



Pengaruh Pendinginan Cepat Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Proyektil Amunisi MU-5 TJ dengan Media Pendingin Berbeda

(Effect of Quenching on Hardness and Micro Structure of MU-5 TJ Ammunition Projectiles with Different Cooling Media)

Ricardo Fransisco Gultom¹, Sya'ban Tri Hernawan²

^{1,2} Prodi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara

E-mail: rcrdgltm26@gmail.com, syabantri@gmail.com

Abstract — Heat treatment is a change in the properties and microstructure of metals through controlled heating and cooling rates without changing the chemical composition of the metal. Heat treatment can increase the hardness of metals in everyday life and make them harder. The results of oven heating must be adjusted to the type of metal and the process. Helps prevent metal cracking and increases hardness. This study will discuss the effect of coolant on MU-5 TJ ammunition during heat treatment. All specimens were heat treated at a temperature of 300 °C with a holding time of 5 minutes and immediately immersed in a cooling medium in the form of SAE 140 oil, coconut water, and propylene glycol liquid. The tests carried out were Rockwell hardness tests and microstructure tests. Based on the test results obtained, the hardness of each sample was different. The hardness value of the projectile without treatment was 77.27 HR, the hardness of the projectile with SAE 140 oil coolant was 79.73 HR, the hardness of the projectile with propylene glycol liquid coolant was 80.78 HR, with coconut water coolant The hardness of the projectile was 81.40 HR. The hardness test results on samples that were not heat treated were lower than those of ammunition that were heat treated. Among the heat treated specimens, the specimen with the highest hardness value was the sample that used coconut water as a cooling media.

Keywords — Heat Treatment, MU-5 TJ, projectile, Micro Structure, Rockwell Hardness.

Abstrak — Perlakuan panas merupakan perubahan sifat dan struktur mikro logam melalui laju pemanasan dan pendinginan yang terkontrol tanpa mengubah komposisi kimia logam. Perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan logam dalam kehidupan sehari-hari dan menjadikannya lebih keras. Hasil pemanasan oven harus disesuaikan dengan jenis logam dan prosesnya. Membantu mencegah logam retak dan meningkatkan kekerasan. Penelitian ini akan membahas pengaruh cairan pendingin pada amunisi MU-5 TJ selama perlakuan panas. Seluruh spesimen diberi perlakuan panas pada suhu 300 °C dengan waktu penahanan 5 menit dan segera direndam dalam media pendingin berupa minyak SAE 140, air kelapa, dan cairan propilen glikol. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan Rockwell dan uji struktur mikro. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, kekerasan tiap sampel berbeda-beda. Nilai kekerasan proyektil tanpa perlakuan sebesar 77,27 HR, kekerasan proyektil dengan pendingin oli SAE 140 sebesar 79,73 HR, kekerasan proyektil dengan pendingin cair propilen glikol sebesar 80,78 HR, dengan pendingin air kelapa Kekerasan proyektil sebesar 81,40 HR. Hasil uji kekerasan pada sampel yang tidak mengalami perlakuan panas lebih rendah dibandingkan dengan amunisi yang diberi perlakuan panas. Di antara spesimen yang diberi perlakuan panas, spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi adalah sampel yang menggunakan air kelapa sebagai media pendingin.

Kata Kunci — Perlakuan panas, MU-5 TJ, Proyektil, Struktur mikro, Kekerasan Rockwell.

* Ricardo Fransisco Gultom
E-mail: rcrdgltm26@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Menurut Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002, TNI AU merupakan salah satu sistem pertahanan yang wajib dimiliki oleh Indonesia untuk menjaga keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia khususnya di wilayah udara, dimana alat utama sistem persenjataan merupakan salah satu unsur penyusunnya. kekuatan militer negara tersebut. Alat utama sistem persenjataan atau biasa disingkat alutsista adalah alat utama beserta alat pendukungnya, yaitu sistem persenjataan yang mampu menyelesaikan tugas pokok TNI. Seiring berjalannya waktu, ilmu pengetahuan dan teknologi pun ikut berkembang, khususnya di bidang pertahanan. Untuk menunjang segala operasi yang dilakukan dalam rangka menjaga wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, TNI AU tidak hanya dibekali senjata, namun juga amunisi.

Amunisi adalah suatu wadah berisi bahan peledak/bahan kimia/bahan biologi/zat radioaktif yang dikemas dalam wadah tertentu dengan bentuk, sifat, proyektil tertentu serta komposisi dalam jumlah dan jenis tertentu agar dapat disimpan, diangkut, dan dimusnahkan. dengan aman. , menjatuhkan, menembak, meledakkan, mengendalikan, atau menghancurkan atau membahayakan sasaran. Selama ini amunisi TNI AU selalu dialokasikan oleh PT. Pindad Persero. Produk yang biasa digunakan TNI AU adalah MU-5TJ kaliber 5,56mm x 45mm. Peluru MU-5TJ merupakan peluru yang diproduksi oleh PT. Pindad Persero digunakan semua senjata kaliber 5.56mm x 45mm, SS1, FNC, MINIMI dan sebagian besar senjata sejenis dengan total twist 7. MU-5 merupakan senjata yang bahan utamanya adalah kuningan 72 (CuZn 28), timah dan baja.

Kualitas MU-5TJ juga dipengaruhi oleh struktur mikro yang ada pada logam yang digunakan. Selain itu, perlakuan logam yang membentuk MU-5TJ dapat mempengaruhi kualitas logam MU-5TJ, seperti perlakuan panas. Perlakuan panas juga dilakukan yang dapat melunakkan atau mengeraskan kualitas material logam tergantung dari perlakuan yang dilakukan. Jika perlakuan panas diikuti dengan pendinginan yang sangat cepat maka akan meningkatkan kualitas kekerasan logam pada MU-5TJ. Begitu pula jika perlakuan panas diikuti dengan pendinginan yang sangat lama maka kekerasan logam MU-5TJ akan berkurang. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas kekerasan material peluru MU-5TJ. Hasilnya, dapat menembus target di luar jangkauan efektif proyektil ketika senjata menembakkan proyektil tersebut. Selain itu, penelitian ini juga memberikan referensi yang berguna bagi perusahaan manufaktur amunisi di Indonesia untuk meningkatkan kualitas produknya.

II. LANDASAN TEORI

Amunisi adalah suatu benda yang berisi bahan peledak/bahan kimia/bahan biologi/bahan radioaktif, yang dikemas dalam wadah tertentu dengan bentuk, sifat dan balistik serta komposisi jumlah dan jenis tertentu, agar aman untuk disimpan, diangkut dilemparkan, dijatuhkan, ditembakkan, diledakkan, dikendalikan atau dengan cara lain, dengan tujuan untuk menghancurkan atau merusak sasaran [1]. Adapun bagian – bagian amunisi yang dapat diberikan *heat treatment* (perlakuan panas) salah satunya adalah bagian proyektil yang terbuat dari timbal dan baja yang memiliki sifat kekerasan tertentu. Sifat kekerasan material proyektil amunisi dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*). Spesimen mengalami pemanasan pada suhu titik kritis dari spesimen tersebut. Dilanjutkan pendinginan secara cepat (*quenching*) dengan variasi media pendinginan.

A. Amunisi

Amunisi adalah suatu benda yang berisi bahan peledak/bahan kima/bahan biologi/bahan radio aktif, yang dikemas dalam wadah tertentu dengan bentuk, sifat dan balistik serta komposisi jumlah dan jenis tertentu, agar aman untuk disimpan, diangkut, dilemparkan, dijatuhkan, ditembakkan, diledakkan, dikendalikan atau dengan cara lain dengan tujuan untuk menghancurkan atau merusak sasaran. Pada dasarnya Berdasarkan penggolongannya amunisi dibagi menjadi 3 yaitu amunisi kaliber besar, amunisi kaliber kecil dan amunisi khusus. Hal ini dibedakan berdasarkan jenis bahan peledaknya. Pada amunisi kaliber kecil hanya menggunakan bahan peledak berjenis low explosive yang berguna sebagai bahan pendorong atau propelan terhadap proyektil peluru. Sedangkan pada amunisi kaliber besar diberikan bahan peledak jenis low explosive yang berguna untuk menginisiasi propellant terhadap proyektil high explosive bertujuan untuk memberikan efek kerusakan terhadap target atau sasaran yang diinginkan. Setiap munisi dapat dibedakan oleh ukuran kaliber senjata yang digunakan. Kaliber adalah jarak antara dua galangan pada laras senjata yang saling berhadapan [2].

B. Heat Treatment

Heat Treatment atau perlakuan panas adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan [3]. Secara proses perlakuan panas adalah sebagai berikut :

1. Pemanasan material sampai suhu tertentu dengan kecepatan tertentu.
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu sehingga temperaturnya merata.
3. Pendinginan dengan media pendingin.

Ketiga hal diatas tergantung dari material yang akan diberikan perlakuan panas dan sifat- sifat akhir yang diinginkan. Kasus tiap proses berbeda-beda, tetapi pasti tujuan mendasar dapat dinyatakan. Laju pemanasan tidak terlalu penting kecuali baja berada dalam kondisi tegangan tinggi, seperti yang disebabkan oleh pengerjaan dingin yang parah atau pengerasan sebelumnya. Dalam keadaan seperti ini, laju pemanasan harus lambat. Melalui perlakuan panas yang tepat tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu material yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia logam harus diketahui karena perubahan komposisi kimia terkhususnya kandungan carbon (C) dapat mengakibatkan perubahan sifat fisis material.

Proses perlakuan panas ada dua kategori, yaitu :

1. *Softening* (pelunakan) adalah usaha untuk menurunkan sifat mekanik agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan didalam tungku (*annealing*) atau mendinginkan dalam udara terbuka (*normalizing*).
2. *Hardening* (pengerasan) adalah usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara celup cepat (*quenching*) material yang sudah dipanaskan ke dalam suatu media pendinginan berupa air, air garam, maupun oli.

C. Holding Time

Holding time adalah suatu variabel yang berpengaruh saat melakukan proses perlakuan panas yang bekerja dengan cara mempertahankan suhu pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata pada seluruh logam dan mengalami perubahan struktur yang merata pada logam. *Holding time* bertujuan untuk mendapatkan nilai atau tingkat kekerasan yang tinggi dari logam. *Holding time* sangat berpengaruh pada fasa transformasi karena waktu penahan atau *holding time* yang diberikan tidak tepat maka proses perubahan fasa tidak dapat berjalan dengan sempurna. *Holding time* yang diberikan cepat akan menghasilkan tingkat kekerasan yang rendah sedangkan jika *holding time* yang diberikan terlalu lama juga tidak tepat karena akan menimbulkan penurunan tingkat kekerasan logam. Untuk *holding time* dipengaruhi juga oleh ketebalan logam.

D. Media Pendingin

Media pendingin merupakan bahan atau media yang digunakan untuk menurunkan suhu logam yang dipanaskan selama proses *heat treatment* berlangsung. Media pendinginan menjadi salah satu komponen yang penting pada perubahan sifat atau struktur dari logam. Semakin cepat logam didinginkan maka tingkat kekerasan logam tersebut akan meningkat. Semakin lama logam tersebut didinginkan maka tingkat kekerasan logam tersebut makin menurun atau lunak. Banyak terdapat media pendingin seperti air, air kelapa, solar, oli, garam dan masih banyak lagi bahan yang dapat dijadikan media pendingin. Adapun media pendingin yang akan digunakan adalah air kelapa, oli SAE 140 dan cairan *Propylene Glycol*.

- 1) Air kelapa sebagai media pendingin dalam perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan yang lebih keras jika dibandingkan dengan air karena bersifat dingin dan cepat menyerap panas [4].
- 2) Solar. Viskositas pada solar memiliki pengaruh dalam proses pendinginan specimen. Penggunaan solar akan memberikan efek timbulnya karbon pada specimen disesuaikan dengan nilai viskositas solar [5].
- 3) Garam akan mengikat zat arang dari perlakuan panas pada specimen sehingga suhu pada bagian specimen merata dan tidak terjadinya karburasi [6].
- 4) Oli memiliki nilai kekentalan dan memberikan lapisan karbon pada lapisan permukaan logam [7].

E. Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell merupakan uji kekerasan suatu material yang paling umum digunakan. Hal ini dikarenakan uji kekerasan Rockwell memiliki sifat sederhana, cepat tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak perubahan, mampu memberikan perbedaan kekerasan yang kecil pakai logam yang diperkeras sehingga kekerasannya diuji tanpa menimbulkan kerusakan. Pada proses uji Rockwell membutuhkan suatu beban sebagai penekan gaya pada permukaan logam yang akan diuji. Adapun indenter yang digunakan terdapat 2 indenter yaitu beban minor dan beban mayor. Penekanan indenter pertama dilakukan oleh beban pendahuluan atau beban minor. Dilanjutkan dengan beban utama atau beban mayor. Kemudian beban mayor dilepas namun beban minor dipertahankan selama waktu tertentu.

F. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah suatu bentuk susunan struktur yang terbentuk pada material logam dengan ukuran yang sangat kecil dan tidak beraturan dan bentuknya tergantung pada unsur dan

proses yang dialami saat pembentukannya. Struktur mikro dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop optic. Struktur mikro dari logam antara lain :

1. *Ferrite*. *Ferrite* merupakan struktur logam yang mengandung sedikit bahkan tidak ada karbon dalam logam.
2. *Austenite*. *Austenite* adalah struktur besi murni dengan struktur FCC yang memiliki jarak atom yang lebih besar dibandingkan dengan ferit
3. *Perlite*. *Perlite* adalah campuran antara *ferrite* dan *sementite* yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara *sementite* dan *ferrite*.
4. *Sementite*. *Sementite* adalah paduan besi karbon yang kondisi karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa besi memiliki komponen Fe₃C.
5. *Martensite*. *Martensite* adalah fasa yang terjadi pada logam karena perlakuan pendinginan yang sangat cepat. Fase *Martensite* memiliki sifat yang kuat dan keras akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh [8].

III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

A. Umum

Analisa kekerasan proyektil MU-5 TJ memerlukan langkah-langkah persiapan yang sistematis serta perencanaan yang baik. Pada bab ini memuat pembahasan mengenai metodologi penelitian yang meliputi jenis penelitian, variable penelitian, bahan dan alat uji, diagram alir, rancangan percobaan serta waktu dan tempat penelitian.

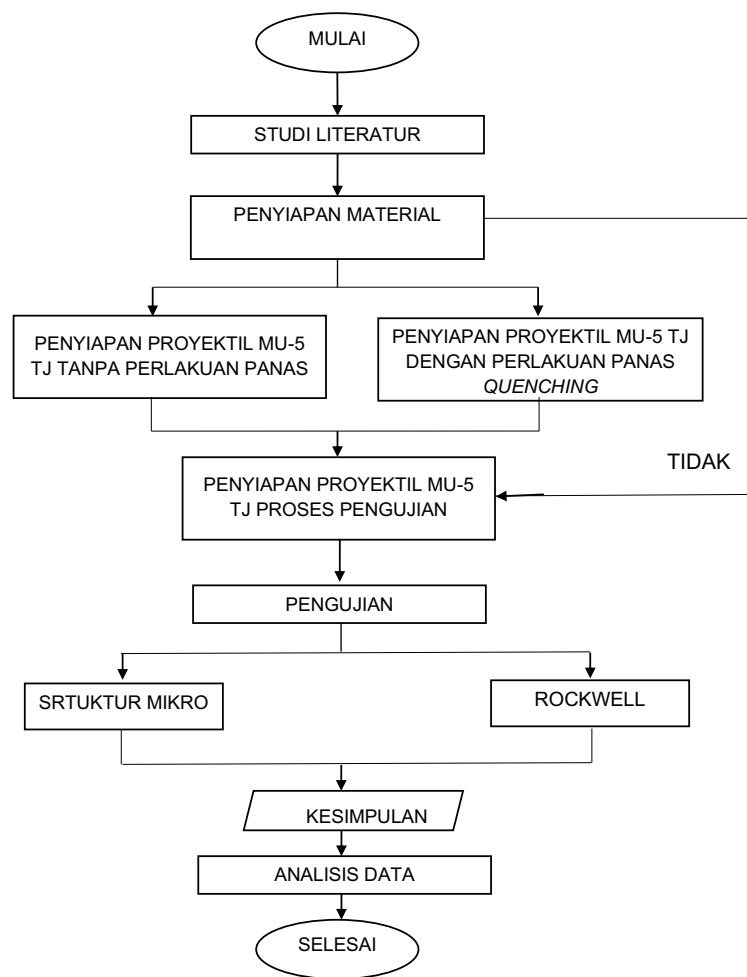
B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian diukur dengan variable bebas dan variable terikat sebagai berikut :

1. Variable Bebas. Variabel bebas pada penelitian ini adalah antara lain :
 - a) Kekerasan proyektil MU-5 TJ.
 - b) Media pendingin yang digunakan adalah air kelapa, oli SAE 140 dan cairan propylene glikol.
2. Variabel Terikat. Variabel terikat pada penelitian ini adalah antara lain :
 - a) Uji kekerasan Rockwell.
 - b) Pengamatan struktur mikro.
3. Variabel Tetap. Variabel tetap pada penelitian ini adalah antara lain :
 - a) Pengamatan yang dilakukan pada ruangan.
 - b) Temperatur pemanasan adalah 300°C.

C. Diagram alir

Diagram alir menggambarkan tahapan – tahapan yang akan dilakukan pada saat percobaan yang dijelaskan pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram alir

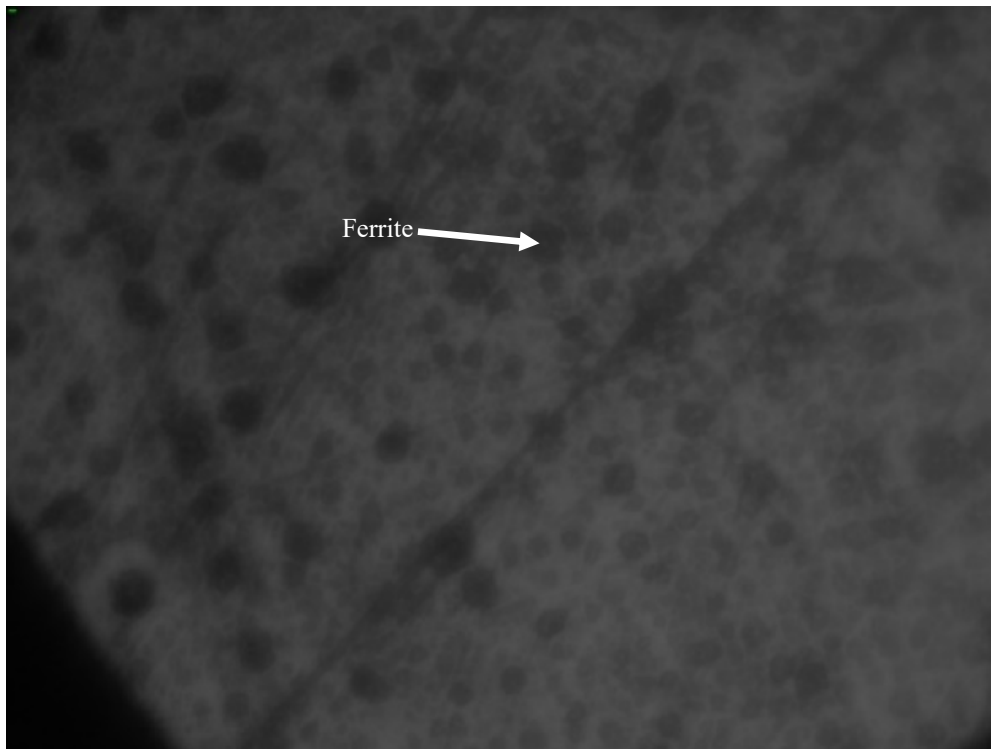
IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian keempat merupakan bagian analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada spesimen. Spesimen terlebih dahulu dilakukan perlakuan panas quenching pada suhu 300°C dengan waktu tahan (holding time) sekitar 5 menit. Kemudian spesimen dilakukan pendinginan dengan media pendingin yang berbeda yaitu oli SAE 140, air kelapa dan cairan propylene glykol. Data-data yang diperoleh berupa hasil pengujian uji kekerasan spesimen dengan metode Rockwell dan struktur mikro.

A. Struktur Mikro melalui SEM dan EDS

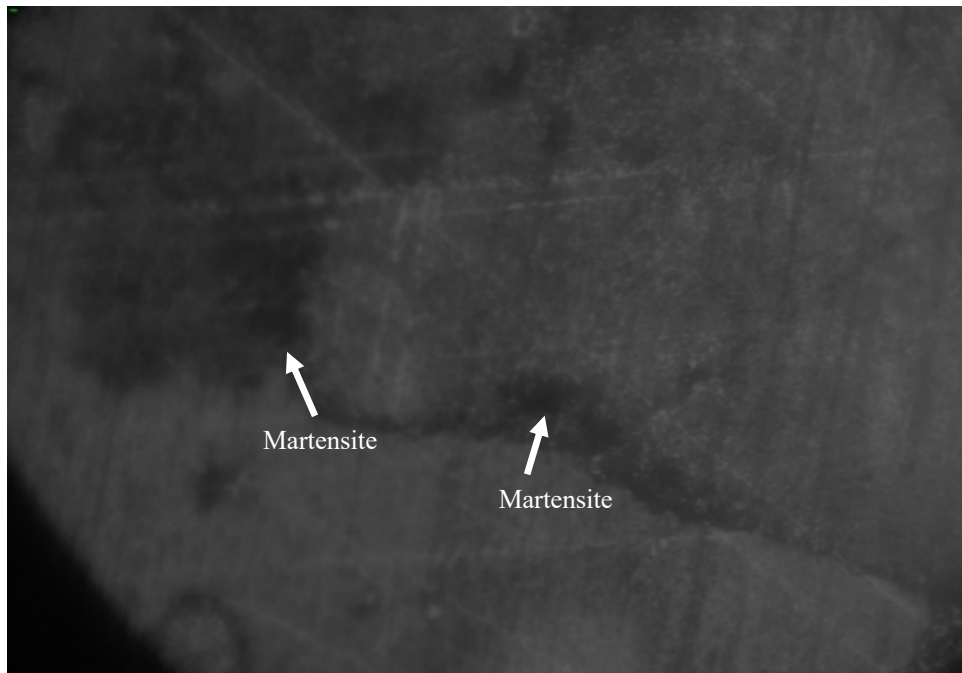
Data Pengujian Struktur Mikro. Berikut ini merupakan hasil perolehan dari pengamatan struktur mikro spesimen proyektil amunisi MU-5 TJ.

1. Struktur mikro proyektil amunisi MU-5 TJ tidak mengalami heat treatment. Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen yaitu fasa ferrite yang ditunjukkan pada struktur yang lebih halus dan warna spesimen yang putih pada proyektil yang tidak mengalami pengerasan.



Gambar 2. Struktur mikro proyektil amunisi MU-5 TJ tidak mengalami Heat Treatment

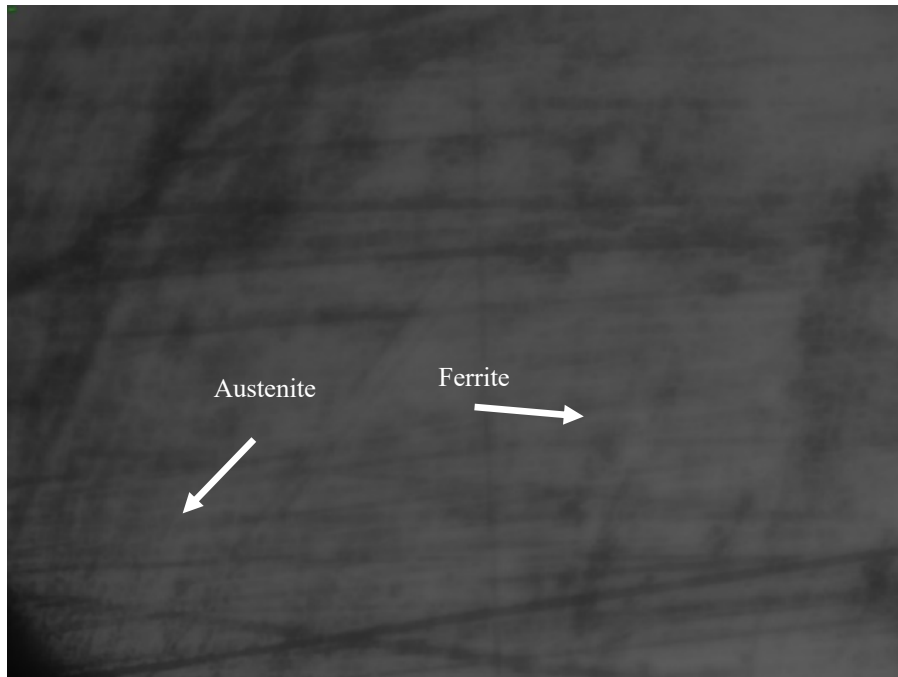
2. Struktur mikro proyektil amunisi yang mengalami heat treatment dengan air kelapa sebagai media pendingin. Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen yaitu fasa martensite yang ditandai dengan struktur mikro bagian berwarna hitam. Hal ini menunjukkan adanya pengerasan pada unsur logam menjadi struktur yang lebih keras dibandingkan tanpa perlakuan.



Gambar 3. Struktur mikro Proyektil amunisi yang Mengalami Heat Treatment dengan Air Kelapa sebagai Media Pendingin

3. Struktur mikro proyektil amunisi yang mengalami heat treatment dengan oli SAE 140 sebagai media pendingin.

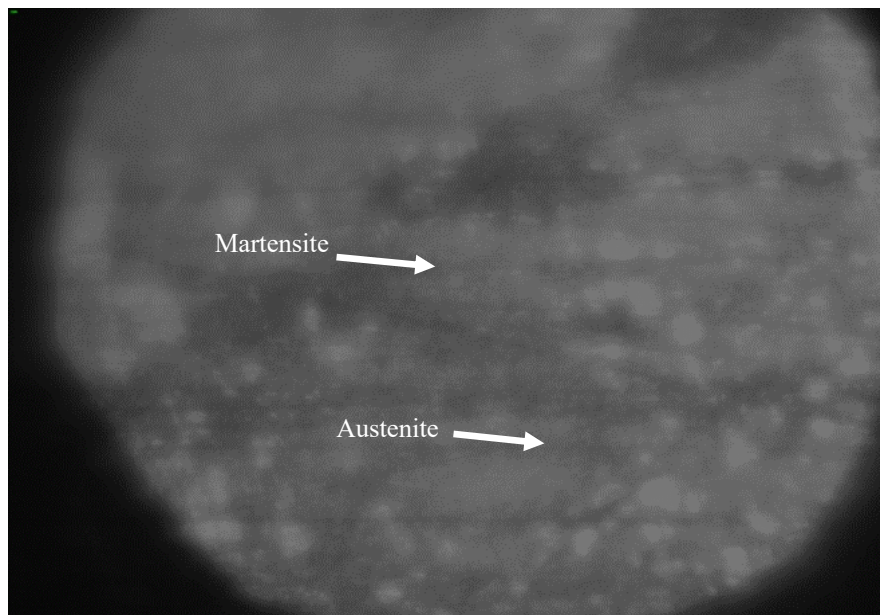
Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen yaitu fasa austenite dan ferrite. Fasa austenite ditandai dengan perubahan struktur mikro logam yang cenderung berbentuk seperti garis-garis hitam halus yang banyak. Hal ini menunjukkan terjadinya pengerasan namun tidak sekeras fasa martensite. Sedangkan fasa ferrite yang ditandai dengan struktur spesimen yang terang tanpa adanya pengerasan.



Gambar 4. Struktur mikro Proyektil Amunisi yang Mengalami Heat Treatment dengan Oli SAE 140 sebagai Media Pendingin

4. Struktur mikro proyektil amunisi yang mengalami heat treatment dengan propylene glycol sebagai media pendingin.

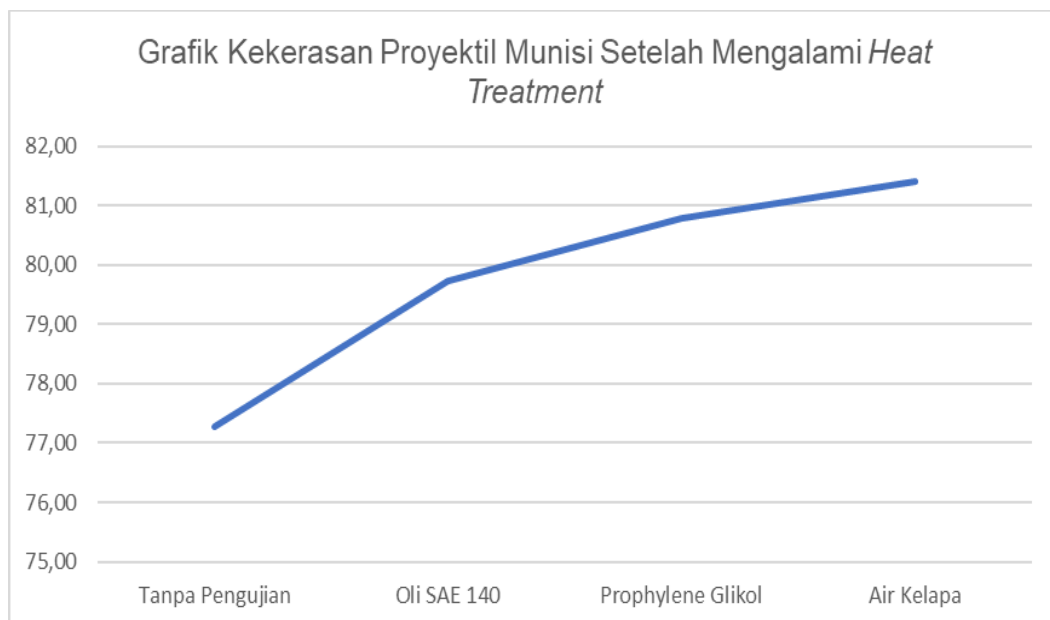
Struktur mikro yang terbentuk pada spesimen yaitu fasa *martensite* dan *austenite*. Fasa martensite pada spesimen ditandai dengan adanya struktur logam yang berwarna hitam. Hal ini menunjukkan terjadinya pengerasan pada spesimen. Sedangkan fasa austenite ditandai dengan struktur yang cenderung lebih kasar seperti garis-garis hitam halus yang banyak. Hal ini menunjukkan terjadinya pengerasan pada spesimen namun tidak sekeras fasa martensite.



Gambar 5. Struktur Mikro Proyektil Amunisi yang Mengalami Heat Treatment dengan Propylene Glikol sebagai Media Pendingin

B. Hasil Kekerasan Rockwell

Dari data yang diperoleh dapat disajikan dalam bentuk grafik berikut ini :



Gambar 6. Grafik Kekerasan Proyektil Amunisi Setelah Mengalami Heat Treatment

Berdasarkan tabel diatas diperoleh nilai kekerasan pada amunisi yang tidak mengalami perlakuan panas. Penekanan dilakukan pada 3 titik dengan jarak kurang lebih 5 mm. Nilai rata-rata kekerasan Rockwell pada tiga titik amunisi tanpa perlakuan panas yang mendapatkan penekanan. Pada spesimen pertama memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 76,47 HR. Pada spesimen kedua memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 76,80 HR. Pada spesimen

ketiga memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 78,87 HR. Dari ketiga spesimen tersebut diperoleh rata-rata nilai kekerasan Rockwell sebesar 77,38 HR.

Berdasarkan tabel diatas diperoleh nilai kekerasan pada amunisi yang mengalami perlakuan panas dengan air kelapa sebagai media pendingin. Nilai rata-rata kekerasan Rockwell pada ketiga titik amunisi yang mengalami perlakuan panas dengan air kelapa sebagai media pendingin yang mendapatkan penekanan. Pada spesimen pertama memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 82,13 HR. Pada spesimen kedua memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 82,00 HR. Pada spesimen ketiga memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 80,07 HR. Dari ketiga spesimen tersebut diperoleh rata-rata nilai kekerasan Rockwell sebesar 81,40.

Berdasarkan tabel diatas diperoleh nilai kekerasan pada amunisi yang mengalami perlakuan panas dengan oli SAE 140 sebagai media pendingin. Nilai rata-rata kekerasan Rockwell pada ketiga titik amunisi yang mengalami perlakuan panas dengan oli SAE 140 sebagai media pendingin yang mendapatkan penekanan. Pada spesimen pertama memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 80,80 HR. Pada spesimen kedua memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 76,87 HR. Pada spesimen ketiga memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 81,53 HR. Dari ketiga spesimen tersebut diperoleh rata-rata nilai kekerasan Rockwell sebesar 79,73.

Berdasarkan tabel diatas diperoleh nilai kekerasan pada amunisi yang mengalami perlakuan panas dengan propylene glykol. Nilai rata-rata kekerasan Rockwell pada ketiga titik amunisi yang mengalami perlakuan panas dengan cairan propylene glykol yang mendapatkan penekanan. Pada spesimen pertama memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 80,87 HR. Pada spesimen kedua memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 79,67 HR. Pada spesimen ketiga memperoleh nilai kekerasan Rockwell sebesar 81,80 HR. Dari ketiga spesimen tersebut diperoleh rata-rata nilai kekerasan Rockwell sebesar 80,78 HR.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan dari pengujian kekerasan Rockwell dan uji struktur mikro pada proyektil munisi yang telah mendapatkan proses heat treatment pada suhu 300°C dengan metode quenching dengan media pendinginan berupa air kelapa, oli SAE 140, dan propylene glykol dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai hasil akhir dari rangkaian penelitian ini.

Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan dan struktur mikro yang dapat dijadikan sebagai kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil uji kekerasan Rockwell pada spesimen proyektil amunisi MU-5 TJ yang mendapat heat treatment mengalami peningkatan harga kekerasan dibandingkan dengan proyektil amunisi tanpa heat treatment. Berikut nilai kekerasan proyektil MU-5 TJ tanpa heat treatment dan yang mendapat heat treatment dengan media pendingin oli SAE 140, cairan propylene glykol dan air kelapa secara berturut-turut adalah 77,01 HR, 79,73 HR, 80,78 HR, dan 81,40 HR.

2. Hasil uji kekerasan Rockwell pada spesimen proyektil amunisi MU-5 TJ yang mendapatkan heat treatment terdapat perbedaan kekerasan yang dipengaruhi oleh perbedaan media pendinginan yang digunakan oleh spesimen. Nilai kekerasan tertinggi berada pada spesimen yang mendapat media pendingin air kelapa dengan nilai kekerasan 81,40 HR.
3. Pengujian struktur mikro menggunakan perbesaran 400x. Tingkat kekerasan dapat dilihat dari fasa struktur mikro yang dihasilkan oleh spesimen. Tingkat kekerasan ditunjukkan pada struktur mikro yang berfasa martensite. Fasa ini ditandai dengan adanya bagian berwarna hitam. Hal ini terjadi karena adanya pengerasan pada spesimen. Pada spesimen yang menggunakan media pendinginan air kelapa lebih cenderung memiliki daerah yang berfasa martensite lebih luas sedangkan spesimen lainnya hanya memiliki fasa austenite dan ferrite.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini disusun dengan bantuan dari berbagai pihak yang membantu untuk penyelesaiannya. Untuk itu, penyusun pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih dan rasa hormat setinggi-tingginya kepada :

- a. Kolonel Tek R. Aryo Surdihartono, S.T., M.Si. sebagai Kepala Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung atas kelancaran penyusunan jurnal ini.
- b. Mayor Sya'ban Tri H., S.T., M.Eng. Mgt., sebagai dosen pembimbing utama yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pemikiran dalam memberikan bimbingan, petunjuk, arahan dan nasehat serta tuntunan mulai dari penyusunan sampai terselesaikannya jurnal ini.
- c. Para dosen pengajar serta seluruh staf Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara yang telah memberikan banyak dukungan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian jurnal ini.
- d. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat dan menjadi motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan jurnal ini.
- e. Karunia Indah Dinantiningrum yang telah turut berpartisipasi dan ambil bagian dalam menunjang pembuatan jurnal ini.
- f. Rekan-rekan Taruna Tingkat IV yang telah banyak memberikan saran, kritik serta tanggapan dalam penyusunan jurnal ini.
- g. Semua pihak yang terkait baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah mendukung terselesaikannya jurnal ini.

REFERENSI

- [1] Permenhan RI. (2010). *Kementrian Pertahanan Republik Indonesia*.
- [2] Asyara, M., & Syahrul. (2019). Efek Quenching Dengan Media Pendingin yang Berbeda Terhadap Nilai Kekerasan Pisau Berbahan SUP 9. *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 1(4), 887–896. <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/146%0Ahttps://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/download/146/135>
- [3] Kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia. (2022). Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 tentang Perizinan, Pengawasan, dan Pengendalian Senjata Api Standar Kepolisian Negara Republik Indonesia, Senjata Api Non Organik Kepolisian Negara Republik Indonesia/Tentara Nasional Indon. *Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 139*, 139, 1–157.
- [4] Thomas G. Digges, Samuel J. Rosenberg, G. W. G. (1960). *Heat Treatment and Properties of Iron and Steel*. 35(October 3, 1960), 13.
- [5] Lostari, A., Machfuroh, T., Mahardika, S., Semolowaru, J., Mesin, T., Negeri Malang Jl Soekarno Hatta no, P., & Lowokwaru Malang, J. (2022). *Pengaruh Media Pendinginan Pada Proses Heat Treatment Baja SUP-9*. 24(3), 29–35.
- [6] Ramadhan, A. A., Kurniawan, E. D., Darti, & Hermawan, R. (2023). Pengaruh variasi media pendingin quenching terhadap kekerasan baja AISI 1045. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 11(1), 124–130.
- [7] Purwanto, H. (2011). *ANALISA QUENCHING PADA BAJA KARBON RENDAH DENGAN MEDIA SOLAR*. 7(1), 36–40.
- [8] Asyara, M., & Syahrul. (2019). Efek Quenching Dengan Media Pendingin yang Berbeda Terhadap Nilai Kekerasan Pisau Berbahan SUP 9. *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 1(4), 887–896. <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/146%0Ahttps://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/download/146/135>
- [9] Lostari, A., Machfuroh, T., Mahardika, S., Semolowaru, J., Mesin, T., Negeri Malang Jl Soekarno Hatta no, P., & Lowokwaru Malang, J. (2022). *Pengaruh Media Pendinginan Pada Proses Heat Treatment Baja SUP-9*. 24(3), 29–35.
- [10] Sumiyanto, S., & Abdunnaser, A. (2017). Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon Astm a-36. *Bina Teknika*, 11(2), 155. <https://doi.org/10.54378/bt.v11i2.108>