



Analisis Kualitas Balistik dan Kimiawi Amunisi MU-1 TJ 9x19 mm Parabellum Setelah Perendaman Dengan Air Laut dan Air Sungai

Analysis Of The Ballistic and Chemical Quality Of MU-1 TJ 9x19 mm Parabellum Ammunition After Immersion In Seawater and River Water

Akhmad Reza Akbar^{1*}, Sya'ban Trii Hernawan, S.T.,M.Eng.,Mgt.²

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

E-mail: akhmdrza@gmail.com

Abstract— *This study aims to analyze the effect of seven-day immersion in seawater and river water on the ballistic quality and chemical properties of MU-1 TJ 9×19 mm Parabellum ammunition. The background of the study is the operational requirement of the Indonesian Air Force (TNI AU) for ammunition to remain reliable even when exposed to aquatic environments during emergency landings or special operations. The research employed a laboratory experimental method with three treatments: immersion in seawater, immersion in river water, and an untreated control. After immersion, ballistic tests were performed to measure projectile velocity, shooting accuracy, and internal gas (chamber) pressure, and propellant ash content was analyzed as an indicator of chemical changes. The results indicate that seven-day immersion produced minor changes in ballistic performance, including a slight decrease in accuracy, small variations in chamber pressure, and an increase in inorganic residue in the propellant. Nevertheless, these changes were not significant from an operational standpoint, and the ammunition's overall quality and reliability remained acceptable. The study underscores the importance of inspection and cleaning procedures for ammunition exposed to water prior to use.*

Keywords— MU-1 TJ 9×19 mm ammunition, immersion, seawater, river water, ballistic testing, propellant ash content.

Abstrak— *Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perendaman selama 7 hari dalam air laut dan air sungai terhadap kualitas balistik dan sifat kimiawi amunisi MU-1 TJ 9×19 mm Parabellum. Latar belakang penelitian ini adalah kebutuhan operasional TNI AU, di mana amunisi harus tetap andal meskipun terekspos lingkungan perairan selama misi darurat atau penugasan khusus. Metode penelitian menggunakan eksperimen laboratorium dengan tiga perlakuan: perendaman selama 7 hari di air laut, perendaman selama 7 hari di air sungai, dan kontrol 7 hari tanpa perlakuan. Setelah perendaman, dilakukan uji balistik untuk mengukur kecepatan proyektil, akurasi tembakan, dan tekanan gas internal, serta analisis kadar abu propelan sebagai indikator perubahan kimiawi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman selama 7 hari menyebabkan perubahan minor pada performa balistik, termasuk sedikit penurunan akurasi dan variasi tekanan gas, serta peningkatan residu anorganik pada propelan. Meskipun demikian, perubahan tersebut tidak signifikan secara operasional, sehingga kualitas dan keandalan amunisi tetap terjaga. Penelitian ini menegaskan pentingnya prosedur pemeriksaan dan pembersihan bila amunisi terekspos air sebelum digunakan.*

Kata Kunci— Amunisi MU-1 TJ 9×19 mm, perendaman, air laut, air sungai, uji balistik, kadar abu.

*Akhmad Reza Akbar

E-mail: akhmdrza@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Dalam operasi militer modern, keandalan amunisi merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan misi serta keselamatan personel di lapangan. Terutama bagi pasukan khusus yang melaksanakan penugasan di daerah ekstrem seperti pesisir, rawa, dan hutan hujan tropis, kondisi amunisi harus tetap prima meskipun terpapar lingkungan yang keras. Dalam skenario darurat seperti pendaratan darurat di wilayah perairan atau operasi penyelamatan di laut, amunisi berpotensi terendam atau terkena air dalam jangka waktu tertentu. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman mendalam mengenai sejauh mana paparan air khususnya air laut dan air sungai dapat memengaruhi performa amunisi yang digunakan oleh TNI AU.

Amunisi merupakan komponen vital dalam sistem persenjataan yang menentukan efektivitas operasi militer dan penegakan hukum. Menurut (Markham, 2019), amunisi mencakup proyektil, propelan, selongsong, dan primer yang bekerja bersama menghasilkan energi kinetik untuk melontarkan peluru. Kerusakan pada salah satu bagian dapat menurunkan keandalan balistik secara signifikan. Dalam penelitian ini sampel amunisi yang digunakan adalah MU-1 TJ kaliber 9×19 mm LOT 02/21, diproduksi pada 29 Januari 2021. (Kemhan RI, 2010) melalui Juklak Pemeliharaan Amunisi menekankan pentingnya pemeriksaan, penyimpanan, dan pengujian berkala agar sifat fisik, kimia, dan mekanik amunisi tetap sesuai standar. Upaya ini mencegah kemunduran mutu yang dapat membahayakan pengguna, sehingga pemahaman tentang faktor penyebab kerusakan, termasuk pengaruh lingkungan, menjadi sangat penting bagi lembaga militer dan industri pertahanan.

Salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kualitas amunisi adalah paparan air, karena dapat menimbulkan perubahan pada sifat fisik maupun kimia material penyusunnya (Darmawi et al., 2022). Air laut memiliki kadar garam sekitar ±3,5% dengan ion klorida sebagai komponen dominan (Peurelak, 2019) pada penelitian ini digunakan sampel air laut yang diambil langsung dari Pantai Parangtritis, dengan pH terukur sekitar 7,4 yang bersifat sedikit basa (Yustiabel et al., 2014). Sementara itu, sampel air Sungai Gajahwong memiliki pH 6,6–7,1, yang menunjukkan kondisi netral hingga sedikit asam (Amalia, 2020). Kedua media alami ini digunakan sebagai medium perendaman karena merepresentasikan kondisi lingkungan nyata yang mungkin dihadapi personel TNI AU di lapangan. Penelitian ini menilai pengaruh kedua media tersebut terhadap performa balistik amunisi MU-1 TJ 9×19 mm Pindad melalui parameter kecepatan, tekanan gas, akurasi, dan kadar abu sebagai dasar evaluasi kelaikan amunisi yang terpapar lingkungan lembap.

Hari ke-7 dipilih sebagai titik pemeriksaan awal karena secara teknis merupakan periode yang paling relevan untuk mendeteksi perubahan awal pada performa balistik akibat kemungkinan pengaruh lingkungan terhadap selongsong amunisi. Berdasarkan kajian material, paparan air berion seperti air laut dan air sungai dapat memicu reaksi permukaan ringan pada paduan kuningan/tembaga, seperti *pitting corrosion* atau *dezincification* yang biasanya mulai teridentifikasi dalam hitungan hari hingga minggu (Janikowski, 2015) dan (Francis, 2016) Reaksi permukaan awal tersebut belum menyebabkan kerusakan struktural besar, tetapi cukup memengaruhi perubahan sifat mekanik lokal yang dapat berimplikasi pada perilaku pembakaran propelan, tekanan gas, kecepatan proyektil, dan konsistensi akurasi tembakan. Oleh karena itu, pemeriksaan pada hari ke-7 dipilih sebagai kompromi metodologis cukup lama untuk memungkinkan timbulnya perubahan permukaan yang berdampak pada parameter balistik, namun tidak terlalu lama hingga terjadi degradasi menyeluruh. Temuan lokal sebelumnya (Nugraha and Infantono, 2017) dan (Ramadhan and Infantono, 2016) juga menunjukkan kecenderungan perubahan awal performa amunisi pada interval mingguan, sehingga hari ke-7 menjadi waktu observasi yang paling representatif secara praktis dan operasional.

II. LANDASAN TEORI

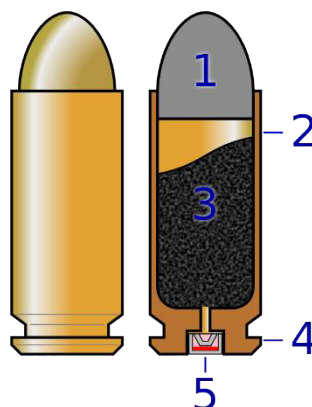
A. Uji Balistik

Uji balistik adalah proses pengujian untuk mengetahui karakteristik performa amunisi, meliputi kecepatan proyektil, tekanan gas ruang bakar, dan akurasi tembakan, guna memastikan amunisi memenuhi standar keamanan dan efektivitas operasional. Menurut Markham (2019), uji balistik bertujuan mengevaluasi hubungan antara energi pembakaran propelan, gaya dorong proyektil, serta kestabilan lintasan peluru selama penembakan. Dalam konteks militer dan industri pertahanan, uji balistik menjadi bagian penting dari proses pengendalian mutu dan penilaian kelayakan amunisi (Kemhan RI, 2010).

B. MU 1 TJ 9 x 19 mm Parabellum

Amunisi MU 1 TJ 9 x 19 mm Parabellum adalah salah satu jenis amunisi yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk militer, penegakan hukum, dan olahraga menembak. Kaliber ini dikenal dengan nama "9mm Luger" atau "9mm NATO" dan telah menjadi standar internasional untuk banyak senjata api [Jacobson, 2015].

Berikut adalah komponen Amunisi 9x19 mm Parabellum



Gambar 1 Struktur Amunisi

- 1) Proyektil (*projectile* atau *bullet*)
- 2) Selongsong (*casing*)
- 3) Bahan Peledak Pendorong (*powder/ Black Powder*)
- 4) *Rim* (bagian bawah selongsong)
- 5) *Primer*

Setiap komponen ini dirancang untuk bekerja secara sinergis dalam siklus penembakan, mulai dari pemicu yang memukul primer hingga pembakaran propelan yang menghasilkan tekanan gas untuk mendorong proyektil keluar dari laras senjata dengan kecepatan tinggi. Kualitas dan konsistensi setiap komponen sangat penting untuk memastikan performa balistik yang optimal.

C. Propelan

Propelan adalah bahan yang digunakan untuk menghasilkan dorongan, umumnya melalui reaksi kimia yang menghasilkan gas bertekanan tinggi. Dalam konteks roket dan amunisi,

propelan berfungsi sebagai bahan bakar atau bahan pendorong yang diperlukan untuk meluncurkan proyektil atau memberikan propulsi pada roket. Propelan dapat berupa campuran bahan peledak, bahan bakar padat, atau cair, dan memiliki berbagai jenis berdasarkan komposisi dan cara kerjanya. (Pertahanan and Indonesia, 2016)

Propelan modern dibagi beberapa jenis berdasarkan struktur dan komposisinya :

- 1) Propelan Padat:
 - a) *Single Base Propellant*: Menggunakan nitroselulosa (NC) sebagai bahan utama.
 - b) *Double Base Propellant*: Campuran nitroselulosa (NC) dan nitrogliserin (NG).
 - c) *Triple Base Propellant*: Campuran nitroselulosa (NC), nitrogliserin (NG), dan nitroguanidin (NQ).
 - d) Komposit Padat: Terdiri dari bahan bakar hidrokarbon polimer seperti *Hydroxy-Terminated Polybutadiene* (HTPB) sebagai *fuel-binder* dan oksidator seperti *Ammonium Perchlorate* (AP) atau *Potassium Nitrate* (KNO₃).
- 2) Propelan Cair:
 - a) Monopropelan: Mengandung bahan bakar dan oksidator dalam satu senyawa, seperti hidrazin.
 - b) Bipropelan: Memisahkan bahan bakar dan oksidator, seperti kombinasi LOX (*Liquid Oxygen*) dan RP-1 (kerosene).
- 3) Aditif pada propelan padat:
 - a) Magnesium (Mg) digunakan sebagai aditif untuk meningkatkan nilai kalor.
 - b) Aditif lainnya mencakup plastikizer, stabilizer, dan katalis untuk meningkatkan performa.

Karakteristik pembakaran propelan sangat penting dalam menentukan performa balistik amunisi, antara lain:

- 1) Laju Pembakaran (*Burn Rate*): Kecepatan propelan terbakar; laju pembakaran yang optimal menghasilkan tekanan laras yang sesuai dan kecepatan proyektil maksimal.
- 2) Tekanan Pembakaran (*Burn Pressure*): Tekanan maksimum yang dihasilkan saat propelan terbakar; harus berada dalam batas aman agar tidak merusak senjata.
- 3) Energi Spesifik (*Specific Energy*): Jumlah energi yang dilepaskan per satuan massa propelan; semakin tinggi energi spesifik, semakin efisien propelan tersebut.

Pemilihan jenis propelan harus disesuaikan dengan spesifikasi teknis amunisi agar dapat memberikan performa optimal tanpa merusak senjata [Urbanski, 1967]

D. Nitroselulosa

Nitroselulosa, yang juga dikenal dengan nama selulosa nitrat, kertas kilat, guncotton, dan piroksilin, adalah senyawa yang dihasilkan melalui proses nitrasi selulosa menggunakan

campuran asam nitrat dan asam sulfat. Proses pembuatan nitroselulosa dimulai dengan pemilihan bahan baku selulosa yang berkualitas tinggi. Kualitas selulosa sangat penting karena adanya hemiselulosa, lignin, dan pengotor lainnya dapat mengurangi hasil dan kualitas nitroselulosa yang dihasilkan. Selanjutnya, selulosa direndam dalam campuran asam nitrat dan asam sulfat. Campuran ini bertindak sebagai agen nitrasi yang menghasilkan ion nitronium (NO_2^+), yang merupakan elektrofil utama dalam reaksi nitrasi. Nitroselulosa digunakan sebagai bahan pendorong (propelan) dalam senjata api dan juga sebagai bahan peledak tingkat rendah. Dalam konteks amunisi 9x19mm Parabellum, nitroselulosa berperan sebagai komponen utama dalam propelan. Propelan adalah bahan yang menghasilkan gas bertekanan tinggi ketika dibakar, mendorong amunisi keluar dari laras senjata. Nitroselulosa digunakan karena sifatnya yang mudah terbakar dan menghasilkan energi yang cukup untuk mendorong proyektil dengan kecepatan tinggi. Selain itu, nitroselulosa juga berperan penting dalam industri fotografi sebagai komponen emulsi untuk film fotografi pada abad ke-19. Sifat larutnya dalam pelarut organik seperti aseton dan etil asetat memungkinkan penggunaannya dalam berbagai aplikasi industri. (Mattar et al., 2020)

E. Black Powder

Menurut Ramadhan dan Infantono (2016) Bahan peledak pertama yang diketahui adalah Black Powder. Orang Tiongkok pertama kali menemukan Black Powder pada tahun 1300-an, atau sekitar pergantian abad ke-14. Bubuk hitam dulu digunakan sebagai bahan bakar petasan. Black Powder semakin banyak digunakan untuk keperluan militer seiring berjalannya waktu, baik sebagai bom atau sebagai pengisi meriam. Selanjutnya, Black Powder berevolusi menjadi bahan pengisi propelan untuk senjata api. Pasalnya, Black Powder memiliki kualitas yang membuatnya cocok digunakan sebagai bahan pengisi senjata atau bahan peledak. Selain itu, Black Powder merupakan campuran mekanis dengan karakteristik yang menguntungkan dan tidak menguntungkan.



Gambar 2.2. Black Powder
(sumber :<https://en.wikipedia.org/Blackpowder>)

F. Smokeless Powder

Smokeless Powder, atau bubuk tanpa asap, adalah bahan pendorong yang digunakan dalam amunisi senjata api dan artileri. Berbeda dengan bubuk mesiu tradisional yang menghasilkan asap tebal, Smokeless Powder menghasilkan asap yang sangat minim saat diledakkan. Proses pembuatannya melibatkan nitrasi selulosa dengan campuran asam nitrat dan sulfat, diikuti dengan pencetakan dan pengeringan. Keunggulan Smokeless Powder dibandingkan bubuk mesiu konvensional termasuk daya dorong yang lebih kuat, asap yang lebih sedikit, dan stabilitas yang lebih tinggi saat disimpan. Bahan ini banyak digunakan dalam amunisi militer dan olahraga,

tetapi harus disimpan dengan hati-hati karena mudah terbakar dan dapat terdegradasi. (Jones, 1998)



Gambar 2.3. *Smokeless Powder*

(sumber : https://en.wikipedia.org/Smokeless_powder)

A. Kadar Abu

Kadar abu adalah jumlah residu anorganik yang tersisa setelah bahan organik dibakar pada suhu tinggi. Ini mencakup semua komponen mineral yang tidak terbakar selama proses pembakaran. Proses pengukuran kadar abu biasanya dilakukan dengan metode gravimetri, di mana sampel dibakar dalam furnace pada suhu tinggi hingga semua komponen organik teroksidasi, meninggalkan sisa mineral. (Kinanthi Pangestuti and Darmawan, 2021)

Pengaruh kadar abu terhadap performa balistik antara lain:

- 1) Abu dapat menghambat pembakaran propelan sehingga mengurangi efisiensi energi.*
- 2) Residu abu dapat menyebabkan korosi pada komponen logam amunisi.*

Pentingnya pengukuran kadar abu terletak pada kemampuannya untuk membantu produsen memastikan bahwa propelan memenuhi standar kualitas tertentu sebelum digunakan dalam produksi amunisi.

III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

Metode penelitian disusun untuk menjelaskan secara sistematis langkah-langkah eksperimen, meliputi tujuan penelitian, alat dan bahan uji, prosedur, serta diagram alir penelitian. Objek penelitian adalah amunisi MU1-TJ kaliber 9x19 mm Parabellum yang direndam selama tujuh hari dalam dua media, yaitu air sungai dan air laut. Setelah perendaman, amunisi diuji menggunakan Ballistic Testing Weapon untuk memperoleh data performa balistik. Pengujian difokuskan pada dua aspek utama, yaitu kinerja balistik yang dilihat dari kecepatan, akurasi dan tekanan gas, serta aspek kimiawi melalui analisis kadar abu propelan guna menilai perubahan komposisi material. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh media perendaman terhadap performa balistik dan sifat kimiawi amunisi MU1-TJ 9x19 mm Parabellum.

Pengujian ini bertujuan memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh perendaman terhadap karakteristik balistik dan kimiawi amunisi. Data yang dikumpulkan mencakup energi kinetik saat penembakan dan persentase kadar abu propelan pasca perendaman. Hasilnya diharapkan mampu menunjukkan sejauh mana media perendaman memengaruhi kinerja balistik dan sifat material amunisi MU1-TJ 9x19 mm Parabellum.

Percobaan telah dilaksanakan di Depo Pemeliharaan 60 dan Laboratorium Sistem Senjata Departemen Aeronautika Akademi Angkatan Udara dengan dua tahap utama :

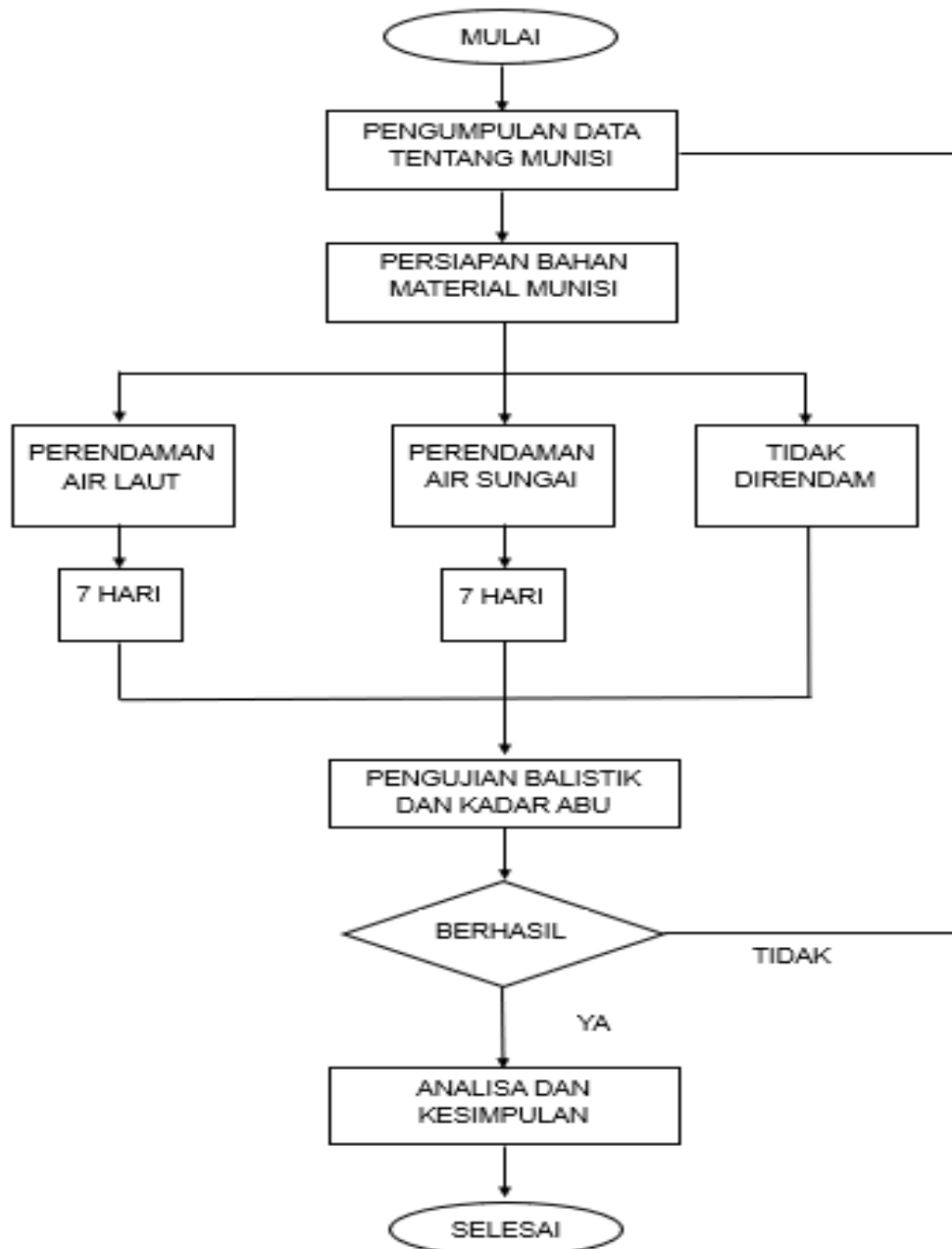
- a. Studi Literatur. Proses ini melibatkan pengumpulan ide dan informasi dari berbagai sumber yang kredibel, termasuk jurnal ilmiah, artikel, dan percobaan terkait, untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi dalam penelitian.
- b. Metode Eksperimen. Penelitian ini menggunakan *Ballistic Testing Weapon* untuk menembakkan amunisi MU1-TJ 9x19 mm Parabellum yang telah direndam dalam air laut dan air sungai.

Penggunaan amunisi MU 1 TJ 9 x 19 mm Parabellum LOT 02/21 dan tanggal produksi 29 Januari 2021 sebagai bahan penelitian, sementara sampel media perendaman sebagai berikut:

- a. Air laut yang diambil di Pantai Parangtritis dengan pH 7,4 digunakan untuk merendam amunisi MU-1TJ 9x19 mm Parabellum sebanyak 7 x 24 jam, dilanjutkan dengan uji balistik dan uji kadar abu.
- b. Air sungai yang diambil di Sungai Gajahwong dengan pH 6,6–7,1 digunakan untuk merendam amunisi MU-1TJ 9x19 mm Parabellum sebanyak 7 x 24 jam, dilanjutkan dengan uji balistik dan uji kadar abu..
- c. Amunisi MU1-TJ 9x19 mm Parabellum tanpa perendaman, dilanjutkan dengan uji balistik dan uji kadar abu.

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini

\



IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Bagian ini menyajikan hasil pengujian amunisi MU1-TJ 9×19 mm Parabellum setelah perendaman 7 hari di air laut, 7 hari di air sungai, dan kontrol tanpa perlakuan. Data yang disajikan meliputi dokumentasi visual kondisi fisik

Amunisi yang direndam di air laut menunjukkan perubahan paling jelas — air berubah warna dan endapan korosif menempel, serta discoloration ckelat pada selubung; perendaman di air

sungai hanya menimbulkan perubahan ringan pada ujung proyektil; kontrol tidak menunjukkan perubahan visual.



Hasil uji kecepatan : rata-rata kecepatan muzzle adalah Air Laut = **404,5 m/s**, Air Sungai = **398,1 m/s**, Tanpa Perlakuan = **399,3 m/s**. Perbedaan antar perlakuan kecil (beberapa m/s) dan tidak signifikan secara operasional.

Urutan Penembakan Amunisi	Air Laut (m/s)	Air Sungai (m/s)	Tanpa Perlakuan (m/s)
1	405,1	407,1	397
2	408,5	397,7	405,4
3	402,4	387,9	397,1
4	400,9	403,0	395
5	405,4	394,8	401,8
Max	408,5	407,1	405,4
Min	400,9	387,9	395,0
Rata-Rata	404,5	398,1	399,3

Hasil uji akurasi (Tabel 4.2): Mean Point of Impact (MPI) pada jarak 25 m masing-masing Air Laut = **76,1 mm**, Air Sungai = **74,6 mm**, Kontrol = **69,3 mm**; R50 menunjukkan kontrol paling padat (R50 terkecil). Perendaman air laut menghasilkan akurasi sedikit menurun dibanding kontrol.

Media Perendaman	Jarak Target (m)	Akurasi (Mean Point,mm)	Presisi R50 (mm)	Max Distance (mm)
Air Laut	25	76,1	8,9	21,8
Air Sungai	25	74,6	7,5	22,6
Tanpa Treatment	25	69,3	5,4	23,5

Hasil uji tekanan gas (Tabel 4.3): rata-rata tekanan adalah Air Laut = **206,7 MPa**, Air Sungai = **203,8 MPa**, Kontrol = **193,3 MPa**. Nilai maksimum berbeda antar perlakuan tetapi selisihnya relatif kecil ($\approx 2\text{--}13$ MPa), sehingga dampak praktis terbatas.

Urutan Penembakan Amunisi	Air Laut (Mpa)	Air Sungai (Mpa)	Tanpa Perlakuan (Mpa)
1	210,5	213,7	196,5
2	210,4	203,4	200,9
3	205,8	193,7	188,4
4	203,7	208,5	184,6
5	203,1	198,8	196,3
Max	210,5	213,7	200,9
Min	203,1	193,7	184,6
Rata-Rata	206,7	203,8	193,3

Hasil uji kadar abu propelan (Tabel 4.4–4.5): rata-rata kadar abu propelan adalah Air Laut = **2,93%**, Air Sungai = **2,34%**, Kontrol = **1,13%**. Perendaman meningkatkan residu inorganik pada propelan, tertinggi pada sampel air laut, namun perubahan absolutnya masih kecil.

No	Perlakuan Pada Amunisi	Sampel	Berat Bersih Propellant (gr)	Berat Abu (gr)
1	Air Laut	1	0,4199	0,0172
		2	0,4250	0,0108
		3	0,4193	0,0089
	Rata-rata	-	0,4197	0,0123
2	Air Sungai	1	0,4190	0,0159
		2	0,4096	0,0090
		3	0,4089	0,0088
	Rata-rata	-	0,4125	0,0112
3	Tanpa Perlakuan	1	0,4130	0,0030
		2	0,4052	0,0028
		3	0,4058	0,0080
	Rata-rata	-	0,4080	0,0046

Simpulan singkat bagian hasil: perendaman 7 hari menimbulkan perubahan visual paling nyata pada sampel air laut dan menghasilkan variasi kecil pada kecepatan, akurasi, tekanan, dan kadar abu; secara kuantitatif perbedaan antar perlakuan relatif kecil dan belum menunjukkan degradasi fungsional yang signifikan.

B. Pembahasan

Hasil menunjukkan bahwa perendaman 7 hari pada air laut dan air sungai hanya menimbulkan perubahan kecil pada parameter balistik dan kimiawi MU1-TJ 9×19 mm. Rata-rata muzzle velocity tercatat 404.5 m/s (air laut), 398.1 m/s (air sungai), dan 399.3 m/s (kontrol), yakni perbedaan relatif kecil (≈ 0.3 – 1.6%). Akurasi terbaik dan R50 terkecil ditemukan pada kelompok kontrol (MPI 69 mm, R50 5.4 mm) dibanding perlakuan air sungai (MPI 74 mm, R50 7.5 mm)

dan air laut (MPI 76 mm, R50 8.9 mm), menandakan sedikit penurunan presisi setelah perendaman. Tekanan gas rata-rata juga menunjukkan pergeseran kecil (kontrol 193.3 MPa; air sungai 203.8 MPa; air laut 206.7 MPa) dengan selisih maksimum bila dinyatakan persentase berada dalam kisaran toleransi industri (~4–6%). Kadar abu propelan meningkat pada sampel terendam (air laut 2.93%, air sungai 2.34%, kontrol 1.13%), tetapi nilai absolutnya tetap rendah.

Secara interpretatif, pola ini mengindikasikan bahwa perendaman jangka pendek cenderung memengaruhi permukaan fisik (discoloration, endapan) dan residu inorganik sedikit meningkat, namun tidak menyebabkan degradasi fungsional yang nyata dalam parameter balistik inti. Kemungkinan penyebabnya meliputi efektivitas pelindung selongsong dan desain propelan yang mencegah penetrasi kelembaban dalam 7 hari, serta variabilitas produksi pabrikan yang dapat menyamarkan efek perlakuan pada sampel terbatas.

Keterbatasan penting penelitian ini adalah durasi perendaman yang relatif singkat (7 hari), penggunaan satu LOT amunisi, dan ukuran sampel terbatas—faktor yang membatasi generalisasi ke kondisi perendaman lebih lama atau kondisi lapangan yang lebih agresif. Oleh karena itu, temuan bahwa beberapa parameter sedikit “lebih baik” pada sampel terendam tidak boleh ditafsirkan sebagai efek perendaman yang menguntungkan, melainkan kemungkinan kombinasi variabilitas sampel dan perubahan permukaan minor.

Dari sudut praktik, hasil menunjukkan bahwa amunisi MU1-TJ tetap layak pakai setelah perendaman jangka pendek namun pemeriksaan dan pembersihan sebelum penggunaan tetap direkomendasikan untuk menghilangkan endapan korosif dan meminimalkan risiko jangka panjang. Untuk penelitian lanjutan direkomendasikan perendaman dengan durasi lebih panjang, pengujian pada beberapa LOT, analisis korosi mikrostruktur (mis. SEM/EDS), dan analisis kimiawi propelan yang lebih mendalam (mis. kromatografi) untuk menangkap efek degradasi yang mungkin muncul di luar jangka waktu 7 hari.

V. KESIMPULAN

Proses Berdasarkan pengujian balistik dan kadar abu propelan, perendaman selama tujuh hari dalam air laut dan air sungai hanya menimbulkan perubahan kecil pada performa amunisi MU-1 TJ 9×19 mm. Rata-rata muzzle velocity tercatat 404,5 m/s (air laut), 398,1 m/s (air sungai) dan 399,3 m/s (kontrol), sedangkan akurasi terbaik dan R50 terkecil ditemukan pada sampel kontrol (MPI 69 mm, R50 5,4 mm) dibandingkan perlakuan perendaman (MPI 74–76 mm, R50 7,5–8,9 mm). Tekanan puncak sedikit lebih tinggi pada sampel terendam (maks. 213,7 MPa) namun selisih relatifnya masih berada dalam rentang toleransi balistik industri. Kadar abu propelan meningkat pada sampel terendam (air laut 2,93%; air sungai 2,34% vs kontrol 1,13%), menunjukkan akumulasi residu inorganik pasca-perendaman, meskipun peningkatan ini belum memengaruhi fungsi balistik secara nyata dalam waktu uji. Temuan ini menandakan ketahanan baik amunisi terhadap perendaman jangka pendek, namun praktik pembersihan, pengeringan, dan pemeriksaan visual disarankan untuk mencegah penumpukan residu dan potensi korosi pada penggunaan selanjutnya.

REFERENSI

- [1] Ramadhan, M.R., Infantono, A., 2016. Analisis Kualitas Peluru MU-1TJ Kaliber 9x19 mm LOT 2011 Menggunakan Metode Uji Kadar Air dan Uji Tembak. Akad. Angkatan Udar. J. Def. Sci. Technol. AAU-JDST 5, 55–76
- [2] Simbolon, H., Widyatmo, L., n.d. ANALISIS KUALITAS PELURU MU5-TJ KALIBER 5,56X45 MM PASCA DIRENDAM DENGAN AIR PAYAU DAN AIR SUNGAI MENGGUNAKAN METODE Uji BALISTIK DAN Uji KIMIA.
- [3] Nugraha, A., Infantono, A., 2017. Analisis Kualitas Peluru Berdasarkan Variabel 5 Jenis Air Menggunakan Metode 6, 1–16.
- [4] AMALIA, E., 2020. Keanekaragaman dan Kemelimpahan Makrozoobentos di Sungai Gajah Wong Yogyakarta 6–7.
- [5] Book, O.P., Weaponry, H.O., Kecil, A.K., Besar, A.K., Penerbitannya, W., Laboratorium, P.P., Logistik, T., Ketiga, E., 2009. PTU 260 PENGUJIAN BALISTIK MUNISI 1–13.
- [6] DARMAWI, DEWI, T.K., ALIAN, H., GINTING, K., 2022. Ahli Korosi Dasar 190 halaman.

- [3] Nugraha, A., Infantono, A., 2017. Analisis Kualitas Peluru Berdasarkan Variabel 5 Jenis Air Menggunakan Metode 6, 1–16.
- [4] Jabalquinto, A.R., Mai, N., Mohammed, Y., Gill, P.P., 2023. *Influence of humidity on the decomposition process doublebaseroCKETpropellant*. *Polym. Degrad. Stab.* 218, 110546. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab>.
- [5] Markham, M., 2019. *Glossary of Firearms Terminology* 1–23.
- [6] Francis, R., 2016. *Copper Alloys in Seawater : Avoidance of Corrosion Copper Alloys in Seawater : Avoidance of Corrosion. Copp. Alloy. - Early Appl. Curr. Perform. - Enhancing Process.* 225, 20.
- [2] Janikowski, D.S., 2015. *Corrosion Testing of Metals-Is It Needed?*
- [3] Kemhan RI, 2010. Petunjuk Pelaksanaan Nomor : JUKLAK/04/VI/2010 Tentang Penyelenggaraan Pemeliharaan Amunisi di Lingkungan Kementerian Pertahanan dan Tentara Nasional Indonesia. Kemhan.Go.Id.
- [4] Kinanthi Pangestuti, E., Darmawan, P., 2021. *Analysis of Ash Contents in Wheat Flour by The Gravimetric Method*. *J. Kim. dan Rekayasa* 2, 16–21. <https://doi.org/10.31001/jkireka.v2i1.22>
- [5] Mattar, H., Baz, Z., Saleh, A., Shalaby, A.S.A., Azzazy, A.E., Salah, H., Ismail, I., 2020. *Nitrocellulose : Structure , Synthesis , Characterization , and Applications* 15, 1–15.