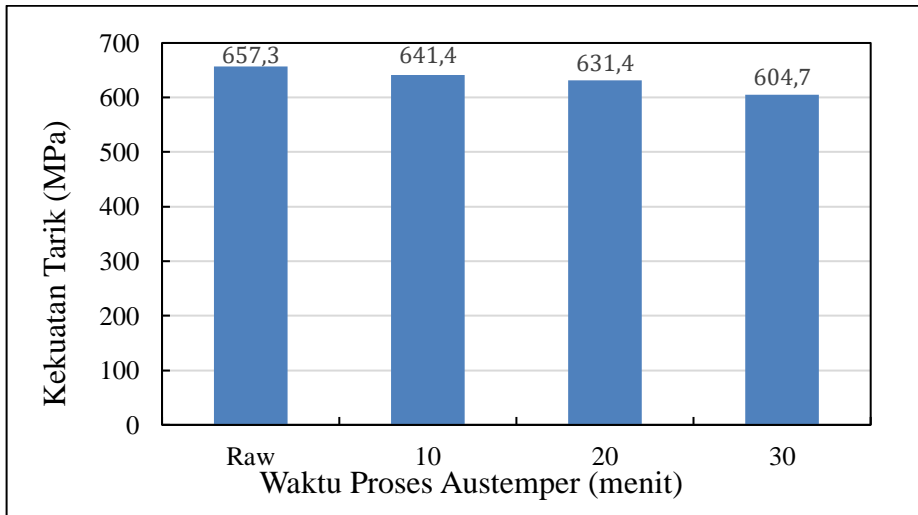
Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* pada paduan Fe-Cr-20Mn menunjukkan bahwa proses austemper berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan material. Hasil pengujian pada raw material menunjukkan nilai kekerasan sebesar 363,6 kg/mm<sup>2</sup>. Setelah perlakuan austemper selama 10 menit, kekerasan meningkat menjadi 374,8 kg/mm<sup>2</sup> atau naik sebesar 3,08% akibat stabilitas fasa austenit dan ferit yang lebih kecil. Pada waktu 20 menit, kekerasan mengalami sedikit penurunan menjadi 366,2 kg/mm<sup>2</sup> (turun 2,24%), yang disebabkan oleh ukuran butir yang semakin kecil dan hampir tidak terlihat. Selanjutnya, pada waktu 30 menit, kekerasan kembali meningkat menjadi 377,5 kg/mm<sup>2</sup> (naik 3,09%) akibat pertumbuhan butir austenit yang lebih besar dan struktur ferit yang semakin tidak terlihat. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa proses austemper mampu meningkatkan kekerasan material, dengan kondisi optimal dicapai pada 30 menit pada suhu 400°C, menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 377,5 kg/mm<sup>2</sup>.

#### Analisis Hasil Uji Tarik

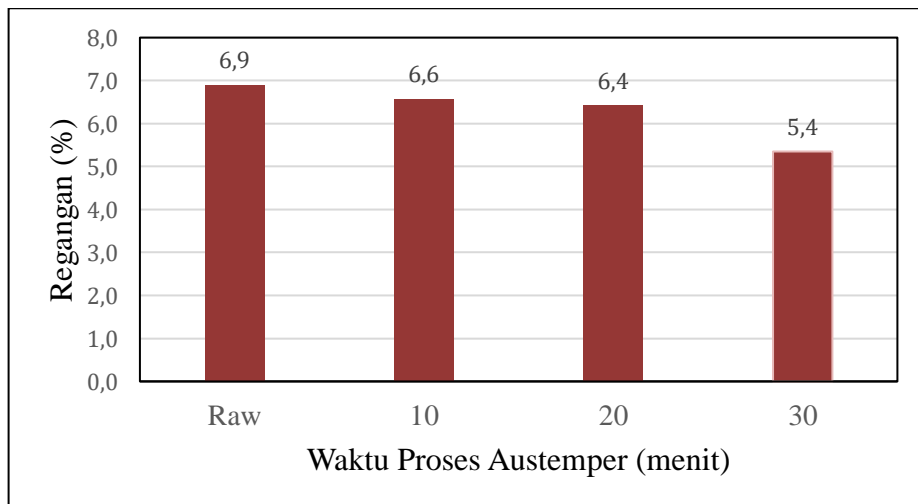
Dalam penelitian ini, pengujian tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM E8. Tujuan dari uji tarik ini adalah untuk mengetahui kekuatan material yang dianalisis. Hasil Kekuatan tarik dan diagram dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3, Gambar 4.

**Tabel 3.** Hasil uji tarik paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper

No	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Tegangan rata - rata	Regangan (%)	Regangan rata - rata
1	Raw-1	6,31	6,12	22,52	3,14	583,16	657,28	6,28	6,89
2	Raw-2	6,06	5,39	23,89	3,75	731,40		7,50	
3	A_10 menit_1	5,75	5,57	20,12	3,75	628,21	641,36	7,50	6,57
4	A_10 menit_2	5,99	5,66	22,19	2,82	654,51		5,64	
5	A_20 menit_1	6,26	5,85	22,21	3,39	633,82	631,35	6,78	6,42
6	A_20 menit_2	6,36	6,17	24,29	3,03	628,88		6,06	
7	A_30 menit_1	5,96	6,32	23,37	2,76	581,41	604,74	5,52	5,35
8	A_30 menit_2	6,05	6,00	22,46	2,59	628,08		5,18	



**Gambar 3.** Diagram uji tarik paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper



**Gambar 4.** Diagram Regangan paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper



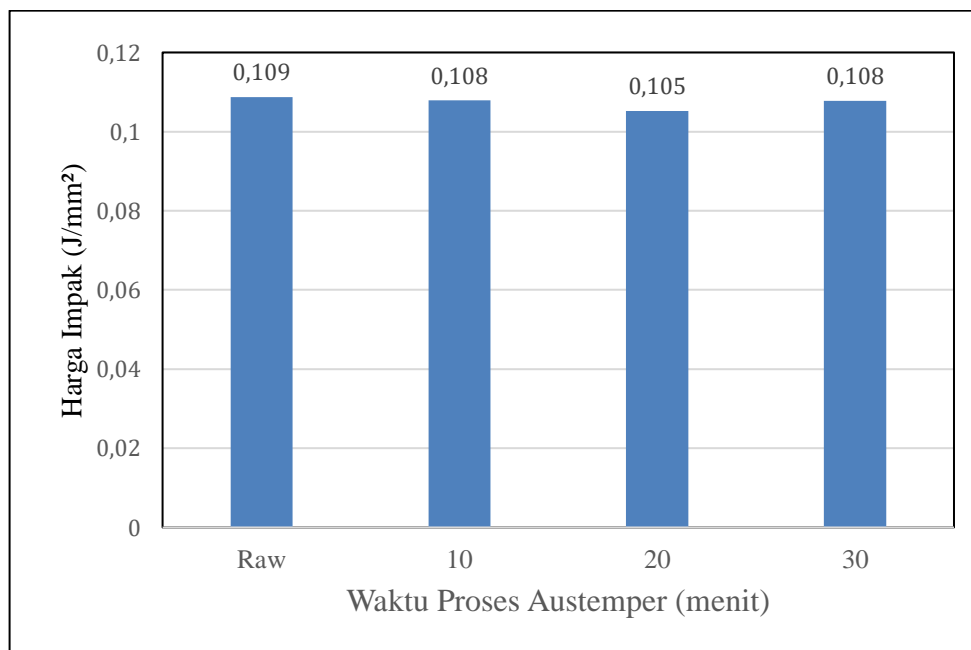
Hasil pengujian tarik pada baja paduan Fe-Cr-20Mn menunjukkan bahwa proses austemper berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan keuletan material. Nilai tegangan dan regangan tertinggi tercatat pada raw material dengan tegangan 657,3 MPa dan regangan 6,89%. Setelah perlakuan austemper selama 10 menit, tegangan menurun sedikit menjadi 641,4 MPa dengan regangan 6,57%, yang menunjukkan stabilisasi awal struktur austenit. Pada durasi 20 menit, tegangan terus menurun menjadi 631,4 MPa, tetapi regangan meningkat menjadi 6,42%, mengindikasikan struktur mikro yang lebih seragam dan optimal untuk deformasi. Namun, pada 30 menit, tegangan turun drastis menjadi 604,7 MPa dan regangan berkurang signifikan menjadi 5,35%, akibat pertumbuhan austenit yang semakin besar di batas butir serta ferit yang mengecil dan hampir tidak terlihat. Dengan demikian, semakin lama waktu austemper, tegangan tarik cenderung menurun, dan pada durasi 30 menit, keuletan material juga mengalami penurunan signifikan akibat perubahan mikrostruktur.

#### Analisis Hasil Uji Impak Charpy

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan material terhadap beban kejut. Beberapa material dapat menjadi rapuh dan patah akibat pengaruh suhu, kecepatan tegangan, atau pembebanan dengan laju tinggi, meskipun secara umum material tersebut memiliki sifat keuletan. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM E23-07. Hasil dan diagram ketangguhan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 5.

**Tabel 4.** Hasil uji impak paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper

Variasi Spesimen	Sudut $\alpha$ (°)	Energi (J)	Sudut $\beta$ (°)	Energi Terserap (J)	Luas ( $\text{mm}^2$ )	Harga Impak ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )	Harga Impak rata-rata
Raw-1	151	300	147,00	5,8	51,5	0,112	0,109
Raw-2	151	300	147,20	5,4	51,5	0,106	
A_10menit_1	151	300	147,00	5,8	53,6	0,107	0,108
A_10menit_2	151	300	147,10	5,6	51,7	0,108	
A_20menit_1	151	300	146,90	5,9	56,0	0,105	0,105
A_20menit_2	151	300	147,10	5,6	53,3	0,105	
A_30menit_1	151	300	146,90	5,9	53,0	0,111	0,108
A_30menit_2	151	300	147,00	5,8	55,2	0,104	



**Gambar 5.** Diagram uji impak paduan Fe-Cr-20Mn sebelum dan setelah austemper

Hasil pengujian impak pada baja paduan Fe-Cr-20Mn menunjukkan bahwa proses austemper mempengaruhi ketangguhan material. Nilai impak tertinggi tercatat pada raw material sebesar 0,109  $\text{J}/\text{mm}^2$ . Setelah proses

austemper selama 10 menit, nilai impak sedikit menurun menjadi 0,108 J/mm<sup>2</sup> akibat pembentukan struktur austenit yang meningkatkan kekerasan tetapi mengurangi ketangguhan. Pada durasi 20 menit, nilai impak turun lebih lanjut menjadi 0,105 J/mm<sup>2</sup> akibat pertumbuhan butir yang lebih kasar dan struktur mikro yang lebih rapuh. Namun, pada 30 menit, nilai impak kembali meningkat menjadi 0,108 J/mm<sup>2</sup> karena pertumbuhan butir austenit yang lebih besar. Secara keseluruhan, proses austemper menyebabkan fluktuasi kecil pada nilai impak, dengan kecenderungan penurunan pada durasi 10 dan 20 menit, serta peningkatan kembali pada 30 menit, yang menunjukkan bahwa perubahan mikrostruktur akibat perlakuan panas berpengaruh terhadap ketangguhan material.

## KESIMPULAN

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa baja paduan Fe-Cr-20Mn termasuk dalam kategori *stainless steel* karena mengandung Cr lebih dari 10,5%. Analisis struktur mikro mengungkap bahwa baja ini memiliki fasa austenit dan ferit, yang mengklasifikasikannya sebagai *duplex stainless steel*. Proses austemper menyebabkan pertumbuhan austenit dan penyusutan ferit, tetapi tidak memberikan perubahan signifikan pada sifat mekaniknya. Uji kekerasan *Vickers* menunjukkan peningkatan kekerasan seiring bertambahnya waktu austemper, sementara uji tarik menunjukkan sedikit penurunan kekuatan tarik yang tidak signifikan. Uji impak *Charpy* juga mencatat penurunan ketangguhan yang kecil akibat proses austemper. Secara keseluruhan, meskipun austemper mempengaruhi struktur mikro baja Fe-Cr-20Mn, perubahan pada sifat mekaniknya relatif tidak signifikan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing, Orang Tua, kakak, adik, dan teman-teman semua yang selalu memberi dukungan baik secara materi atau moral. Sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Mesin S1, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cardarelli, F., 2008, *Materials Handbook A Concise Desktop Reference*, Second Edition, Springer, London.
- [2] ASM International. 2004. *Metallography and Microstructures*. Vol. 9, ASM Handbook.
- [3] Ali Yafi, 2016, Pengaruh kadar chromium terhadap kekerasan dan struktur mikro baja paduan Fe-Cr-Mn, melalui proses peleburan.
- [4] Callister, W. D, 2001, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, John Willey & Sons, Inc, New York
- [5] Deniyasa, F., Santoso, B., & Indrayani, N. L. 2018, Pengaruh Temperatur Dan Waktu Austemper Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1045. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(2), 65-76.
- [6] Baldissera, P., Delprette, C., 2008, Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review, *The Open Mechanical Journal*, Vol. 2. No Hal. 1-11.
- [7] Putra, A. 2023. *Advanced Heat Treatment Techniques for Stainless Steels*. *Journal of Metallurgy*.
- [8] Surdia, T., & Shinroku, S. 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradya Paramita.
- [9] Guntoro, A. 2020, Pengaruh Komposisi Paduan Fe-Cr-Mn Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat. *Jurnal Material dan Teknik*, 15(2), 101-110.
- [10] Davis, J.R. (1994). *ASM Specialty Handbook: Stainless Steels*. ASM International.
- [11] Outokumpu. (2013). *Handbook of Stainless Steel*. Avesta Research Centre, Finlandia: Outokumpu Oyj.
- [12] ASM International. 2004. *Metallography and Microstructures*. Vol. 9, ASM Handbook Author1 A, Author2 B. *Title of Manuscript*. Name of Conference of Seminar. City. Year; volume: pages.