

## Pengaruh Variasi Waktu *Spheroidizing Annealing* Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja Paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C

Dendi Gusma Wijaya<sup>1</sup>, Didit Setyo Pamuji<sup>2,\*</sup>, Yohanes Agus Jayatun<sup>3</sup>

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

Jl Babarsari Caturtunggal Depok Sleman, Yogyakarta 55281

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

### Abstract

*Fe-Mn-Al-C alloy steel is a new austenitic stainless steel candidate alloy, where Al and Mn elements replace Cr and Ni elements. After casting alloy steel Fe-14.8 Mn-11.9 Al-0.7 C turned out to have a hardness of up to 42 HRC and difficult to machining. This study specifically aims to further investigate the effect of spheroidizing annealing process on alloy steel Fe-14.8 Mn-11.9 Al-0.7 C by varying the annealing time to increase tensile strength, microstructure stability, and decrease the hardness value. Ingot sheets are formed into several specimens and then annealed at a temperature of 1100 ° with time variations of 45, 60, and 90 minutes. The specimens were tested for chemical composition, microstructure analysis, and mechanical properties. In the microstructure of raw materials obtained Ferrite and austenite phases, based on the results of microstructure photos at the time variations found no new phase and no significant difference, visible ferrite structure becomes larger / more elongated and austenite structure is shrinking. Hardness test results using the highest Vickers method in raw materials amounted to 463.6 kg / mm<sup>2</sup> after the annealing process hardness value decreased but not significantly, because after peroses annealing ferrite structure obtained that looks bigger. The results of tensile strength testing of raw materials amounted to 343.58 MPa and obtained the highest stress in the variation time 45 minutes of 422.18 Mpa, or increased by 22.8%.*

**Keywords:** Fe-Mn-Al-C, *Spheroidizing Annealing*, Tensile Strength, Vickers Hardness, Micro Structure

### Abstrak

Baja paduan Fe-Mn-Al-C merupakan paduan baru kandidat baja tahan karat austenitik, dimana unsur Al dan Mn menggantikan unsur Cr dan Ni. Setelah dilakukan pengecoran baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C ternyata memiliki kekerasan hingga 42 HRC dan susah untuk di *machining*. Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk menginvestigasi lebih lanjut pengaruh proses *spheroidizing annealing* pada baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C dengan memvariasikan waktu anil untuk meningkatkan kekuatan tarik, stabilitas struktur mikro, dan menurunkan nilai kekerasan. Lembaran ingot dibentuk menjadi beberapa spesimen kemudian dianil pada suhu 1100°C dengan variasi waktu 45, 60, dan 90 menit. Spesimen dilakukan uji komposisi kimia, analisis struktur mikro, dan sifat mekanik. Pada struktur mikro *raw material* didapatkan fasa *ferit* dan *austenite*, berdasarkan hasil foto struktur mikro pada variasi waktu

tidak ditemukan fasa baru dan tidak ada perbedaan yang signifikan, terlihat struktur *ferit* menjadi lebih besar/semakin memanjang dan struktur *austenite* yang mengecil. Hasil pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* tertinggi di *raw material* sebesar 463,6 kg/mm<sup>2</sup> setelah dilakukan proses anil nilai kekerasan menurun namun tidak signifikan, dikarenakan setelah proses anil diperoleh struktur *ferit* yang terlihat lebih besar. Hasil pengujian kekuatan Tarik dari *raw material* sebesar 343,58 MPa dan didapat tegangan tertinggi di variasi waktu 45 menit sebesar 422,18 Mpa, atau meningkat sebesar 22,8%.

**Kata Kunci** : Fe-Mn-Al-C, *Spheroidizing Annealing*, Kekuatan Tarik, Kekerasan *Vickers*, Struktur Mikro

---

## PENDAHULUAN

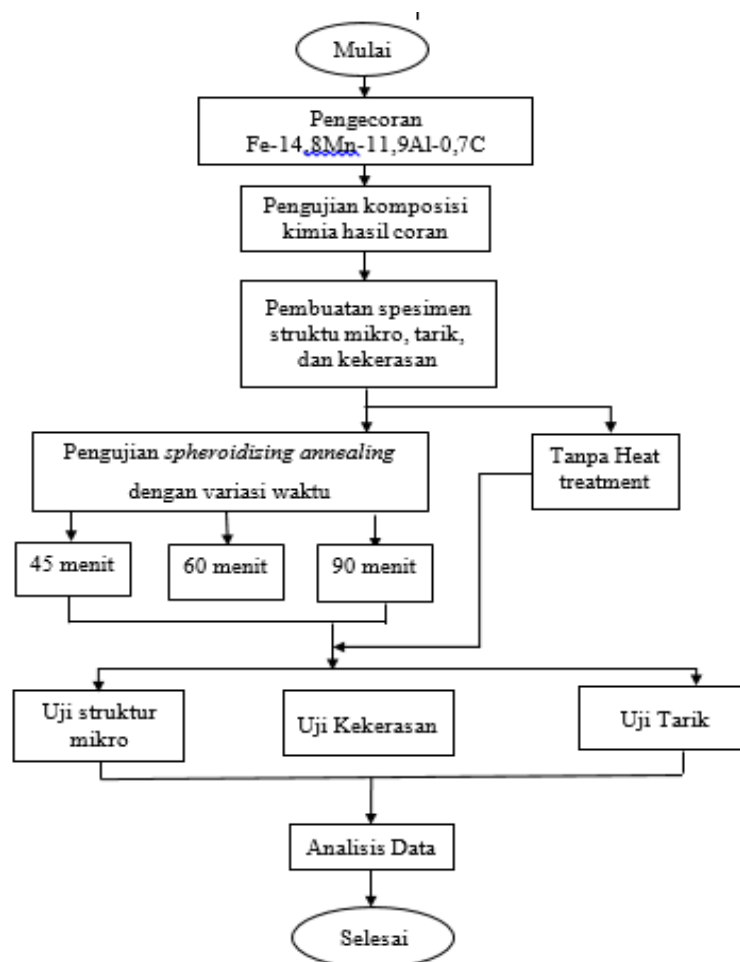
Baja paduan (*alloy steel*) pada industri otomotif banyak digunakan dalam volume yang besar karena sifat-sifat mekaniknya yang baik, memiliki mampu bentuk (*formability*), dapat didaur ulang, mudah ditemukan, dan biaya yang relatif murah. Baja paduan Fe-Mn-Al-C ini telah dilaporkan memiliki beberapa sifat menarik diantaranya yaitu, memiliki ketahanan terhadap lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi pada temperatur tinggi, kekuatan dan ketangguhan yang tinggi pada temperatur ruang maupun rendah (Kalashnikov dkk., 2000).

*Spheroidizing annealing* konvensional pada baja membutuhkan waktu yang sangat lama untuk menyelesaikan prosesnya. Upaya awal *spheroidizing* yang melibatkan waktu tahan yang lama (72-100 jam) tepat di bawah suhu kritis yang lebih diterapkan pada baja karbon sehingga dapat memecah sementit *lamellar* menjadi sementit *spheroid* sementit. *Spheroidizing annealing* memberikan keuletan yang lebih baik, meskipun mengorbankan sebagian kekuatan materialnya, dengan mikrostrukturnya terdiri dari sementit atau besi karbida yang berbentuk *spheroid* di dalam matriks  $\alpha$ -*ferrite*. Namun, pengurangan kekuatan dan kinetika yang lambat adalah dua masalah utama yang terkait dengan perlakuan panas dengan *spheroidizing annealing* konvensional. Untuk mempercepat proses *spheroidizing*, maka dilakukanlah suatu metode dengan metode *cyclic spheroidizing annealing* (Yin dkk., 2018). Pengujian baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C ada 3 yaitu uji struktur mikro, uji kekerasan *vickers*, dan uji tarik. Pengujian mikro dengan standar ASTM E3 merupakan suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus yaitu mikroskop logam. Selanjutnya pengujian kekerasan dengan standar ASTM E286 adalah kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap indentasi/penetrasi atau abrasi. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena pengujian sifat ini dapat digunakan untuk menguji homogenitas suatu material, selain itu dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lainnya. Kemudian uji tarik dengan standar ASTM E8 merupakan jenis pengujian yang dilakukan dengan melakukan penarikan terhadap suatu material sampai material tersebut patah atau putus. Benda uji yang diberi gaya tarik diletakkan secara sejajar dengan garis sumbuanya terhadap permukaan penampangnya (Ambiyar dan Purwantono, 2008). Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva hasil uji tarik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari pengecoran paduan Fe-Mn-Al-C pada tanur induksi dengan komposisi yang telah ditentukan, setelah mencapai titik lebur kemudian baja paduan ini dituangkan kedalam cetakan-cetakan pasir (*sand molding*) dengan ukuran 10mm x 200mm x 100mm. Kemudian dilakukan pengambilan data pengujian komposisi kimia pada spesimen *raw material*. Selanjutnya membuat spesimen uji dengan Standar ASTM E8 untuk spesimen uji tarik dan 3mm x 10mm x 10mm untuk spesimen uji kekerasan *vickers* dan uji struktur

mikro. Selanjutnya dilakukan proses *spheroidizing annealing* pada suhu 1100°C dengan variasi waktu 45 menit, 60 menit, dan 90 menit *kedalam furnace*. Kemudian pengujian struktur mikro pada semua spesimen termasuk spesimen *raw material* dengan mikroskop logam dilanjut dengan uji kekerasan *vickers* dengan pembebanan sebesar 40Kgf. Selanjutnya pengujian tarik dilakukan dengan pembebanan tarik sebesar 15.000Kgf hingga semua spesimen putus dan keluar hasil data grafik tegangan dan regangan. Setelah semua pengujian selesai kemudian dilanjutkan dengan analisis data hasil pengujian dan perhitungan tiap spesimen uji untuk *input* kedalam laporan tugas akhir.



Gambar 1 Diagram Alir

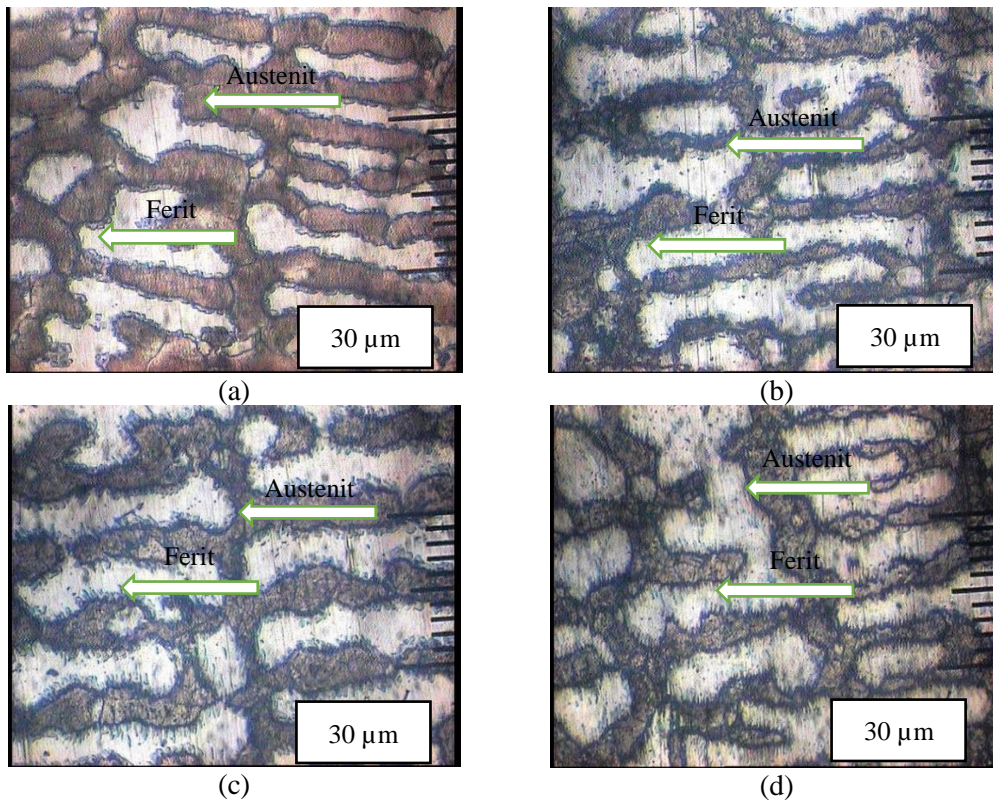
Pada penelitian ini menggunakan proses perlakuan panas *Spheroidizing Annealing*. Material yang digunakan adalah baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C dengan spesimen tarik sejumlah 4 buah dengan standar ASTM E8, spesimen kekerasan dan struktur mikro sejumlah 4 buah dengan ukuran 5mm x 30mm x 30mm. Masing-masing spesimen diberikan variasi waktu 45 menit, 60 menit, 90 menit dan *raw material*. Pengujian dilakukan dengan uji tarik dan uji kekerasan *vickers* untuk mengetahui kekuatan tarik dan nilai kekerasannya. Sedangkan pada pengujian struktur mikro berfungsi untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada variasi temperatur.

## PEMBAHASAN

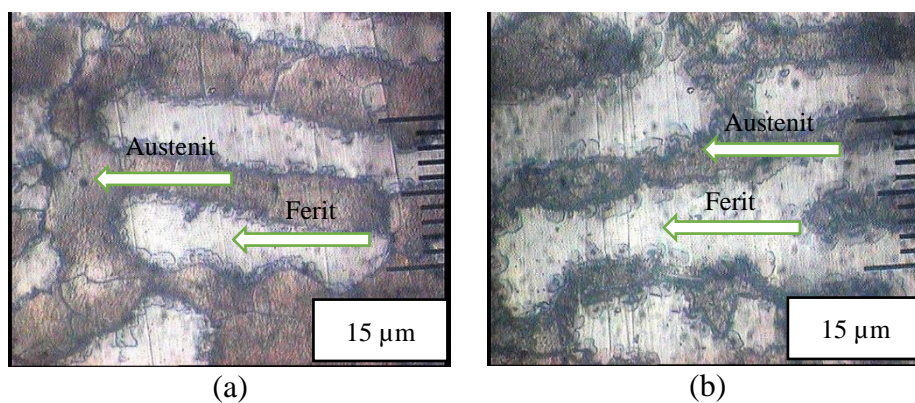
### Hasil Pengujian Struktur Mikro

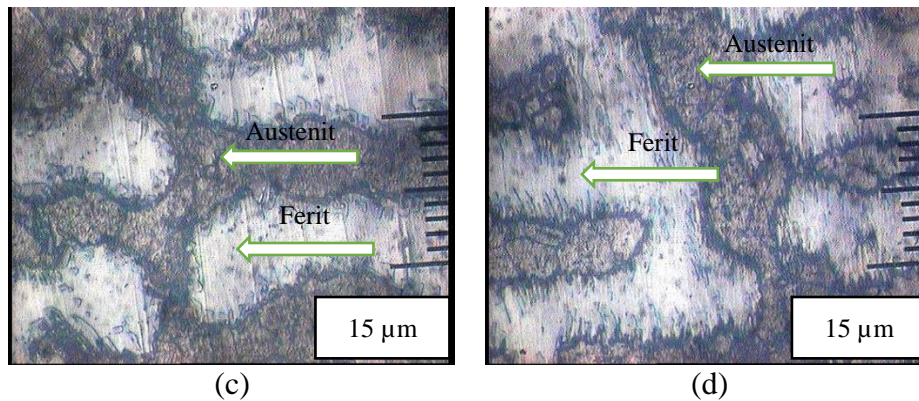
Hasil pengujian struktur mikro yang mengacu pada standar ASTM E3 dianalisis menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100x dan 200x, pengujian struktur mikro dilakukan pada *Raw material*, dan variasi waktu 45 menit, 60 menit, 90 menit. Penentuan fasa struktur mikro yang terbentuk pada spesimen baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C berdasarkan pada diagram fasa Fe-Mn (Rabikin, 2011), Fe-Al (Andi, 2022), dan Fe-Mn-Al (Zhang dkk., 2008).

### *Raw Material* Variasi Waktu 45 Menit, 60 Menit, Dan 90 Menit



**Gambar 2** Foto Struktur Mikro Pembesaran 100x, Pada (a) *Raw Material* Dan Variasi Waktu Tahan (b) 45 Menit, (c) 60 Menit, Dan (d) 90 Menit Baja Paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C.





**Gambar 3** Foto Struktur Mikro Pembesaran 200x Pada (a) *Raw Material* Dan Variasi Waktu Tahan (b) 45 Menit, (c) 60 Menit, (d) 90 Menit Baja Paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C.

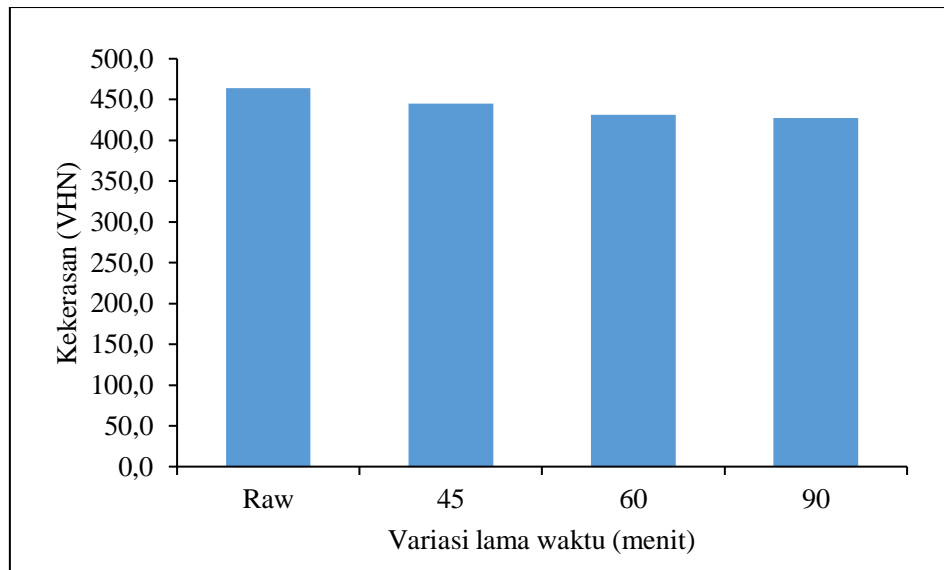
**Gambar 2** Dan **Gambar 3** Menunjukkan bahwa struktur mikro baja paduan *Raw Material* Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C sudah terbentuk struktur *ferit* dan *austenit* yang seragam namun belum pekat, hal ini disebabkan oleh pendinginan yang tidak seragam pada *raw material* karena faktor cetakan pasir serta bentuknya yang tidak homogen. Unsur Al pada baja paduan ini berfungsi sebagai pembentuk dan penstabil *ferit* sedangkan Mn berperan dalam menstabilkan struktur *austenite*. Gambar hasil struktur mikro menunjukkan masing-masing mikro spesimen pada suhu 1100°C dan variasi waktu tahan *annealing*. Hasil pengujian struktur mikro yang telah melewati proses *annealing* ini tidak ditemukan fasa lain selain *ferit* dan *austenit*. Berdasarkan hasil foto struktur mikro pada variasi waktu tidak terlihat perbedaan yang signifikan, terlihat bahwa struktur *ferit* menjadi lebih besar sedangkan struktur *austenit* kecil. Hal ini disebabkan terjadinya proses rekristalisasi secara simultan pada *austenit* sedangkan struktur *ferit* mengalami peningkatan pertumbuhan butir (Maitano, 2022). Proses *spheroidizing annealing* dengan suhu 1100°C dan variasi waktu tahan tidak merubah sifat mekaniknya, dikarenakan pada gambar 4.2 dari *raw material* sampai dengan proses anil tidak ada perubahan yang signifikan.

### Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan dengan metode *vickers* dengan standar ASTM E286 dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap goresan atau pengikisan. Indentor piramida intan ditekan ke permukaan pada bagian yang diukur dengan beban 40Kgf kemudian dianalisis kekerasan pada setiap titik dan dicari kekerasan rata-ratanya.

**Tabel 1** Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

No	Variasi Spesimen	Titik	Diagonal		Kekerasan	Kekerasan
		Uji	D1	D2	(VHN)	Rata-rata (VHN)
1	Raw	1	0,39	0,40	475,3	463,6
		2	0,40	0,40	463,5	
		3	0,40	0,41	452,1	
2	45 menit	1	0,40	0,40	463,5	445,1
		2	0,41	0,42	430,6	
		3	0,41	0,41	441,2	
3	60 Menit	1	0,41	0,42	430,6	431,1
		2	0,42	0,43	410,6	
		3	0,40	0,41	452,1	
4	90 Menit	1	0,42	0,42	420,4	427,3
		2	0,41	0,41	441,2	
		3	0,43	0,41	420,4	



**Gambar 4** Grafik Hasil Kekerasan

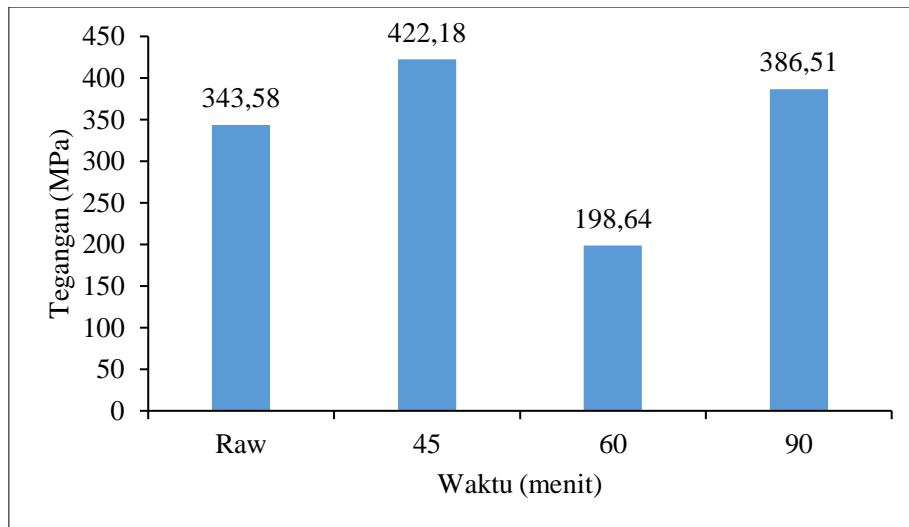
Pada **Gambar 6** hasil uji kekerasan spesimen uji baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C, pada spesimen *raw material* diperoleh nilai kekerasan sebesar 463,6 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada spesimen yang telah melewati proses *annealing* terlihat nilai kekerasan setiap spesimen mengalami penurunan. Kekerasan yang paling rendah pada proses *annealing* ini pada waktu 90 menit dengan nilai kekerasan 427,3 kg/mm<sup>2</sup> (penurunan 7,8% dari nilai kekerasan *raw material*). Dari data keseluruhan nilai kekerasan tertinggi pada *raw material* yang mempunyai struktur ferit dan austenite, dimana austenite lebih dominan. Pada variasi waktu 90 menit kekerasan menurun dikarenakan pembentukan struktur ferit mendekati sempurna.

### Hasil Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik ini sepesimen uji tarik berdasarkan pada standar ASTM-E8. Pengujian ini dilakukan dengan beban tarik sebesar 15.000Kgf untuk masing-masing spesimen ditarik hingga putus yang menghasilkan data dan grafik.

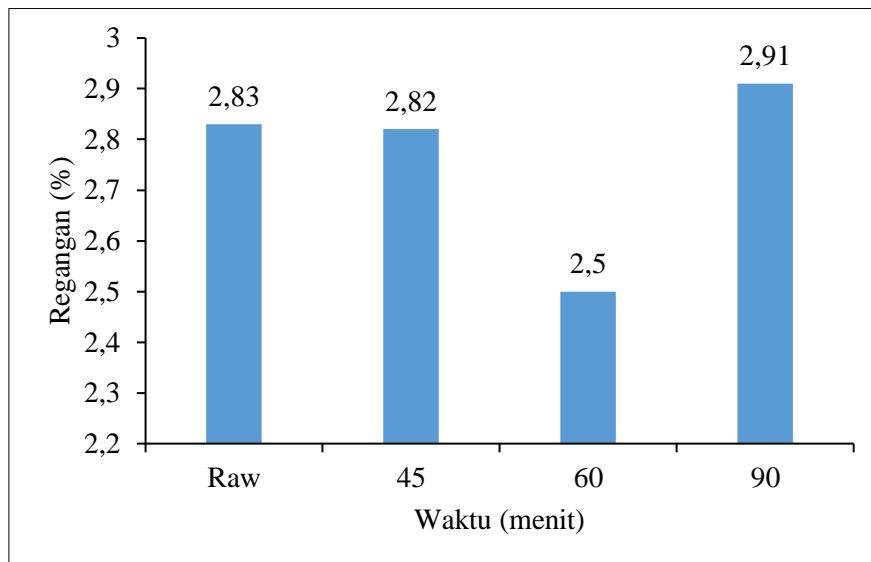
**Tabel 2** Hasil Pengujian Tarik

Variasi Perlakuan	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Lo (mm)	L (mm)	PMax (N)	ΔL (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
Raw	7,28	5,82	25	25,75	14555,7	0,75	343,58	2,83
45 menit	7,72	6,23	25	25,75	20307,3	0,75	422,18	2,82
60 menit	7,28	5,8	25	25,65	8385,7	0,65	198,64	2,5
90 menit	7,59	6,23	25	25,77	18275,1	0,77	386,51	2,91



**Gambar 5.** Tegangan Tarik

Pada **Gambar 7** Dari hasil pengujian tarik ini didapatkan nilai tegangan tertinggi di waktu 45 menit sebesar 422,18 MPa dan nilai tegangan terendah pada waktu 60 menit sebesar 198,64 MPa.



**Gambar 6.** Regangan Tarik

Pada **Gambar 6** nilai regangan tertinggi didapatkan pada waktu 90 menit sebesar 2,91% dan nilai regangan terendah didapatkan pada waktu 60 menit sebesar 2,5%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C dengan variasi waktu 45 menit, 60 menit, 90 menit dilakukan serangkaian pengujian yaitu uji struktur mikro, uji kekerasan vickers dan uji tarik. Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari baja paduan ini pada saat diberikan perlakuan panas atau tidak diberikan perlakuan panas. Hasil pengujian kekerasan menggunakan metode pengujian *vickers* menunjukkan pada paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C memiliki nilai kekerasan tertinggi di raw material sebesar 463,6 kg/mm<sup>2</sup>, pada variasi waktu 45 menit sebesar 445,1 kg/mm<sup>2</sup>, 60 menit sebesar 431,1 kg/mm<sup>2</sup>, dan 90 menit sebesar 427,3 kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk uji tarik didapatkan tegangan *raw material* sebesar 343,58 MPa, variasi waktu 45 menit sebesar 422,18 MPa, variasi 60 menit sebesar 198,64 MPa, dan variasi waktu 90 menit sebesar 386,51 MPa. Untuk regangan *raw material* sebesar 2,83%, variasi waktu 45 menit sebesar 2,82%, variasi waktu 60 menit sebesar 2,50%, dan variasi waktu 90 menit sebesar 2,91%. Hasil

pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* tertinggi di *raw material* sebesar 463,6 kg/mm<sup>2</sup> setelah dilakukan proses anil nilai kekerasan menurun namun tidak signifikan, dikarenakan setelah proses anil diperoleh struktur ferit yang terlihat lebih besar. Pengujian kekuatan Tarik dari *raw material* sebesar 343,58 MPa dan didapat tegangan tertinggi di variasi waktu 45 menit sebesar 422,18 Mpa, atau meningkat sebesar 22,8%. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C Fasa yang terlihat baik *raw material* atau spesimen variasi waktu adalah *ferit* dan *austenit*. Jika dilihat dari hasil pengujian pada spesimen *raw material* dan perlakuan panas tidak terlihat perubahan yang signifikan, dari *raw material* hingga dilakukan perlakuan panas *ferit* lebih banyak mendominasi dibandingkan dengan *austenit*, bentuk dari butir ferit yang lebih besar dan *austenit* yang kecil. Namun pada *annealing* variasi waktu tahanan yang dilakukan belum mampu membuat nilai kekerasan menurun. Proses *spheroidizing annealing* dengan suhu 1100°C dan variasi waktu tahanan yang dilakukan ini dilihat dari gambar 4.2 tidak ada perubahan yang signifikan pada struktur mikronya, disimpulkan bahwa tidak dapat merubah nilai kekuatan dan kekerasan dari baja paduan Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C dan tidak membuat proses *machining* meningkat.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Institut Teknologi Nasional Yogyakarta sebagai sumber pendanaan penelitian ini, Program Studi Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Keluarga tercinta, serta teman-teman yang sudah memberikan dukungan dan bantuan hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

### REFERENSI

- Kalashnikov, I. S. *et al.* (2000) 'Behavior of Fe-Mn-Al-C steels during cyclic tests', *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9(3), pp. 334–337. doi: 10.1361/105994900770346015.
- Yuan, X., Yao, Y. and Chen, L. (2014) 'High-temperature oxidation behavior of a high manganese austenitic steel Fe-25Mn-3Cr-3Al-0.3C-0.01N', *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 27(3), pp. 401–406. doi: 10.1007/s40195-014-0071-1.
- Hwang, S. W. *et al.* (2011) 'Tensile deformation of a duplex Fe-20Mn-9Al-0.6C steel having the reduced specific weight', *Materials Science and Engineering A*, 528(15), pp. 5196–5203. doi: 10.1016/j.msea.2011.03.045.
- Yin, Y. jun *et al.* (2018) 'Ultra-low-carbon steel spheroidization and torsion', *Journal of Iron and Steel Research International*, 25(9), pp. 968–974. doi: 10.1007/s42243-018-0137-9.
- Ambiyar., & Purwantono. (2008). *Fabrikasi Logam*. Padang: UNP Press Padang.
- Rabinkin, A. (2011). The pure manganese end member of this Fe-Mn phase diagram shows the higher temperature Mn phases. The image appears on a website entitled, "Iron-Manganese (Fe-Mn) Phase Diagram" at url=<http://www.calphad.com/iron-manganese.html>.
- Maulana, Andi., Kartikasari, R., & Setyo Pamuji, Didit. (2022). Pengaruh waktu proses Deep Cryogenic Treatment – Temper terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan paduan Fe-14Al-21,3Mn
- Y. T. Zhang, X. Y. Li, D. Z. Li, et al. (2008). PHASE DIAGRAM CALCULATION AND EXPERIMENT FOR FEMN-AL SYSTEM AT DIFFERENT TEMPERATURE. China
- Maitano, A. F. D., Kartikasari, R., & Muhfidin, R. (2022). Pengaruh Waktu Proses Deep Cryogenic Treatment Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Keausan Paduan Fe-Al-Mn-Mo. *ReTII*, 56-61.