

Pengaruh Variasi Waktu *Annealing* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Paduan Fe-Mn-Al-C

Didit Setyo Pamuji¹, Sutrisna², Yohanes Agus Jayatun², Dendi Gusma Wijaya²

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Korespondensi : didit@itny.ac.id

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 *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 diambil 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/mm² 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, *Annealing*, Kekuatan Tarik, Kekerasan *Vickers*, Struktur Mikro

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 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 / mm² after the annealing process hardness value decreased but not significantly, because after process 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%.

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

PENDAHULUAN

Baja paduan Fe-Mn-Al-C, yang sebelumnya telah dikembangkan pada tahun 1950-an untuk menggantikan baja tahan karat Fe-Cr-Ni, saat ini mulai mendapat perhatian kembali karena berpotensi untuk diaplikasikan pada bagian-bagian struktur dalam industri otomotif karena massa jenisnya yang lebih ringan. Paduan Fe-Mn-Al-C merupakan kategori baja monolithic bermassa jenis rendah yang memiliki kombinasi

sifat-sifat mekanik yang luar biasa antara lain, kekuatan luluh 0,4-1,0 GPa, kekuatan tarik maksimum 0,6-2,0 Gpa, pemanjangan 30-100% [1] dan penurunan berat spesifik (pengurangan 1,3% massa jenis setiap 1% berat aluminium yang ditambahkan [2].

Lebih lanjut, baja paduan ini juga telah dilaporkan memiliki banyak sifat menarik lainnya seperti kekuatan dan ketangguhan yang tinggi pada temperatur ruang dan rendah [3] ketahanan lelah yang baik [4] serta ketahanan yang baik terhadap oksidasi pada temperatur tinggi [5]. Kemampuan untuk menjadi keras seiring waktu (*age harden*) dan menyerap energi saat terjadi benturan, menjadikan paduan Fe-Mn-Al-C sebagai baja berkekuatan tinggi lanjut yang potensial [6].

Penelitian mengenai komposisi unsur Aluminium dan Mangan pada paduan baja Fe-Mn-Al-C untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik unggul juga telah banyak diteliti. Kartikasari (2015) [7] melakukan pengecoran paduan Fe-7,5Al-XMn-0,6C dengan tungku induksi pada atmosfer gas argon, dan merekomendasikan komposisi unsur mangan sebesar 25% untuk mendapatkan kekuatan tarik dan ketangguhan dampak yang paling besar, nilai kekerasan yang turun namun terlalu signifikan dan ketahanan korosi yang paling baik pada pengujian dengan perendaman larutan NaCl 0,5%.

Aplikasi penggunaan baja Fe-Mn-Al-C dalam industri otomotif sampai dengan saat ini masih belum umum digunakan karena masih terbatasnya pengetahuan tentang sifat aplikasi seperti ketangguhan dampak (*impact toughness*), *high strain rate property*, *fatigue behavior*, sifat mampu bentuk (*formability*), ketahanan korosi (*corrosion resistance*), dan sifat mampu las (*weldability*) [8].

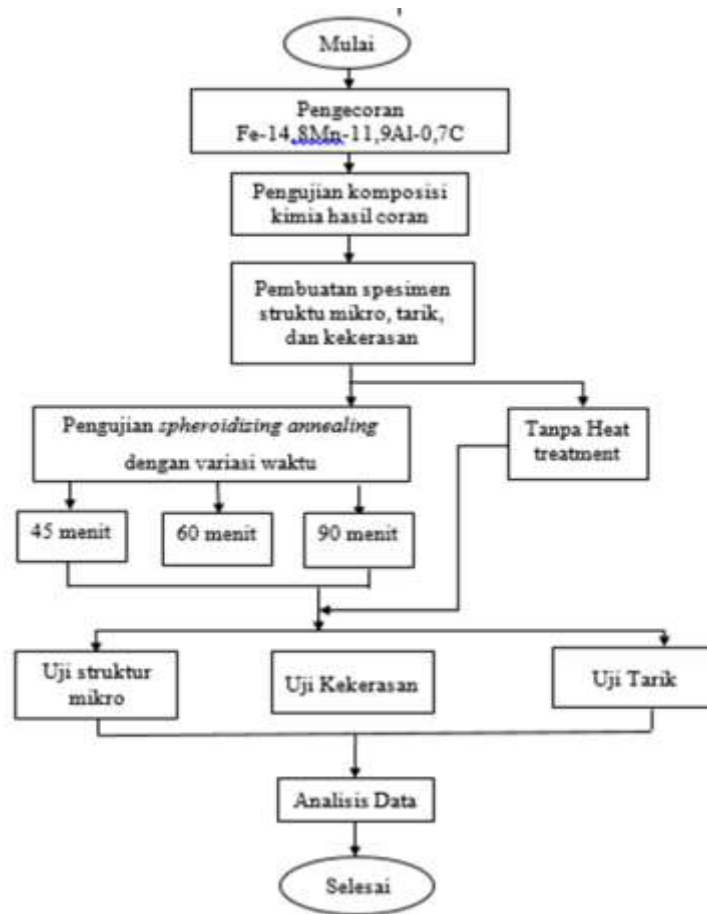
Lebih lanjut, baja paduan Fe-Mn-Al-C ternyata sulit untuk di *machining*, sehingga diperlukan tahap heat treatment yang cocok untuk meningkatkan sifat mampu machiningnya, salah satunya yaitu dengan proses spheroidising annealing. Penganilan baja paduan Fe-Mn-Al-C membutuhkan penelitian lebih dalam terutama pada perubahan struktur mikro, sifat mampu mesin, dan sifat mekanik material setelah material tersebut dilakukan penganilan sehingga didapat data lebih lanjut untuk menutupi celah untuk aplikasi penggunaannya pada industri otomotif.

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. Ringkasan metode penelitian diilustrasikan pada Gambar 1.

Selanjutnya dilakukan proses *annealing* pada suhu 1100°C dengan variasi waktu 45 menit, 60 menit, dan 90 menit *ke dalam furnace*. Kemudian pengujian struktur mikro pada semua spesimen termasuk spesimen *raw material* dengan mikroskop logam dilanjutkan 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.

Pada penelitian ini menggunakan proses perlakuan panas *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.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Bahan penelitian : Baja paduan hasil pengecoran dengan komposisi Fe-14,8Mn-11,9Al-0,7C. Adapun spesifikasi geometri bahan : tebal 15 mm, panjang 300 mm, lebar 100 mm.

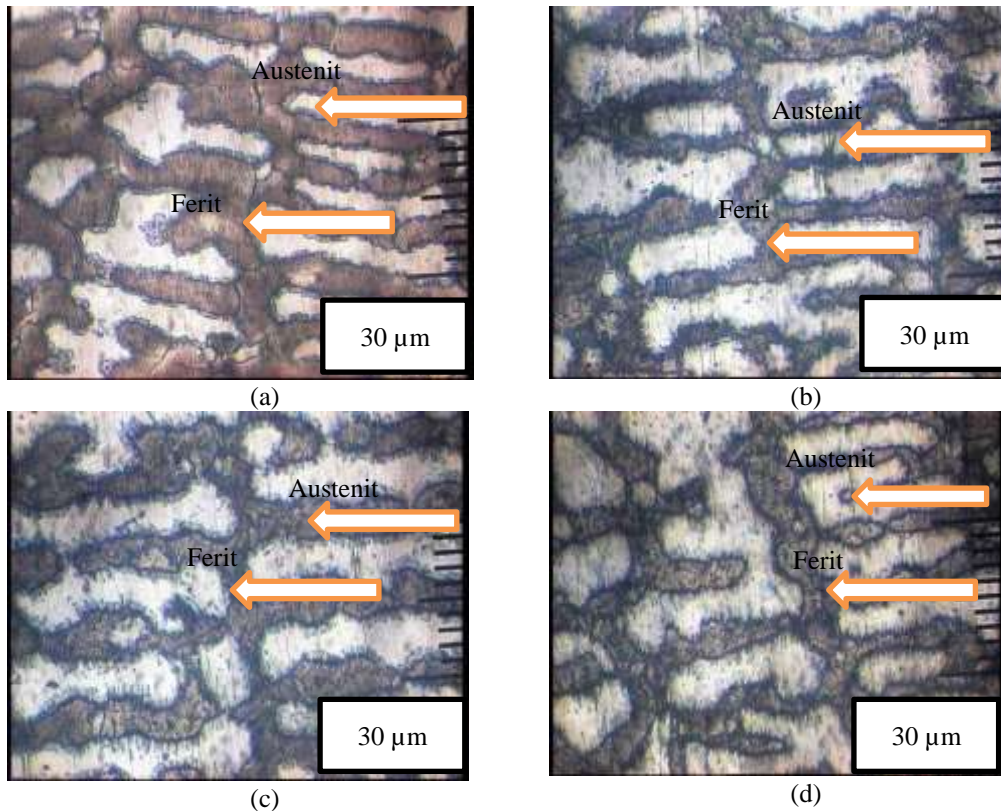
Bahan pendukung berupa : a) Amplas grit 100 , 400, 800, 100, 1500, dan 2000 mesh. b) Resin dan katalis, c) *Metal polish* merek Autosol, d) Larutan HNO₃ (asam nitrat/*nitric acid*) digunakan untuk bahan etsa, e) Kain bludru. Jenis pengujian, jumlah spesimen dan penggunaannya dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rincian spesimen yang digunakan untuk penelitian.

No	Sampel	Jumlah	Keterangan
1	Uji Komposisi	2	Spesimen <i>raw material</i>
2	Uji Struktur Mikro	4	Spesimen <i>raw material</i> dan <i>annealed metal</i> pada variasi waktu 45 menit, 60 menit, dan 90 menit, pada (pembesaran 200 x)
3	Uji Tarik	10	3 spesimen uji pada masing-masing <i>annealed metal</i> pada variasi waktu 45 menit, 60 menit, 90 menit dan <i>raw material</i> .
4	Uji Kekerasan dan struktur mikro	4	3 spesimen uji pada masing-masing <i>annealed metal</i> pada variasi waktu 45 menit, 60 menit, 90 menit dan <i>raw material</i> .

HASIL DAN ANALISIS

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 [9], Fe-Al [10], dan Fe-Mn-Al [11].



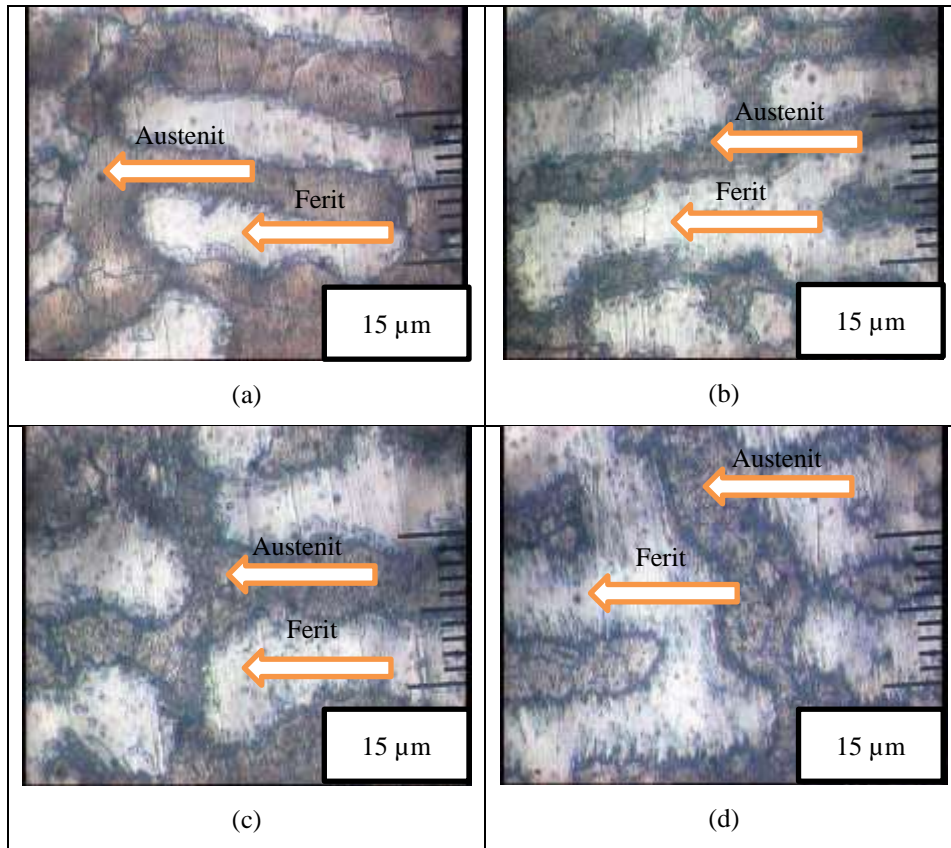
Gambar 2. Foto Struktur Mikro Pembesaran 100x, pada (a) *Raw Material* dan Variasi Waktu Tahan (b) 45 menit, (c) 60 menit, dan (d) 90 menit

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 terlihat 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*.

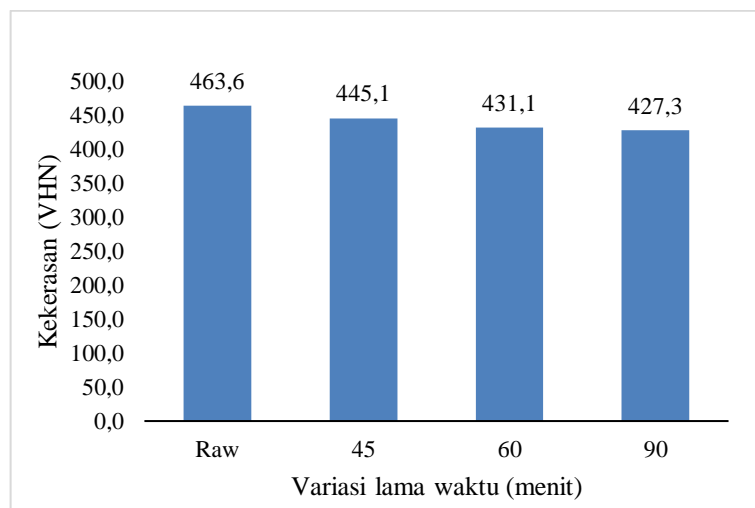
Gambar hasil struktur mikro menunjukkan masing-masing spesimen pada suhu 1100°C dan variasi waktu tahan *annealing*. Hasil pengujian struktur mikro yang telah melewati proses *annealing* ini tidak ditemukan fasa lain selain *ferit* dan *austenit*. Berdasarkan hasil foto struktur mikro pada variasi waktu 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 [12].

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. Berdasarkan 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/mm², 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/mm² (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 semakin dominan.



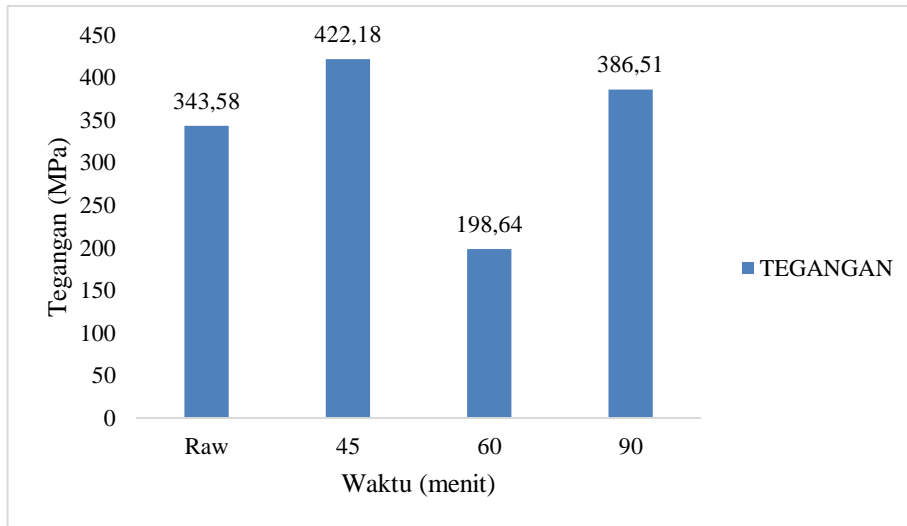
Gambar 3. Foto Struktur Mikro Pembesaran 200x, pada (a) *Raw Material* dan Variasi Waktu Tahan (b) 45 menit, (c) 60 menit, dan (d) 90 menit



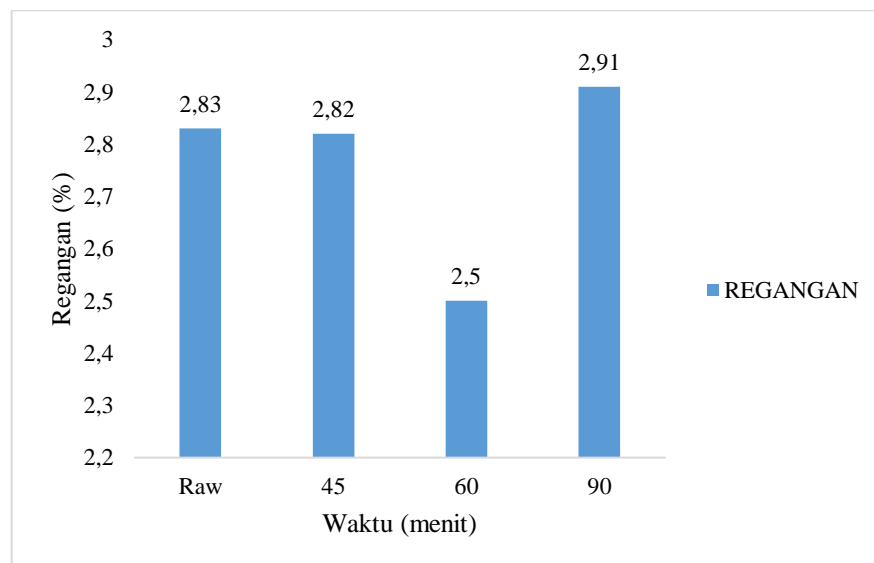
Gambar 4. Perbandingan Hasil Kekerasan

Pada pengujian tarik ini spesimen 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. Pada **Gambar 5** berdasarkan 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. 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%.



Gambar 5. Perbandingan Hasil Pengujian Kekuatan Tarik



Gambar 6. Perbandingan Hasil Pengujian Regangan Tarik

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/mm², pada variasi waktu 45 menit sebesar 445,1 kg/mm², 60 menit sebesar 431,1 kg/mm², dan 90 menit sebesar 427,3 kg/mm². 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/mm² 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.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat, dan Inovasi (LPPMI) ITNY yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kim, H., Suh, D. W. and Kim, N. J. (2013) 'Fe-Al-Mn-C lightweight structural alloys: A review on the microstructures and mechanical properties', *Science and Technology of Advanced Materials*, 14(1). doi: 10.1088/1468-6996/14/1/014205.
- [2] Raabe, D. *et al.* (2014) 'Alloy Design, Combinatorial Synthesis, and Microstructure–Property Relations for Low-Density Fe-Mn-Al-C Austenitic Steels', *Jom*, 66(9), pp. 1845–1856. doi: 10.1007/s11837-014-1032-x.
- [3] 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*. Elsevier B.V., 528(15), pp. 5196–5203. doi: 10.1016/j.msea.2011.03.045.
- [4] 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.
- [5] Chen, S. *et al.* (2017) 'Current state of Fe-Mn-Al-C low density steels', *Progress in Materials Science*. Elsevier Ltd, 89, pp. 345–391. doi: 10.1016/j.pmatsci.2017.05.002.
- [6] Rana, R. (2014) 'Low-Density Steels', *Jom*, 66(9), pp. 1730–1733. doi: 10.1007/s11837-014-1137-2.
- [7] 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), pp. 32884–32887. doi: 10.37622/ijaer/10.13.2015.32884-32887.
- [8] Chen, S. *et al.* (2017) 'Current state of Fe-Mn-Al-C low density steels', *Progress in Materials Science*. Elsevier Ltd, 89, pp. 345–391. doi: 10.1016/j.pmatsci.2017.05.002.
- [9] 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>.
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 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.