

PENGARUH *TEMPERING* PADA BAJA AISI 4130 TERHADAP KINERJA BALISTIK DAN STRUKTUR MIKRO

1,2) Teknologi Daya Gerak,
Fakultas Teknologi
Pertahanan, Universitas
Pertahanan RI, Bogor,
Indonesia

Ilham Rizqi Aminudin ¹⁾, Sovian Aritonang ²⁾

Corresponding email ¹⁾ :
ilham.aminudin@tp.idu.ac.id

Received: 14.11.2022
Accepted: 16.12.2022
Published: 28.12.2022

©2022 Politala Press.
All Rights Reserved.

Abstrak. Metode heat treatment pada umumnya dilakukan untuk meningkatkan keuletan, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan sebagainya. Baja AISI 4130 biasa digunakan untuk manufacturing equipment, vehicle parts, rock crushing machinery hingga body armor. Untuk meningkatkan kualitas dari baja tersebut, diperlukan perlakuan panas dengan memberikan proses autenitizing dan tempering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan, densitas, dan ballistic performance dari baja AISI 4130 setelah dilakukan tempering pada suhu 290°C. Hasil dari pengujian ada kenaikan yang signifikan pada nilai kekerasan dari sebelum tempering nilai kekerasan sebesar 17 HRC dan setelah tempering kekerasan meningkat sebesar 45 HRC. Pada pengujian densitas tetap sama sebesar 7,85g/cm³. Untuk nilai densitas areal didapatkan hasil sebesar 70 kg/m². Dengan hasil uji balistik mendapatkan angka V = 635 m/s dan V50 = 600 m/s, mode penetrasi penetrasinya seperti plugging. Dari hasil tersebut AISI 4130 dapat dikategorikan sebagai body armor kendaraan tempur dengan standar ketahanan balistik STANAG 4569 Threat Level 1 yang mampu menahan proyektil Multi-Hit untuk 5.56mm M193 Ball

Kata Kunci: AISI 4130, Kinerja Balistik 4130, Tempering 4130

Abstract. The heat treatment method is generally carried out to increase ductility, increase hardness, increase tensile stress of metals, and so on. AISI 4130 steel is commonly used for equipment manufacturing, vehicle parts, rock-crushing machines to body armor. To improve the quality of the steel, heat treatment is required by providing austenitizing and tempering processes. This study aims to determine the hardness, density, and ballistic performance of AISI 4130 steel after tempering at 290°C. The results of the test showed that there was a significant increase in the hardness value from before tempering the hardness value was 17 HRC and after tempering the hardness increased by 45 HRC. In testing the density remained the same at 7.85g/cm³. For areal density values, the results are 70 kg/m². With the results of the ballistic test getting the numbers V = 635 m/s and V50 = 600 m/s, the penetration mode is like plugging. From these results, AISI 4130 can be categorized as a combat vehicle body armor with the standard STANAG 4569 Threat Level 1 ballistic resistance which is capable of withstanding Multi-Hit projectiles for the 5.56mm M193 Ball.

Keywords: AISI 4130, Ballistic Performance 4130, Tempering 4130

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.220>

1. Pendahuluan

Perlakuan panas atau *heat treatment* berguna untuk memperoleh sifat-sifat material yang diinginkan. Metode *heat treatment* pada umumnya dilakukan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan sebagainya. Salah satu proses perlakuan panas pada baja adalah pengerasan (*hardening*), yaitu proses

pemanasan baja sampai suhu di daerah atau diatas daerah kritis, disusul dengan pendinginan yang cepat atau *quenching* [1].

Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis lalu disusul dengan pendinginan bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa (residual stres) dari proses *quenching* [2]. *Tempering* dimungkinkan oleh karena sifat struktur *martensite* yang tidak stabil [2].

Baja AISI 4130 biasa digunakan untuk *manufacturing equipment, vehicle parts, rock crushing machinery* hingga *body armor*. Tentunya dalam aplikasi tersebut baja harus memiliki struktur yang keras, kuat dan tangguh, dikarenakan penggunaannya yang selalu menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Untuk meningkatkan kualitas dari baja tersebut, diperlukan perlakuan panas dengan memberikan proses *autenitizing* dan *tempering*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan, densitas, dan *ballistic performance* dari baja AISI 4130 setelah dilakukan *tempering* pada suhu 290°C.

2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini termasuk metode kuantitatif eksperimen, yang pada umumnya digunakan dalam penelitian bersifat laboratoris. Penelitian eksperimen merupakan metode penelitian yang paling dapat diandalkan keilmiahannya (paling valid) karena dilakukan dengan pengontrolan secara ketat terhadap variabel-variabel pengganggu di luar yang dieksperimenkan [3].

Pada penelitian ini baja AISI 4130 dipotong berukuran 15x15x10 mm, dengan menggunakan *wire cut*. Pemotongan sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan yaitu *Archimedes Density, Spark OES, SEM dan Vickers Hardness*.



Gambar 1. Baja AISI 4130
Sumber: Diolah Penulis (2022)

3. Hasil dan Pembahasan

a. *Spark OES*

Optical Emission Spectroscopy adalah alat spektroskopi yang digunakan untuk pengukuran secara kuantitatif emisi optik dari eksitasi atom untuk menjelaskan analisis konsentrasi suatu unsur material. Analisis OES menggunakan proses percikan, yang melibatkan penerapan muatan listrik ke sampel, menguapkan sejumlah kecil material. Dari hasil *OES* yang diuji pada sampel didapatkan unsur dari komposisi baja AISI 4130 dalam aplikasi *body armor* kendaraan tempur sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 4130

Elemen	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al
(Wt.%)	Bal.	0,395	0,368	0,313	1,024	0,229	0,144	0,037

Sumber: Diolah Penulis (2022)

b. *Archimedes Density*

Nilai densitas banyak digunakan untuk menentukan masa jenis suatu materi. Dalam mengetahui nilai densitas, dapat dengan membagi massa dengan volume benda. Namun, dalam penerapan secara hukum Archimedes yang ada pada fluida cair, maka dapat ditentukan seperti pada persamaan 2 [3].

$$B = \rho \text{ fluida} \times g \times V \text{ benda} \quad (1)$$

Pengukuran densitas dilakukan 6 kali, 3 kali pengukuran berat kering, 3 kali pengukuran berat basah.



Gambar 2. Pengukuran Densitas Baja AISI 4130
Sumber: Diolah Penulis (2022)

Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh hasil pengukuran sebesar 7,85 g/cm³. Dalam uji balistik densitas yang dipergunakan adalah *armour areal density*. Mengacu pada Arias, 2003 *armour areal density* pada baja 4130 sebesar 70 kg/m².

c. *Vickers Hardness*

Dipengujian ini permukaan logam yang diuji akan ditekan dengan indenter berbentuk pyramid intan yang berhadapan 136° angka kekerasan pyramid intan atau kekerasan vickers VHN [4]. Adapun rumus matematis untuk uji vickers adalah:

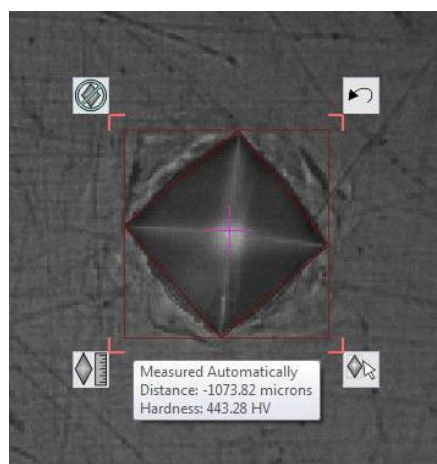
$$VHN = \frac{2 \sin \left[\frac{\theta}{2} \right] P}{d^2} = \frac{2 \sin \left[\frac{136^\circ}{2} \right] P}{d^2} = \frac{1,854 \cdot P}{d^2} \quad (2)$$

Keterangan:

P = Beban tekan yang diberikan (kg)

D = Panjang diagonal bekas tekanan (mm)

θ = Sudut puncak penetrator = 136°



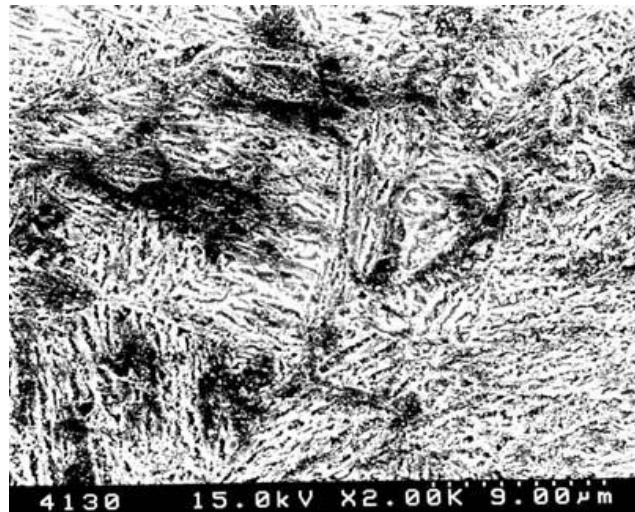
Gambar 3. Hasil Pengujian *Vickers Hardness*
Sumber: Diolah Penulis (2022)

Dari hasil pengujian vickers hardness tersebut didapatkan nilai kekerasan sebesar 443.28 HV konversi 45 HRC. Kekerasan tersebut diperoleh dari austenisasi disuhu 850°C dengan waktu 30 menit dan tempering disuhu 290°C dengan waktu 90 menit [5]. Dalam penelitian lain disebutkan kekerasan akan menurun dengan

meningkatnya suhu austenitisasi tetapi diharapkan karena peningkatan suhu austenitisasi akan meningkatkan ukuran butir austenit awal [6].

d. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Uji ini dilakukan untuk mengamati mikrostruktur sampel dan untuk analisis elemen, data yang akan diperoleh adalah mapping mikrostruktur dan point mikrostruktur. Pada baja AISI 4130 diperoleh dari pengujian SEM sebagai berikut:

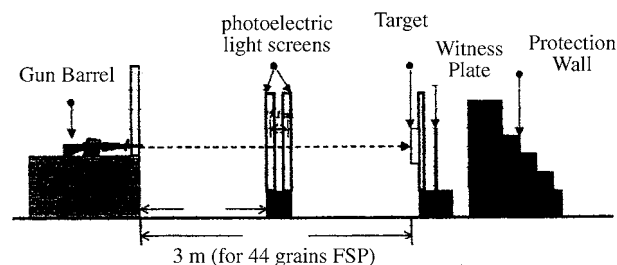


Gambar 4. Hasil Uji SEM Baja AISI 4130

Sumber: Hu, C. J., (2002)

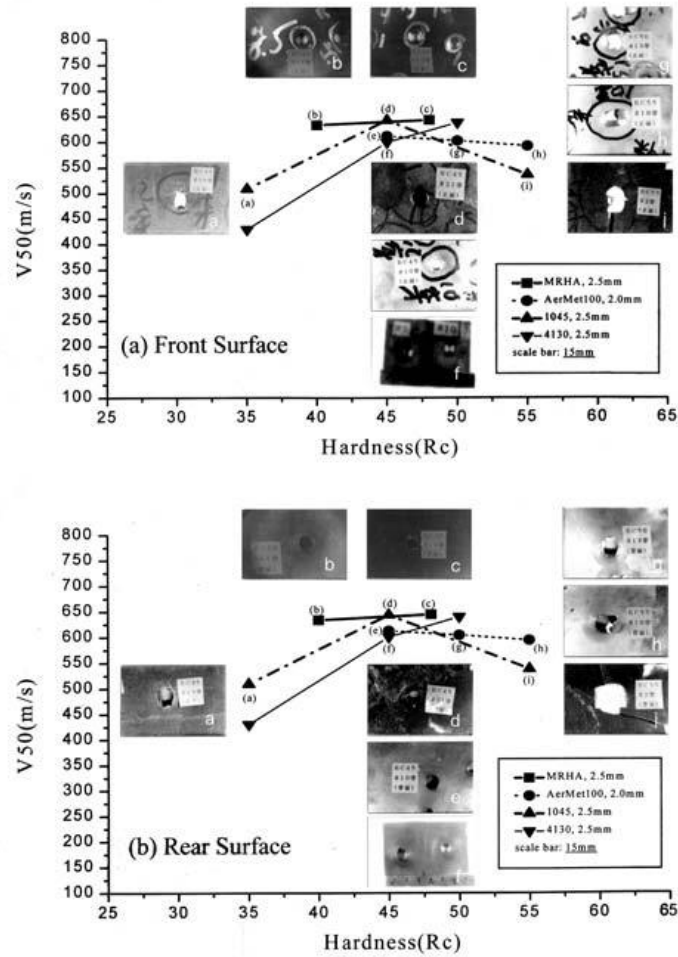
e. *Ballistic Test*

Skema dalam uji balistik dari plat baja AISI 4130 mengikuti standar spesifikasi militer AS: MIL-STD-662E. Uji ini terdiri dari pistol terpasang, detektor kecepatan fotolistrik, pemegang target dan pelat penahan. Uji balistik dengan 44 butir *fragment-simulating projectiles (FSP)* untuk pelat tipis dilakukan dengan prosedur standar untuk menentukan V50, kecepatan batas balistik (Laboratorium Teknologi Bahan Angkatan Darat AS, 1987). V50 didefinisikan sebagai rata-rata dari sejumlah hasil pengujian dengan kecepatan penetrasi parsial tertinggi dan jumlah yang sama dengan kecepatan penetrasi parsial terendah. Uji akan dilakukan lebih dari sepuluh tembakan, ditembakkan untuk setiap pelat pengujian dengan 44 butir FSP, dan V50 adalah rata-rata dari lima kecepatan penetrasi lengkap dan lima kecepatan penetrasi parsial. Tes dilakukan pada 0° miring, yaitu, target normal terhadap lintasan proyektil.



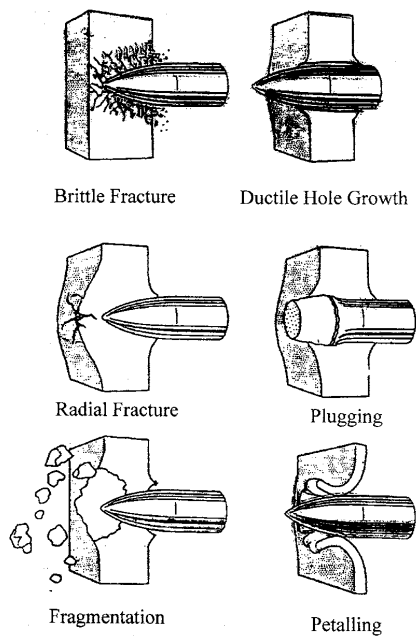
Gambar 5. Skema Uji *Ballistic*

Sumber: Hu, C. J., (2002)



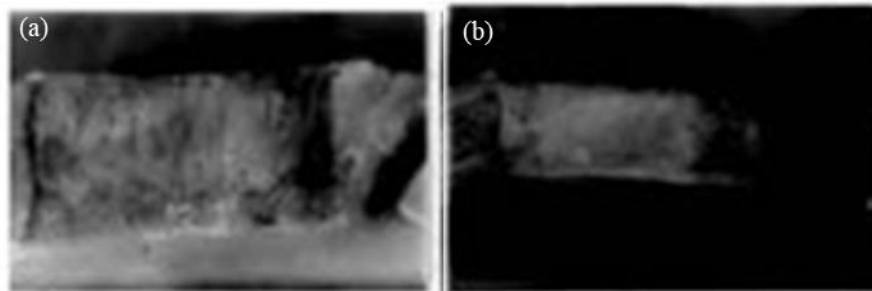
Gambar 6. Hasil Uji *Ballistic* Menggunakan FSP 44 Butir
Sumber: Hu, C. J., (2002)

Hasil uji balistik untuk baja AISI 4130 setebal 2,5 mm dengan FSP 44 butir ditunjukkan pada Gambar 6. Kecepatan batas balistik meningkat dengan meningkatnya kekerasan untuk plat baja 4130 [4].



Gambar 7. Mode Penetrasi Plat Baja yang Terkena Peluru
Sumber: Hu, C. J., (2002)

Pada Gambar 8 diperlihatkan dampak penetrasi setelah uji balistik dilakukan. Jika plat baja tipis dan ulet, dampak penetrasi biasanya terdiri dari beberapa mode sesuai dengan Gambar 7. Plat baja AISI 4130 dengan kekerasan 45 HRC hampir tembus oleh peluru seperti Gambar 8 dan sudah memasuki mode *plugging* [4].



Gambar 8. Dampak dari penampang plat baja AISI 4130 (a) $V=638\text{m/s}$, plugging (b) $V=618\text{m/s}$, $V50=600\text{m/s}$, plugging.
Sumber: Hu, C. J., (2002)

Menurut pengujian yang sudah dilakukan, pertumbuhan lubang ulet dan mode dampak penetrasi yang terjadi lebih sering dari pada mode kegagalan lainnya [3].

4. Kesimpulan

Hasil dari eksperimen pada baja AISI 4130 yang sudah di *tempering* pada suhu 290°C dengan waktu 90 menit. Ada kenaikan yang signifikan pada nilai kekerasan dari sebelum *tempering* nilai kekerasan sebesar 17 HRC dan setelah *tempering* kekerasan meningkat sebesar 45 HRC. Pada pengujian densitas tetap sama sebesar $7,85\text{g/cm}^3$. Untuk nilai densitas areal didapatkan hasil sebesar 70 kg/m^2 . Dengan hasil uji balistik mendapatkan angka $V = 635\text{ m/s}$ dan $V50 = 600\text{ m/s}$, mode penetrasi penetrasinya seperti *plugging*. Dari hasil tersebut AISI 4130 dapat dikategorikan sebagai *body armor* kendaraan tempur dengan standar ketahanan balistik STANAG 4569 *Threat Level 1* yang mampu menahan proyektil *Multi-Hit* untuk 5.56mm M193 *Ball*.

Daftar Pustaka

- [1] Hazell, P. J. *Armour: materials, theory, and design*. CRC press. 2022.
- [2] Saputra, I., Ariyanto, N. P., & Febri, M. Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Pembentukan Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Skd 11 Untuk Tool Steel. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 2(1), 10-13. 2020.
- [3] Jaedun, A. Metodologi penelitian eksperimen. Fakultas Teknik UNY, 12. 2011.
- [4] Yustiasih Purwaningrum, S. T. Pengaruh Temperatur Post Weld Heat Treatment (Pwht) Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Sambungan Las Mig Baja Aisi 1000 SS. 2021.
- [5] Hu, C. J., Lee, P. Y., & Chen, J. S. Ballistic performance and microstructure of modified rolled homogeneous armor steel. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 25(1), 99-107. 2002.
- [6] Heidary, O., Mirzaee, O., Raouf, A. H., & Borhani, E. Texture development during austempering process of an AISI 4130 steel. *Materials Science and Engineering: A*, 793, 139751. 2020.
- [7] Handoyo, Y. Pengaruh quenching dan tempering pada baja jis grade S45C terhadap sifat mekanis dan struktur mikro crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 102-115. 2015.
- [8] Moradi, M., & KaramiMoghadam, M. High power diode laser surface hardening of AISI 4130; statistical modelling and optimization. *Optics & Laser Technology*, 111, 554-570. 2019.
- [9] Han, T., Kuo, C. H., Sridharan, N., Headings, L. M., Babu, S. S., & Dapino, M. J. Effect of weld power and interfacial temperature on mechanical strength and microstructure of carbon steel 4130 fabricated by ultrasonic additive manufacturing. *Manufacturing Letters*, 25, 64-69. 2020.
- [10] Mosayebi, A., Soleimani, M., Mirzadeh, H., & Dehghanian, C. Tempering kinetics and corrosion resistance of quenched and tempered AISI 4130 medium carbon steel. *Materials and Corrosion*, 72(11), 1808-1812. 2021.

- [11] Martiniano, G. A., Leal, J. E. S., Rosa, G. S., Bose Filho, W. W., Paes, M. T. P., & Franco, S. D. Effect of specific microstructures on hydrogen embrittlement susceptibility of a modified AISI 4130 steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(73), 36539-36556. 2021.
- [12] Arias, A., Zaera, R., López-Puente, J., & Navarro, C. (2003). Numerical modeling of the impact behavior of new particulate-loaded composite materials. *Composite Structures*, 61(1-2), 151–159. doi:10.1016/s0263-8223(03)00038-2
- [13] Holland, C. C., Gamble, E. A., Zok, F. W., Deshpande, V. S., & McMeeking, R. M. (2015). Effect of design on the performance of steel–alumina bilayers and trilayers subject to ballistic impact. *Mechanics of Materials*, 91, 241-251.
- [14] Fink, B. K. (2000). Performance metrics for composite integral armor. *Journal of thermoplastic composite materials*, 13(5), 417-431.
- [15] Fecko, D., Lyle, D., & Gambert, X. (2005). Composite armor solutions for STANAG 4569 ballistic protection levels. AGT.