

## Analisis Pengaruh Kadar Mn Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Coran Paduan Fe-Cr-Mn

Ratna Kartikasari<sup>1)</sup>, Rivan Muhfidin<sup>2)</sup>, Shodiq Anshory<sup>3)</sup>

<sup>1-3)</sup>Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta

Email: ratna@itny.ac.id

### Abstrak

Paduan Fe-Cr-Mn adalah salah satu jenis baja tahan karat seri austenitik yang dikandidatkan sebagai pengganti baja tahan karat konvensional (paduan Fe-Cr-Ni). Unsur mangan (Mn) berfungsi sebagai penstabil austenit, dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Secara ekonomis, unsur Mn relatif lebih murah sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti Ni yang mahal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kadar mangan (Mn) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik coran baja paduan Fe-Cr-Mn dengan variasi kadar Mn 12%, 16%, dan 20%. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan dengan metode Vickers, uji tarik, dan uji impak dengan metode Charpy. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Cr-Mn dalam penelitian ini berturut-turut mengandung Mn sebesar 12,72%, 18,05%, dan 20,69% kadar Cr sebesar 18,5% dan C 0,7%. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa coran baja paduan Fe-Cr-Mn memiliki struktur austenit dan ferit. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan kadar Mn 20% yaitu sebesar 358,3 kg/mm<sup>2</sup> VHN. Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan tegangan tertinggi terdapat pada spesimen dengan kadar Mn 16% yaitu sebesar 34,72 MPa dan regangan sebesar 8%. Kemudian nilai regangan terkecil adalah 6% terdapat pada spesimen dengan kadar Mn 20%, dimana semakin tinggi kadar Mn nilai regangan semakin menurun. Harga impak tertinggi terdapat pada spesimen dengan kadar Mn 16% yaitu sebesar 0,169 J/mm<sup>2</sup>.

**Kata Kunci:** paduan Fe-Cr-Mn, austenitik, struktur mikro, sifat mekanik.

### Abstract

*Fe-Cr-Mn alloys are one type of austenitic series stainless steel that is mandated as a replacement for conventional stainless steel (Fe-Cr-Ni alloys). The element manganese (Mn) serves as a stabilizer of austenite, can increase hardness and strength. Economically, the element Mn is relatively cheaper so that it can be used as an alternative to expensive Ni. This study aims to analyze the effect of manganese (Mn) levels on the microstructure and mechanical properties of Fe-Cr-Mn alloy steel castings with variations in Mn levels of 12%, 16%, and 20%. The tests carried out in this study are chemical composition test, microstructure test, hardness test with Vickers method, tensile test, and impact test with Charpy method. The chemical composition test results show that the Fe-Cr-Mn alloy in this study contains 12.72% Mn, 18.05%, and 20.69% Cr content of 18.5% and C 0.7%, respectively. Microstructure test results show that Fe-Cr-Mn alloy steel castings have austenite and ferrite structures. The highest hardness value is found in specimens with 20% Mn content which is 358.3 kg/mm<sup>2</sup> VHN. The tensile strength test results show that the highest stress is found in specimens with 16% Mn content which is 34.72 MPa and a strain of 8%. Then the smallest strain value is 6% found in specimens with 20% Mn content, where the higher the Mn content the strain value decreases. The highest impact price is found in specimens with 16% Mn content which is 0.169 J/mm<sup>2</sup>.*

**Keywords:** Fe-Cr-Mn alloy, austenitic, microstructure, mechanical properties.

## Pendahuluan

Dalam dunia perindustrian, 90% material yang digunakan adalah baja. Pemilihan baja yang baik adalah dengan memperhatikan karakteristik yang dimilikinya seperti sifat fisik, kimia, mekanik dan tidak kalah pentingnya adalah aspek biaya yang disesuaikan dengan kebutuhan disain yang terus berkembang seiring dengan perkembangan teknologi di berbagai bidang. Berbagai upaya dilakukan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan disain antara lain dengan merekayasa sifat baja. Proses pepaduan adalah salah satu cara yang dilakukan manusia untuk memenuhi kebutuhan baja dalam disain. Kromium merupakan salah satu unsur yang dapat dijadikan sebagai pilihan karena mampu meningkatkan sifat fisik, mekanik dan ketahanan korosi (Zandroto et al., 2022). Salah satu tipe baja paduan Cr adalah baja tahan karat (*stainless steel*) (Chen & Thouas, 2015).

Stainless steel merupakan paduan berbasis besi dengan kadar Cr tidak kurang dari 10,5% yang akan membentuk lapisan pasif tahan korosi (Ding et al., 2014). Baja paduan Fe-Cr-Ni termasuk dalam seri austenitik dimana seri ini adalah seri stainless steel yang paling banyak digunakan dalam biomaterial (Jeong, 2017). Dikarenakan unsur nikel (Ni) dalam paduan mengandung toksin yang berbahaya, maka banyak penelitian yang mengembangkan mangan (Mn) sebagai pengganti nikel (Ni) (Kartikasari, 2015). Dimana Mn sebagai penstabil austenit yang baik, tidak mengandung toksin, serta harga yang lebih murah sehingga baja tahan karat Fe-Cr-Mn banyak dikembangkan (Kartikasari, 2013). Unsur mangan (Mn) ialah unsur yang dapat meningkatkan secara signifikan kekerasan, bahkan beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa mangan (Mn) lebih efektif daripada karbon. Mangan juga menjadi unsur penstabil austenit dan meningkatkan sifat mekanik (Patnaik et al., 2020).

Terdapat beberapa tipe baja tahan karat, yaitu baja tahan karat austenitik, baja tahan karat feritik, baja tahan karat martensitik, baja tahan karat duplex, dan baja tahan karat *pescipitation hardening* (Kartikasari, 2023). Baja paduan Fe-Cr-Mn merupakan salah satu paduan baja tahan karat yang termasuk dalam seri austenitik. Baja tahan karat seri austenitik merupakan jenis baja tahan karat yang dalam aplikasinya menempati urutan paling tinggi. Paduan ini dikatakan baja tahan karat austenitik karena memiliki fasa austenit pada temperatur kamar. Faktor utama dalam penstabil austenit ialah karena adanya keberadaan unsur mangan (Mn) (ASM Handbook, 2005). Kromium dalam baja berfungsi sebagai penstabil ferit, berstruktur BCC yang berfungsi untuk memperluas

daerah fase alpha dan mempersempit fase gamma. Hal ini mengakibatkan terbentuknya loop austenite yang membatasi daerah FCC dan BCC. Paduan Fe-Cr yang memiliki kandungan Cr diatas 12% tidak akan mengalami transformasi dari fase austenit ke fase ferit, sedangkan jika dalam temperatur ruang, titik leburnya mencapai fase ferit (Muley et al., 2016).

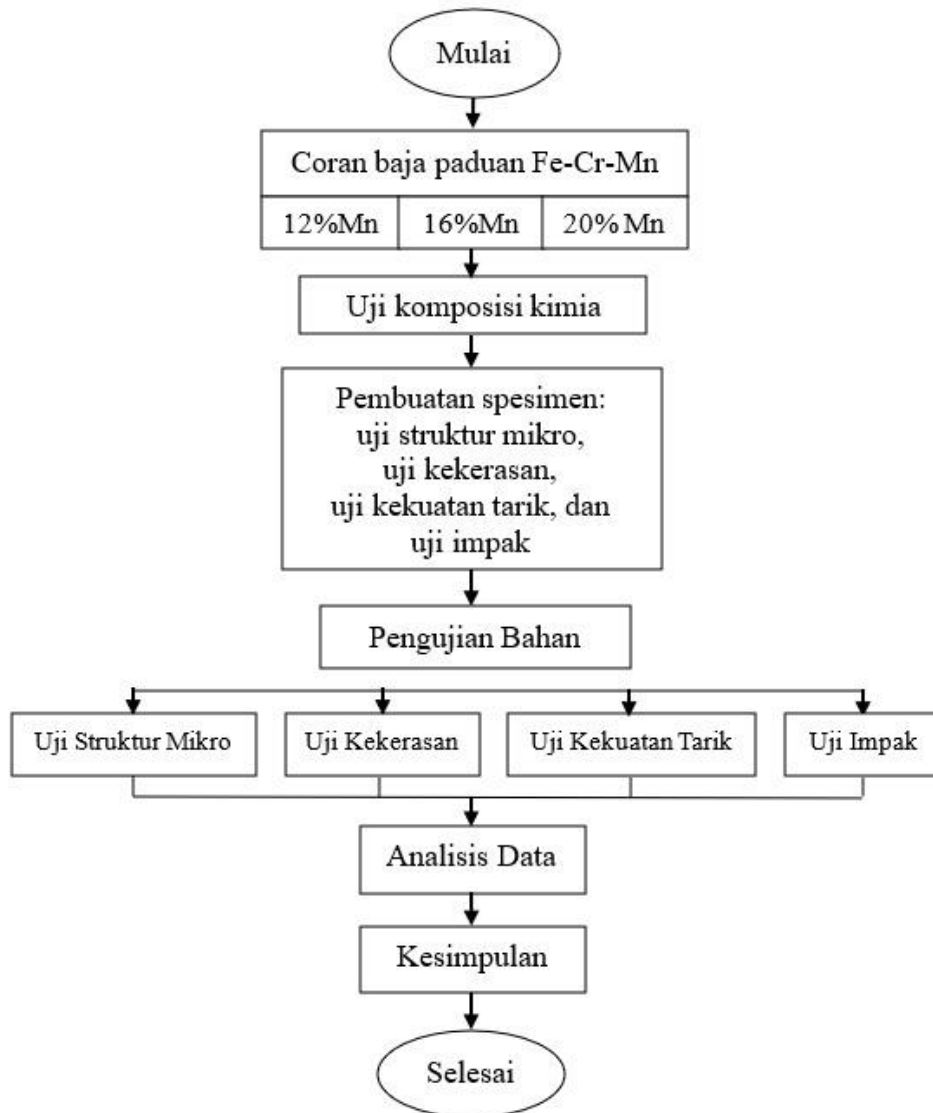
Mangan (Mn) adalah unsur penstabil austenit pada temperatur rendah, namun pada temperatur tinggi, unsur Mn berfungsi sebagai penstabil ferrit. Paduan tinggi Fe-Mn disamping memiliki kombinasi kapasitas damping dan sifat mekanik yang baik, paduan ini bersifat ekonomis sehingga lebih banyak diterapkan di dunia industri daripada paduan yang lain (Shanina et al., 2007). Paduan Fe-17% Mn memiliki kapasitas damping (pembasahan spesifik kapasitas 30%) dan sifat mekanik yang sangat baik (kekuatan tarik 700 Mpa). Kapasitas damping paduan Fe-Mn dikaitkan dengan  $\epsilon$  martensit. Transformasi  $\gamma - \alpha$  (austenit-ferrit) pada baja adalah transformasi fase padat utama yang menentukan struktur mikro. Salah satu elemen paduan paling umum yang digunakan dalam baja yaitu mangan yang dapat mempengaruhi transformasi struktur mikro dan sifat fisik/mekanik tersebut (Yang & Ren, 2010).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan paduan Fe-Cr-Mn dengan memvariasikan kadar Mn untuk mengetahui kadar Mn optimal yang akan menghasilkan sifat mekanik terbaik.

### Metode

Penelitian ini menggunakan coran paduan Fe-Cr-Mn dengan kadar Mn 12%, 16% dan 20%. Coran ini berbentuk ingot dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 200 mm. Pengujian komposisi kimia berdasarkan standar ASTM E 2209, dilakukan menggunakan spectrometer milik PT. Itokoh Ceperindo Klaten. Kemudian pembuatan spesimen di Citra Jogja Kreasi menggunakan waterjet untuk uji struktur mikro, uji kekerasan, uji kekuatan tarik, dan uji dampak. Selanjutnya adalah pengujian spesimen di Laboratorium Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM Yogyakarta. Pengujian struktur mikro diawali dengan pengamplasan dengan mesin poles menggunakan amplas nomor 100, 180, 400, 600, dan 1000 mesh dilanjutkan proses pemolesan menggunakan autosol dan kain bludru untuk memperoleh kilap logam. Selanjutnya spesimen akan dietsa menggunakan aqua regia yang berfungsi untuk memberi warna, dan meningkatkan kontras antar butir. Kemudian foto mikro diperoleh dengan cara pemotretan spesimen

menggunakan mikroskop optik. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers berdasarkan standar ASTM E 384, uji kekuatan tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM E 8, uji impak menggunakan metode Charpy berdasarkan standar ASTM E 23. Alur penelitian secara lengkap dituangkan dalam diagram alir penelitian Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## Hasil dan Pembahasan

### Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Berdasarkan uji komposisi kimia yang telah dilaksanakan, ketiga spesimen memiliki kadar Cr lebih dari 10,5% yang berarti coran baja paduan Fe-Cr-Mn dapat digolongkan dalam baja tahan karat (*stainless steel*). Penambahan kromium (Cr) dengan

kadar lebih dari 14% akan berpengaruh terhadap peningkatan ketangguhan, kekerasan, serta ketahanan terhadap temperatur tinggi (Rasouli et al., 2019).

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia coran paduan Fe-Cr-Mn

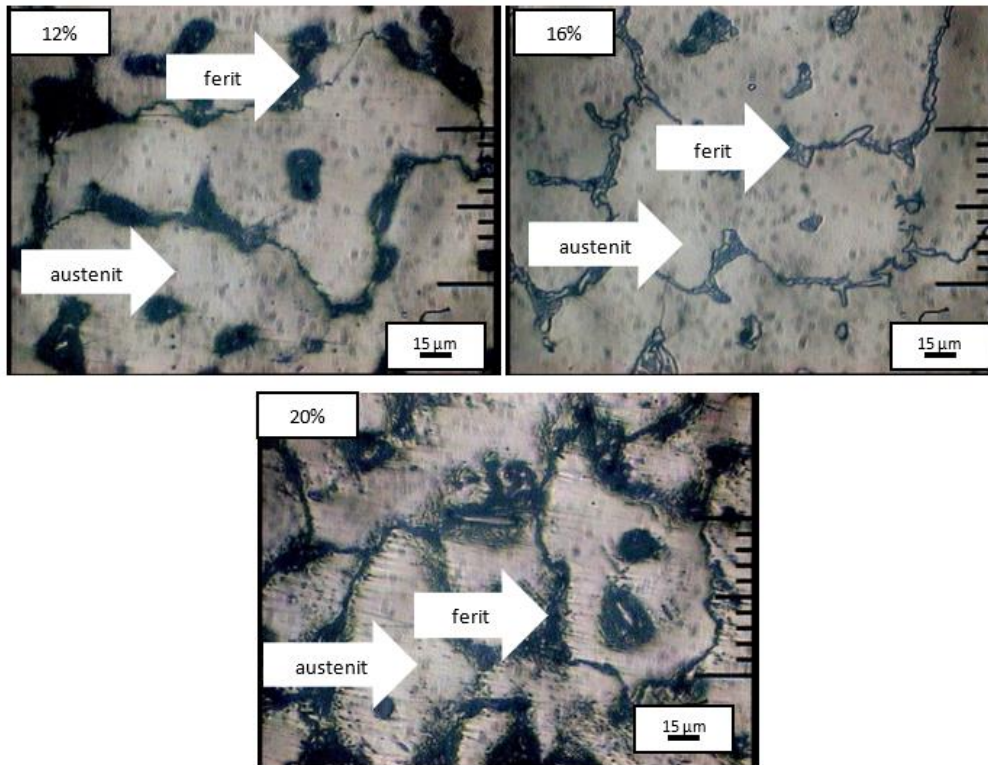
No.	Unsur	Berat (%)		
		12% Mn	16% Mn	20% Mn
1	Fe	66,56	62,87	58,31
2	Cr	18,50	18,24	18,05
3	<b>Mn</b>	<b>12,72</b>	<b>16,04</b>	<b>20,69</b>
4	C	0,70	1,09	1,01
5	Ni	0,21	0,19	0,16
6	Si	0,96	1,24	1,43
7	V	0,05	0,07	0,08
8	P	0,09	0,07	0,09
9	Nb	0,01	0,01	0,01
10	N	0,18	0,16	0,15
11	Mo	0,02	0,02	0,02
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Kadar mangan (Mn) yang tinggi menyebabkan paduan menjadi keras dan getas (Saller et al., 2006). Kemudian rata-rata unsur karbon (C) sebesar 0,9% menyebabkan coran baja paduan Fe-Cr-Mn sangat keras namun keuletannya rendah. Coran paduan Fe-Cr-Mn digolongkan dalam baja paduan tinggi karena mengandung lebih dari 10% unsur paduan (selain besi sebagai unsur utama). Unsur lain tidak terlalu berpengaruh pada sistem paduan dikarenakan tergolong kecil.

#### Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Hasil foto mikro (Gambar 2) menunjukkan bahwa coran baja paduan Fe-Cr-Mn memiliki struktur austenit yang besar dan ferit yang relatif menyebar disekitar batas butir. Ketiga spesimen memiliki struktur mikro yang relatif sama dengan austenit yang merata dan ferit yang berada disela batas butir. Hal ini terjadi dikarenakan Mn adalah unsur penstabil austenit yang baik dalam baja. Pada variasi 12% kadar Mn, terlihat austenit yang stabil dengan ferit berada disela-sela batas butir. Ferit terlihat menumpuk di sebagian area austenit. Dengan semakin bertambahnya unsur Mn, maka austenit lebih stabil dengan memenuhi hampir seluruh paduan namun ferit tetap terlihat (Tjong, 1986). Adanya ferit yang masih terlihat adalah dikarenakan adanya unsur penstabil ferit, yaitu Cr. Pada coran Fe-Cr-Mn, perlit tidak akan muncul dikarenakan adanya Cr yang tinggi sehingga ferit lebih dominan. Batas butir pada spesimen variasi 16% kadar Mn juga terlihat lebih halus. Penyebab utamanya adalah karna kadar Mn yang lebih tinggi. Pada spesimen 20% kadar

Mn terjadi ketidaksesuaian dengan teori dimana semakin banyak unsur Mn, maka austenit akan lebih stabil. Pada paduan dengan kadar 20% Mn terlihat ferit yang menyebar luas karena suatu keadaan seperti unsur silikon (Si) yang paling tinggi (1,43%) daripada spesimen lain, faktor lain seperti ketidakhomogenan coran, human error, kotoran yang ikut masuk dalam coran, turut mempengaruhi struktur mikro tang terbentuk pada paduan.

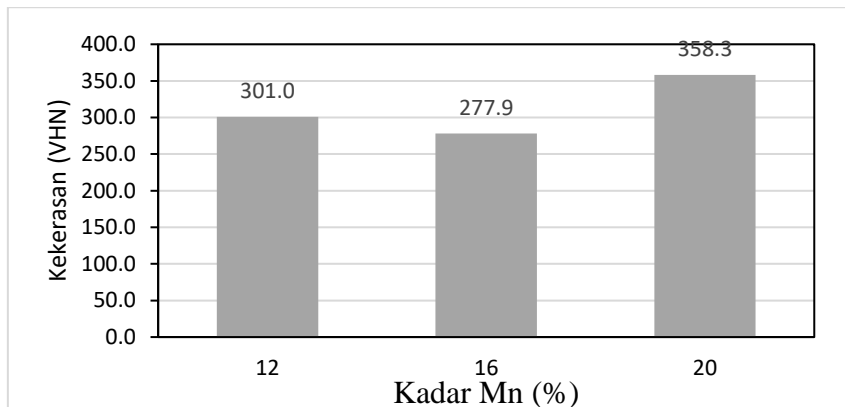


Gambar 2. Struktur Mikro Coran Paduan Fe-Cr-Mn

### Analisis Hasil Pengujian Kekerasan dengan Metode Vickers

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada spesimen dengan 12% kadar Mn adalah 301 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada spesimen dengan 16% kadar Mn adalah 277,9 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan menurun 8% dari kadar Mn 12%. Hal ini disebabkan paduan Fe-Cr-Mn dengan kadar Mn 16% memiliki butir yang lebih besar. Semakin besar ukuran butir, maka semakin menurun tingkat kekerasan bahan (Permana et al., 2022). Selanjutnya nilai kekerasan rata-rata pada spesimen dengan 20% kadar Mn adalah 358,3 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan meningkat 29% dari variasi 16% kadar Mn dan merupakan nilai kekerasan tertinggi dibanding kadar Mn yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh ukuran butir austenit pada spesimen variasi 20% kadar Mn memiliki

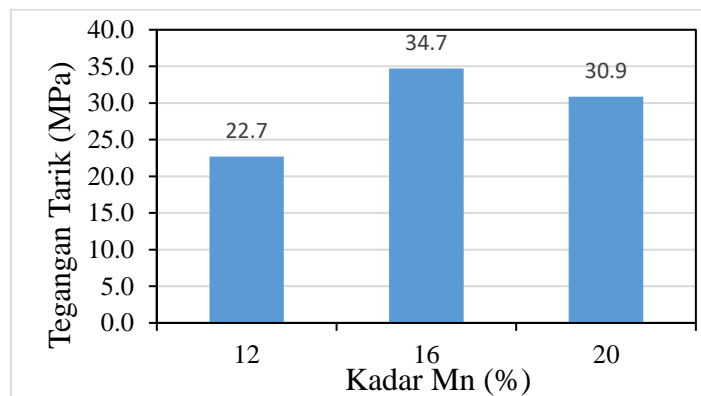
ukuran yang paling kecil. Perbandingan nilai kekerasan berdasarkan variasi kadar Mn pada baja paduan Fe-Cr-Mn dapat dilihat pada Gambar 3.



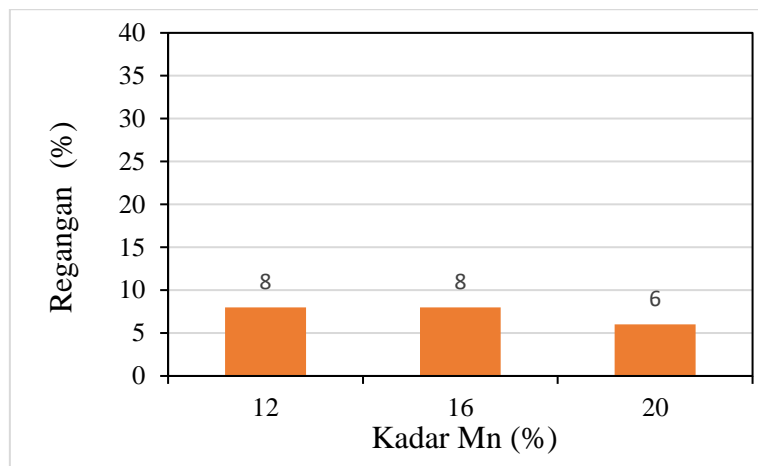
Gambar 3. Diagram hasil uji kekerasan *Vickers* coran baja paduan Fe-Cr-Mn

### Analisis Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik paduan Fe-Cr-Mn menunjukkan bahwa tegangan rata-rata pada spesimen dengan 12% kadar Mn adalah 25,12 MPa dengan nilai regangan 8%, spesimen dengan 16% kadar Mn memiliki nilai tegangan rata-rata 34,73 MPa dengan nilai regangan 8%, dan spesimen dengan 20% kadar Mn memiliki nilai tegangan rata-rata sebesar 30,9 MPa dengan nilai regangan 6%. Nilai tegangan terendah pada spesimen dengan 12% Mn disebabkan paduan ini memiliki kadar Mn dan C yang paling rendah, yang menyebabkan terjadinya penguatan larutan padat baik secara substitusi maupun interstisi. Selanjutnya nilai regangan terendah terjadi pada spesimen dengan 20% kadar Mn yaitu sebesar nilai 6%. Harga regangan yang terendah menunjukkan bahwa keuletan bahan paling rendah. Hal ini dipengaruhi kadar Mn, C dan Si yang tinggi yang menyebabkan padatnya struktur kristal (Wea et al., 2023). Perbandingan nilai tegangan dan regangan spesimen dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

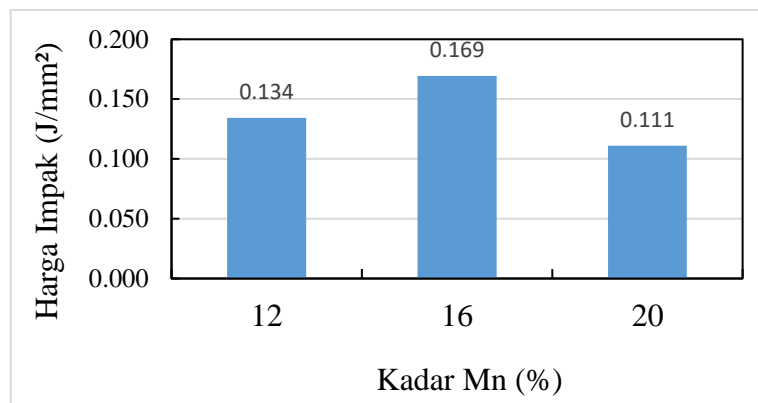


Gambar 4. Diagram tegangan tarik coran baja paduan Fe-Cr-Mn



Gambar 5. Diagram regangan coran baja paduan Fe-Cr-Mn

### Analisis Hasil Pengujian Impak dengan Metode Charpy



Gambar 6. Diagram harga impak coran baja paduan Fe-Cr-Mn

Hasil pengujian impak pada paduan Fe-Cr-Mn menunjukkan bahwa harga impak rata-rata pada spesimen dengan 12% kadar Mn adalah 0,134 J/mm<sup>2</sup>. Kemudian harga impak rata-rata pada spesimen uji dengan 16% kadar Mn adalah 0,169 J/mm<sup>2</sup>, harga impak naik sebesar 26%. Harga impak terendah adalah sebesar 0,111 J/mm<sup>2</sup> pada spesimen dengan 20% kadar Mn. Terjadi penurunan harga impak sebesar 34% pada spesimen variasi 20% dibandingkan 16% kadar Mn.

Harga impak tertinggi terjadi pada paduan dengan 16% kadar Mn, hal ini menunjukkan bahwa kadar 16% adalah paduan yang paling ulet. Harga impak terendah terjadi pada 20% kadar Mn, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar Mn paduan



semakin getas. Perbandingan harga impak pada paduan Fe-Cr-Mn dapat dilihat pada Gambar 6.

### Simpulan dan Saran

Hasil uji komposisi kimia menunjukkan coran baja paduan Fe-Cr-Mn tergolong dalam jenis baja paduan tinggi. Hasil uji struktur mikro menunjukkan coran baja paduan Fe-Cr-Mn memiliki struktur austenit dan ferit. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen variasi 20% kadar Mn dengan nilai 358,3 kg/mm<sup>2</sup>. Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan tegangan tertinggi terdapat pada spesimen variasi 16% kadar Mn dengan nilai 34,72 MPa dan regangan sebesar 8%. Nilai regangan terkecil adalah 6% terdapat pada spesimen variasi 20% kadar Mn, dimana semakin tinggi kadar Mn akan menurunkan nilai regangan. Harga impak tertinggi terdapat pada spesimen variasi 16% dengan nilai 0,169 J/mm<sup>2</sup>. Secara keseluruhan paduan Fe-Cr-Mn dapat berperan sebagai pengganti baja tahan karat konvensional (paduan Fe-Cr-Ni).

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset Teknologi dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Riset dan Teknologi, yang telah mendanai penelitian ini melalui program Hibah Penelitian Fundamental Reguler. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah mengelola program hibah sehingga penelitian dapat berjalan lancar tanpa kendala yang berarti.

### Daftar Pustaka

- ASM Handbook. (2005). *Properties and Selection: Irons, Steel and High Performance Alloy. 1*.
- Chen, Q., & Thouas, G. A. (2015). Metallic implant biomaterials. *Materials Science & Engineering R*, 87, 1–57. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2014.10.001>
- Ding, H., Han, D., Cai, Z., & Wu, Z. (2014). Microstructures and Mechanical Behavior of Fe-18Mn-10Al-(0.8-1.2)C Steels. *JOM*. <https://doi.org/10.1007/s11837-014-1063-3>
- Jeong, S. (2017). *Materials Science, Metal and Manufacturing. 1(2)*, 2017.
- Kartikasari, R., S. (2013). Pengaruh Temperatur Anil Terhadap Ketangguhan Dan Ketahanan Korosi Kandidat Baja Ringan Paduan Fe-Al-Mn-Si. *Rotasi*, 15(1), 11–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/rotasi.15.1.11-15>
- Kartikasari, R. (2015). Effect of mangan content on mechanical properties and corrosion behavior of as cast Fe-7.5Al-0.6C alloy. *International Journal of Applied*

- Engineering Research*, 10(13), 32884–32887.  
<https://doi.org/10.37622/ijaer/10.13.2015.32884-32887>
- Kartikasari, R. (2023). *Paduan Fe-Al-Mn Kandidat Pengganti Baja Tahan Karat Konvensional*.  
[https://play.google.com/store/books/details/Ratna\\_Kartikasari\\_Paduan\\_Fe\\_Al\\_Mn\\_Kandidat\\_Penggan?id=AVjcEAAAQBAJ&hl=en-ID](https://play.google.com/store/books/details/Ratna_Kartikasari_Paduan_Fe_Al_Mn_Kandidat_Penggan?id=AVjcEAAAQBAJ&hl=en-ID)
- Muley, S. V., Vidvans, A. N., Chaudhari, G. P., & Udainiya, S. (2016). An assessment of ultra fine grained 316L stainless steel for implant applications. *Acta Biomaterialia*, 30, 408–419. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2015.10.043>
- Patnaik, L., Ranjan Maity, S., & Kumar, S. (2020). Status of nickel free stainless steel in biomedical field: A review of last 10 years and what else can be done. *Materials Today: Proceedings*, 26, 638–643. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.205>
- Permana, T. H., Kartikasari, R., & Muhfidin, R. (2022). *Pengaruh Penambahan Unsur Cu pada Ingot Bahan Wajan Produk IKM*. 03(02), 128–137.
- Rasouli, D., Kermanpur, A., & Najafizadeh, A. (2019). Developing high-strength, ductile Ni-free Fe-Cr-Mn-C-N stainless steels by interstitial-alloying and thermomechanical processing. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 2846–2853. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.12.026>
- Saller, G., Spiradek-Hahn, K., Scheu, C., & Clemens, H. (2006). Microstructural evolution of Cr–Mn–N austenitic steels during cold work hardening. *Materials Science and Engineering: A*, 427(1–2), 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.04.020>
- Shanina, B. D., Gavriljuk, V. G., & Berns, H. (2007). High strength stainless austenitic CrMnN steels - Part III: Electronic properties. *Steel Research International*, 78(9), 724–728. <https://doi.org/10.1002/srin.200706276>
- Tjong, S. C. (1986). Stress corrosion cracking behaviour of the duplex Fe-10Al-29Mn-0.4C alloy in 20% NaCl solution at 100° C. *Journal of Materials Science*, 21(4), 1166–1170. <https://doi.org/10.1007/BF00553248>
- Wea, J. P., Kartikasari, R., & Prasetyo, A. B. (2023). *Pengaruh Waktu Proses Dct Pada Baja Mangan Dengan Penambahan 17, 4 Cr dan 18, 4 Cr Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Keausan*. 04(02), 166–174.
- Yang, K., & Ren, Y. (2010). Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 11(1), 014105. <https://doi.org/10.1088/1468-6996/11/1/014105>
- Zandrotto, J. Y. B., Kartikasari, R., dan W. (2022). Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Kekuatan Paduan Fe-1Al-6,9C. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, (November), 9–15. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/3299>