



# PENINGKATAN SIFAT MEKANIK BAJA TAHAN AUS (*ABRASION-RESISTANT STEEL*) MELALUI PROSES PERLAKUAN PANAS UNTUK APLIKASI ALUTSISTA

Tiara Triana<sup>1\*</sup>, Bening Nurul Hidayah Kambuna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jenderal Sudirman km. 03 Cilegon, Banten, Indonesia

\*Email Penulis: [tiara\\_triana@untirta.ac.id](mailto:tiara_triana@untirta.ac.id)

## INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 09/10/2018  
Naskah Direvisi 01/10/2019  
Naskah Disetujui 30/10/2019  
Naskah Online 31/10/2019

## ABSTRAK

*Armour-steel* diproduksi melalui proses *Thermomechanical Controlling Process* (TMCP) untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan yang tinggi. Proses ini memadukan teknik pemanasan baja tahan aus pada temperatur *austenite*, proses pencanaan, dan proses pendinginan sehingga dapat mengontrol ukuran butir dan fasa akhir dari baja. Variabel proses perlakuan panas, seperti temperatur pemanasan, *holding time* (waktu tahan pemanasan), dan media *quenching* sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik yang dihasilkan. Selain metode perlakuan panasnya, komposisi baja yang digunakan juga berperan serta menentukan sifat mekaniknya. Variabel perlakuan panas yang menjadi fokus utama dari penelitian ini adalah pengaruh temperatur pemanasan dan waktu tahan (*holding time*) terhadap sifat mekanik baja yang dihasilkan, antara lain kekerasan dan ketangguhan, yang kemudian dihubungkan dengan pengamatan struktur mikro baja yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering*, kekerasan baja mengalami peningkatan dari temperatur 850 sampai 950 °C, kemudian mengalami penurunan pada temperature 1000 °C. Waktu tahan juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat kekerasan baja, semakin lama proses pemanasan berlangsung, maka semakin tinggi pula kekerasan baja yang dihasilkan. Kekerasan tertinggi diperoleh pada baja dengan temperatur pemanasan 950 °C dan waktu tahan 45 menit. Peningkatan sifat mekanik berkaitan dengan pembentukan fase martensit karena proses *tempering* dan pendinginan cepat.

**Kata kunci:** *Abrasion-resistant steel, martensit. Tempering, heat treatment, armour steel*

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu tolak ukur kemajuan suatu negara dapat dilihat dari kemajuan teknologi pertahanannya. Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, Indonesia semakin gencar menambah investasi alutsistanya. Hal ini ditandai dengan Rencana Anggaran dan Pendapatan Belanja Negara (RAPBN) Indonesia pada tahun 2018 dimana terdapat rencana pengadaan 50 unit kendaraan tempur untuk TNI angkatan darat. Kemajuan tersebut tidak bisa terlepas dari kemutakhiran industri

manufaktur baja, dalam hal ini *special steel*, atau dikenal sebagai *armour steel*.

*Armour steel* merupakan bagian dari *armour materials* yang paling berkembang dalam satu dekade ke belakang. *Armour steel* digunakan sebagai bahan baku bodi kendaraan militer, seperti panser, tank, dll. Sifat utama yang harus dimiliki oleh *armour steel* adalah memiliki sifat kekerasan yang tinggi agar dapat menghalangi proyektil untuk dapat menembus kendaraan militer atau lebih dikenal sebagai *ballistic properties*. Nilai kekerasan minimum yang harus dimiliki

baja tersebut sebesar 300 HB dan maksimum bisa mencapai 710 HB.

*Armour-steel* diproduksi melalui proses *Thermomechanical Controlling Process* (TMCP) untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan yang tinggi. Proses ini memadukan teknik pemanasan baja tahan aus pada temperatur *austenite*, proses pencanaan, dan proses pendinginan sehingga dapat mengontrol ukuran butir dan fasa akhir dari baja. Variabel proses perlakuan panas, seperti temperatur pemanasan, *holding time* (waktu tahan pemanasan), dan media *quenching* sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik yang dihasilkan (Mubarok, 2018). Selain metode perlakuan panasnya, komposisi baja yang digunakan juga berperan serta menentukan sifat mekaniknya.

Baja tahan aus (*abrasion-resistant steel*) yang digunakan pada penelitian ini memiliki kekerasan sebesar 229 HB. Sifat tersebut belum dapat memenuhi tingkat kekerasan minimum baja yang dapat dikategorikan sebagai *armour steel*. Sehingga, diperlukan proses *heat-treatment* untuk meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama sifat kekerasan. Proses *heat-treatment* dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga temperatur *austenite*-nya, kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat (*quenching*). Fasa *austenite* yang terbentuk selama proses pemanasan akan berubah menjadi fasa *martensite* pada saat proses pendinginan cepat. Dengan terbentuknya fasa *martensite* tersebut akan meningkatkan sifat mekanik baja, antara lain sifat kekerasan dan kekuatannya. Hal ini yang melatarbelakangi pentingnya untuk melakukan penelitian pengaruh variabel *heat-treatment* terhadap sifat mekanik baja tahan aus, sehingga dapat memenuhi persyaratan untuk baja yang diaplikasikan pada kendaraan alutsista. Variabel perlakuan panas yang menjadi fokus utama dari penelitian ini adalah pengaruh temperatur pemanasan dan waktu tahan (*holding time*) terhadap sifat mekanik baja yang dihasilkan, antara lain kekerasan dan ketangguhan, yang kemudian dihubungkan dengan pengamatan struktur mikro baja yang dihasilkan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan preparasi awal sampel untuk mendapatkan ukuran sampel baja dengan ukuran 100 x 20 x 10 mm dengan menggunakan cutting machine. Komposisi baja dapat dilihat pada Tabel 2.1. Kemudian dilanjutkan dengan proses re-heating pada temperatur 850, 900, 950, dan 1000 °C dengan waktu tahan 15, 30, 45, dan 60 menit untuk masing-masing temperatur. Sebelum proses reheating dilakukan, terlebih dahulu dilakukan penentuan temperatur Ac3. Penentuan temperatur Ac3 dilakukan dengan menggunakan permodelan Kasatkin. Hal ini dikarenakan komposisi kimia pada permodelan yang dikemukakan oleh Kasatkin mendekati komposisi kimia sampel.

**Tabel 1.** Komposisi kimia baja tahan aus

Elemen	Nilai (%)
C	0.29
Si	0.329
Mn	1.412
P	0.014
S	0.008
Cr	0.55
V	0.014

Sumber: analisa laboratorium

Penentuan temperatur minimal proses reheating mengikuti persamaan berikut:

$$T = Ac3 + 550C \dots \dots \dots (1)$$

Proses reheating dilakukan pada temperatur 850, 900, 950 dan 1000 °C dengan waktu selama 15, 30, 45 dan 60 menit. Temperatur pemanasan ini dilakukan berdasarkan dari perhitungan Ac3. Waktu pemanasan atau waktu tahan ditentukan berdasarkan formulasi berikut (Zakhrov, 1962) :

$$t \text{ (menit)} = 1.4 \times H \text{ (mm)} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

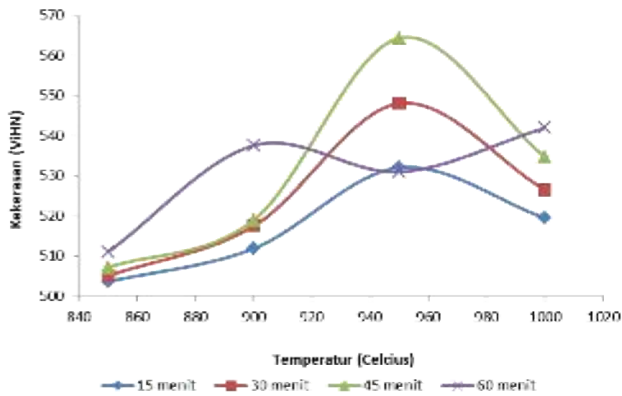
T = Waktu Tahan (Menit)

H = Ketebalan Benda Uji (mm)

Sampel kemudian diuji kekerasan, ketangguhan, dan metalografi untuk mengetahui pengaruh proses pemanasan dan pendinginan cepat terhadap sifat mekanik baja yang dihasilkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap baja tahan aus telah dilakukan dengan proses perlakuan panas dan pendinginan cepat telah dilakukan pada beberapa variasi temperatur, yaitu, 850, 900, 950, dan 1000 °C. Berdasarkan kurva pada Gambar 1 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan, maka kekerasan cenderung mengalami peningkatan, dari sampel awal yang belum mengalami proses pemanasan memiliki kekerasan sebesar 235 VHN, menjadi 503 VHN pada pemanasan dengan temperatur sebesar 850 °C dan waktu tahan selama 15 menit. Kekerasan meningkat pada temperatur pemanasan 900 dan 950 °C menjadi 511 dan 532 VHN, kemudian mengalami penurunan pada temperatur 1000 °C menjadi 519.4 VHN. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada waktu tahan 30, 45, dan 60 menit. Dengan kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel dengan perlakuan panas pada temperatur 950 °C dan waktu tahan selama 45 menit.

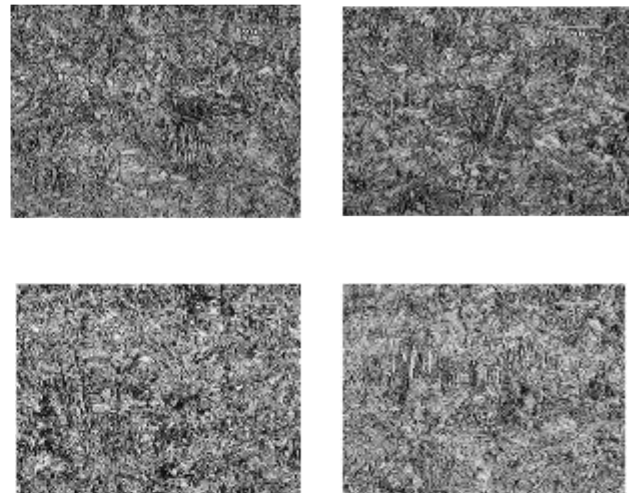


Gambar 1. Kurva nilai kekerasan terhadap temperature

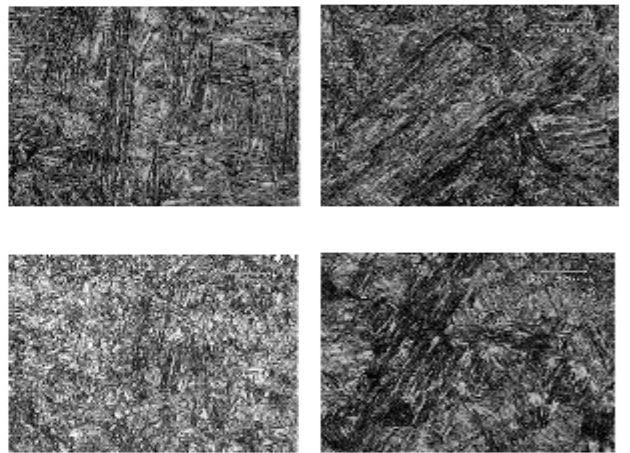
Tinggi atau rendahnya nilai sifat mekanik suatu baja tidak luput dari pengaruh proses pemanasan. Hal ini dikarenakan pada proses pemanasan temperatur memiliki peranan penting dalam pengaruhnya terhadap sifat mekanik. Menurut Al-Qawabah, pada baja perkakas yang dipanaskan pada temperatur 980 °C, 1010 °C, 1040 °C, dan 1070 °C menunjukkan bahwa temperatur dapat mempengaruhi nilai kuat tarik dan elongasi yang diperoleh. Dengan semakin meningkatnya temperatur kuat tarik yang dihasilkan akan semakin menurun, sementara elongasi yang dihasilkan mengalami peningkatan.

Peningkatan kekerasan dan ketahanan abrasi akibat proses pendinginan cepat juga berhubungan dengan modifikasi struktur baja. Karbida kompleks  $M_6C$  dan  $M_{23}C_6$  larut pada *quenching temperature*. Jumlah karbon menyebabkan penambahan kekuatan dan kekerasan fasa martensit. Semakin tinggi suhu pemanasan menyebabkan pertumbuhan volume retained austenite (mencapai 20-25%).

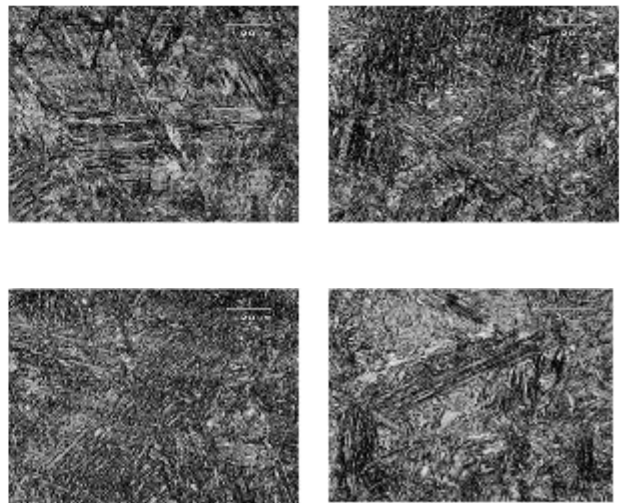
Baja tahan aus erat kaitannya dengan pembentukan fasa martensitik, yang merupakan fasa yang terbentuk pada baja dengan sifat kekerasan tertinggi dibandingkan fasa lainnya, seperti ferrite, pearlite, dll. Kemampuan suatu baja untuk membentuk fasa martensit disebut *hardenability*. *Hardenability* merupakan salah satu aspek yang sangat diperhitungkan dalam proses produksi *armour steel*. Sifat ini berhubungan dengan ketebalan dari plat baja. Baja dengan ketebalan berbeda memerlukan elemen padu dengan jumlah yang berbeda untuk menghasilkan sifat *hardenability* yang sama (Crouch, 2017). Sifat *hardenability* yang tinggi akan menghasilkan baja dengan ketahanan penetrasi proyektil yang semakin dalam atau disebut sebagai sifat *ballistic*. Berdasarkan uji struktur mikro terlihat bahwa baja tahan aus yang telah mengalami proses *tempering* dan *quenching* memiliki fasa martensit seperti yang terlihat pada Gambar 2-5.



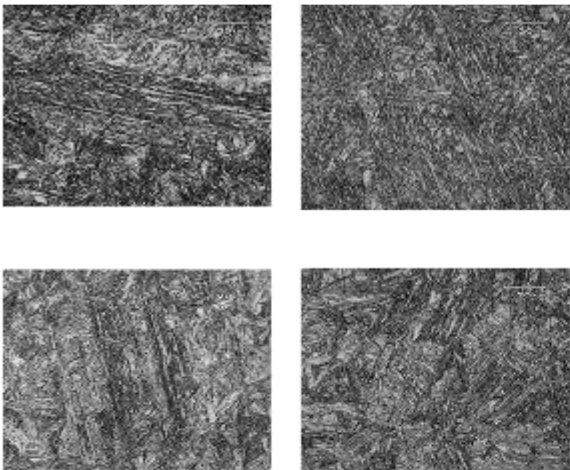
Gambar 2. Temperatur 850 °C waktu tahan a) 15, b) 30, c) 45, d) 60 menit



Gambar 3. Temperatur 900 °C waktu tahan a) 15, b) 30, c) 45, d) 60 menit

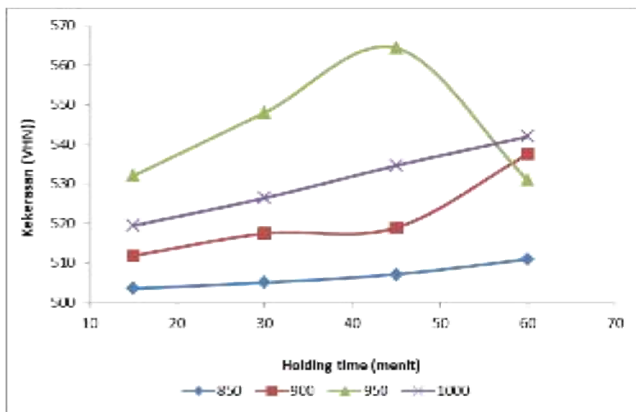


Gambar 4. Temperatur 950 °C waktu tahan a) 15, b) 30, c) 45, d) 60 menit



**Gambar 5.** Temperatur 1000 °C waktu tahan  
a) 15, b) 30, c) 45, d) 60 menit

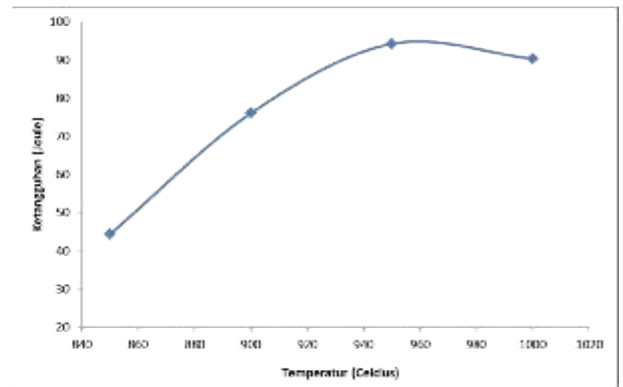
Sedangkan waktu tahan juga memperlihatkan pengaruh yang cukup besar pada sifat mekanik baja tahan aus yang dihasilkan, terlihat pada Gambar 6 berikut:



**Gambar 6.** Kurva nilai kekerasan terhadap waktu tahan

Terjadi sedikit peningkatan pada penambahan waktu pemanasan, seperti pada pemanasan temperatur 1000 °C memiliki kekerasan sebesar 519 VHN, kemudian meningkat menjadi 526, 534, dan 541 VHN pada waktu tahan masing-masing selama 30, 45, dan 60 menit. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada temperatur pemanasan 850, 900, dan 950 °C. Waktu tahan juga memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik akhir yang dihasilkan. Hal ini telah dibuktikan oleh Raji dan Oluwole dalam penelitiannya. Pada temperatur 900 °C dengan menggunakan variasi waktu tahan 10 sampai 60 menit, penurunan sifat mekanis mulai terjadi pada waktu tahan 30 menit hingga akhirnya mencapai waktu tahan 60 menit. Hal ini jelas membuktikan bahwa waktu tahan mempengaruhi sifat mekanik baja (Raji and Oluwole, 2012).

Selain uji kekerasan, uji impak juga dilakukan untuk mengetahui nilai ketangguhan baja dengan kenaikan temperatur pemanasan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7 berikut:



**Gambar 7.** Kurva nilai ketangguhan terhadap temperatur

Fenomena peningkatan nilai ketangguhan terhadap meningkatnya temperatur terjadi karena adanya difusi karbon ke dalam matriks ferit membentuk fasa sementit dengan tipikal sifat kekuatan lebih lunak (tempered martensite). Pembentukan tempered martensite ini menyebabkan kandungan fasa martensit di dalam baja yang sebelumnya menjadi fasa yang memperkuat logam akan terus berkurang dan kemudian mengalami transformasi seluruhnya menjadi sementit bulat yang berukuran lebih kasar dan ulet, serta memiliki ketangguhan tinggi. Semakin tinggi kandungan karbon dan elemen padamu, maka semakin mudah bagi baja membentuk fasa martensit.

#### 4. KESIMPULAN

Semakin tinggi temperatur tempering, kekerasan baja mengalami peningkatan dari temperature 850 sampai 950 °C, kemudian mengalami penurunan pada temperature 1000 °C. Waktu tahan juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat kekerasan baja, semakin lama proses pemanasan berlangsung, maka semakin tinggi pula kekerasan baja yang dihasilkan. Kekerasan tertinggi diperoleh pada baja dengan temperatur pemanasan 950 °C dan waktu tahan 45 menit. Peningkatan sifat mekanik berkaitan dengan pembentukan fase martensit karena proses *tempering* dan pendinginan cepat.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Cimpoeru, S.J., Alkemade, S., 2002. Guidelines for effective armour material specifications for defence applications. In: Paper Presented at the Technological and Research Developments in Welded Defence Equipment. WTIA.
- Gooch, W.A., Showalter, D.D., Burkins, M.S., Thorn, V., Cimpoeru, S.J., Barnett, R., 2007. Ballistic testing of Australian Bialloy steel for armor applications. In: Paper Presented at the 23rd International Symposium on Ballistics, Tarragona, Spain.
- Mubarok, N., Notonegoro, H.A., Thosin, K.A.Z., 2018. Comparative Mechanical Improvement of Stainless Steel 304 Through Three Methods. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Vol. 367, No. 012023, pp. 1-6.
- Schulze, V., Vöhringer, O., 2000. Influences of alloying elements on the strain rate and temperature dependence of the flow stress of steels. Metallurgical and Materials Transactions, Physical Metallurgy and Materials Science Vol. 31, pp. 825-830.
- Showalter, D.D., Gooch, W.A., Burkins, M.S., Koch, R.S., 2008. Ballistic testing of SSAB ultra-high hardness steel for armor applications.

- In: Paper Presented at the 24th International Symposium on Ballistics, New Orleans, LA.
- Zhen-li, M., et al., 2009. Effects of annealing temperature on the microstructure and properties of the 25Mn-3Si-3Al-TWIP steel. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials* Vol. 16, No.2, pp.154.
- Suchanek J, Kuklik V., 2009. Influence of heat and thermochemical treatment on abrasion resistance of structural and tool steels, *WEAR*.
- Crouch I.G, 2016. *Armour Steels*.
- Barbacki A., Mikolajski, E., 1998. Optimization of heat treatment conditions for maximum toughness of high strength silicon steel. *J Mater Process Tech.* Vol. 78, pp.18-23.
- Lee, W. S., & Su, T. T., 1999. Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions. *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 87, pp.198-206.
- Demir, T., Übeyli, M., Yıldırım, R. O., 2008. Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys against 7.62 mm armor piercing projectile. *Materials and Design* Vol. 29, pp. 2009-2016.
- Dikshit, S. N., Kutumbrao, V. V., & Sundararajan, G., 1995. The influence of plate hardness on the ballistic penetration of thick steel plates. *International Journal of Impact Engineering* Vol. 2, pp. 293-320.