



PAPER – OPEN ACCESS

Pengaruh Isian Propelan terhadap Kecepatan Proyektil Munisi Kaliber 40x46 mm Non-Lethal dengan Variasi Isian Propelan 0,200 gr; 0,250 gr dan 0,300 gr

Author : Yudistira Sanjiwani, dkk
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1867
Electronic ISSN : 2654-7031
Print ISSN : 2654-7031

Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pengaruh Isian Propelan terhadap Kecepatan Proyektil Munisi Kaliber 40x46 mm *Non-Lethal* dengan Variasi Isian Propelan 0,200 gr; 0,250 gr dan 0,300 gr

Yudistira Sanjiwani, Pratikto, Yudy Surya Irawan*

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jln. Veteran, Malang 65145, Indonesia

yudis.sanji@gmail.com, prayone_adi@ub.ac.id, yudysir@ub.ac.id

Abstrak

Munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* adalah salah satu jenis munisi yang banyak digunakan sebagai munisi pengendalian huru-hara menggunakan efek *impact* menimbulkan rasa nyeri pada sasaran dikenai sehingga dapat melumpuhkan target. Pengembangan munisi ini telah dimulai sejak empat puluh tahun yang lalu diawali dengan penggunaannya di Inggris. Saat ini, industri pertahanan dalam negeri juga sudah mulai mengembangkan jenis munisi ini dalam rangka meningkatkan kapabilitas dan kemandirian untuk memenuhi kebutuhan TNI/POLRI. Namun dalam pengembangannya diperlukan kecepatan proyektil yang sesuai untuk menghasilkan efek nyeri tanpa menimbulkan cedera permanen pada tubuh sasaran yang dikenai. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan cara menyusun munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* dengan beberapa variasi jumlah isian propelan (m_{prop}), yaitu 0,200 gram, 0,250 gram dan 0,300 gram. Eksperimen dilakukan dengan cara menembakkan munisi satu per satu dan mengukur kecepatan proyektil dengan menggunakan perangkat uji balistik kaliber 40 mm yang telah diatur pada jarak dua meter dari mulut laras. Kecepatan pada jarak dua meter dari mulut laras ini merupakan kecepatan impact pada jarak dua meter (V_2). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa jumlah isian propelan yang tepat untuk menghasilkan kecepatan proyektil sesuai dengan spesifikasi munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal*. Dari hasil yang diperoleh, diketahui bahwa pada rentang variasi dalam studi ini munisi dengan isian propelan yang paling sesuai adalah munisi variasi B dengan jumlah isian propelan 0,250 gram karena memiliki nilai rata-rata kecepatan proyektil paling mendekati terhadap nominal spesifikasi kecepatan proyektil munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* sebesar 75 m/s.

Kata Kunci: Amunisi; *Non-lethal*; Propelan; 40x46 mm

Abstract

The 40x46 mm *Non-lethal* ammunition is one of many types of ammunitions used in crowd control engagement. This type of ammunition use impact as a mean to subdue a target. The first usage of this type of ammunition was recorded around forty years ago in the UK. Defense industries in many countries develop their own non-lethal ammunition formulation. In order to strengthen the capability of Indonesian Defense Industry in fulfilling the needs of Indonesian Army and Police, it is currently developing 40x46 mm *Non-lethal* ammunition. In the development of non-lethal ammunition, one must consider the appropriate projectile velocity to ensure that the impact will sufficiently produce enough pain to immobilize the target without inflicting permanent injury. The projectile velocity is greatly affected by the amount of propellant charge assembled into the ammunition. Therefore, a study regarding the effect of propellant charge weight on projectile velocity is conducted experimentally. This study aims to obtain the value of propellant charge weight that is suitable in order to produce a non-lethal ammunition that complies with the product specification of 40x46 mm *Non-lethal* ammunition. The experiment uses several variations of propellant charge weight that are 0.200 gram, 0.250 gram and 0.300 gram. The desired output is the correct amount of propellant charge weight to produce projectile velocity in accordance with 40x46 mm non-lethal ammunition specification.

This study concludes that the most compatible variation is Variation B ammunition with 0.250 grams of propellant charge weight considering that the projectile velocity of the samples are the closest to projectile velocity specification which is 75 m/s.

Keywords: Ammunition; Non-lethal; Propellant; 40x46 mm

1. Pendahuluan

Amunisi kaliber 40x46 mm yang disebut juga dengan granat lontar adalah salah satu jenis munisi yang penggunaannya luas dan memiliki jumlah varian yang cukup banyak. Munisi kaliber 40x46 mm merupakan munisi yang dioperasikan dengan senjata genggam pelontar granat. Beberapa varian dari munisi ini yaitu tipe *High Explosive (HE)*, tipe *Target Practice (TP)*, tipe *Anti-Riot Smoke (AR Smoke)* dan tipe *Non-Lethal (NL)*. Sesuai dengan penamaannya, munisi tipe *High Explosive (HE)* adalah munisi yang digunakan oleh angkatan bersenjata dan memiliki efek mematikan. Munisi tipe *Target Practice (TP)* adalah munisi yang digunakan untuk latihan pasukan supaya memiliki kemampuan yang baik dalam mengoperasikan senjata pelontar granat kaliber 40x46 mm. Munisi tipe *Anti Riot Smoke (AR Smoke)* adalah munisi yang dapat menghasilkan gas air mata sehingga pada umumnya digunakan oleh aparat penegak hukum dalam pengendalian massa dan huru-hara [1]. Sedangkan munisi tipe *Non-Lethal (NL)* adalah jenis munisi yang ditembakkan secara lurus hingga mengenai dan melumpuhkan sasaran tembak dengan memberikan efek trauma minim yang tidak mematikan maupun menimbulkan cedera permanen [2][3][4].

Penggunaan munisi non-lethal pada jarak terlalu dekat dapat menimbulkan cedera yang fatal hingga kematian [5]. Jenis munisi yang didesain untuk menyebabkan iritasi pada telinga, hidung dan tenggorokan (sejenis munisi gas air mata) yang ditembakkan pada jarak 1,5 meter telah menyebabkan jatuhnya korban jiwa. Cedera yang fatal ini diakibatkan benturan keras pada bagian thorax dan menyebabkan pendarahan pada organ dalam [6]. Cedera ini dapat timbul bahkan pada jenis munisi non-lethal yang menggunakan material proyektil plastik maupun karet. Oleh karenanya, banyak studi yang terus dilakukan untuk dapat memahami lebih dalam mengenai efek impact balistik dari munisi non-lethal yang memiliki kecepatan tinggi dengan massa rendah [7].

Munisi *non-lethal* didesain untuk memiliki kecepatan proyektil dengan nilai tertentu [8]. Nilai kecepatan proyektil akan berpengaruh pada jarak capai proyektil dan energi *impact* yang diterima sasaran. Jika nilai kecepatan proyektil terlalu tinggi, maka dapat menimbulkan cedera pada orang yang terkena. Tetapi jika nilai kecepatan proyektil terlalu rendah, maka proyektil tidak dapat mencapai jarak yang diharapkan dan efek *impact* yang diberikan tidak akan cukup untuk melumpuhkan target. Munisi *non-lethal* kaliber 40x46 mm dirancang untuk melumpuhkan target pada jarak di bawah 70 m [8]. Oleh karenanya diperlukan jumlah isian propelan yang tepat sehingga menghasilkan kecepatan proyektil sesuai spesifikasi.

Ada beberapa metode pengujian yang dilakukan untuk menilai tingkat mematikan dari suatu munisi *non-lethal*. Yang pertama adalah penilaian dengan cara menembakkan munisi *non-lethal* ke arah gel polimer yang dapat mewakili bagian tubuh manusia. Pada metode ini, parameter yang diamati adalah pengaruh kecepatan proyektil, massa proyektil dan kekakuan material proyektil terhadap *maximum gel displacement* dan *gel displacement rate* [9]. Metode kedua menggunakan simulasi untuk mempelajari risiko cedera kepala akibat *impact* dari proyektil *non-lethal* [10]. Metode ketiga yaitu *Force Wall Method (FWM)* [2]. Metode keempat yaitu studi dengan karakterisasi menggunakan *Blunt Criterion (BC)*, dimana tingkat cedera dari *impact* proyektil *non-lethal* dinilai dalam beberapa kategori sesuai tingkat keparahannya [11]. Metode kelima adalah evaluasi munisi *non-lethal* dengan menggunakan *skin penetration surrogate* [12]. Dari beberapa metode yang sudah disebutkan sebelumnya, salah satu parameter yang sangat mempengaruhi seberapa mematikan suatu munisi *non-lethal* adalah kecepatan proyektilnya. Kecepatan proyektil dipengaruhi oleh jumlah isian propelan dan massa proyektil yang digunakan.

Studi ini bertujuan untuk mempelajari mengenai pengaruh massa isian propelan (m_{prop}) terhadap kecepatan *impact* proyektil pada jarak tertentu dari mulut laras. Hubungan antara massa isian propelan terhadap kecepatan *impact* proyektil dapat digunakan untuk memperoleh nilai massa isian propelan yang paling sesuai untuk dapat

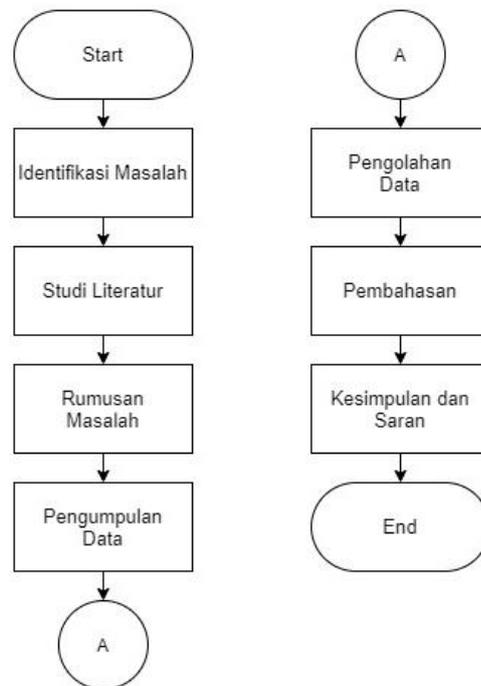
menghasilkan munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* sesuai spesifikasi produk munisi kaliber 40x46 mm NL. Tingkat mematikan dari suatu proyektil dapat ditinjau dari kecepatan proyektil tersebut saat mengenai target. Munisi *non-lethal* dengan energi kinetik yang tinggi dapat menyebabkan pingsan maupun cedera pada organ bagian dalam [10]. Nilai kecepatan proyektil pada saat keluar mulut laras tidak dapat diukur secara langsung. Oleh karenanya akan dilakukan pendekatan dengan pengukuran kecepatan proyektil pada jarak 2 meter dari mulut laras (V_2).

Nomenklatur

- m_{prop} massa isian propelan (gram)
- V_2 kecepatan proyektil pada jarak 2 meter dari ujung laras uji (m/s)

2. Metode Penelitian

Metode penelitian dijabarkan sebagai berikut. Pertama dilakukan identifikasi masalah, yaitu bagaimana pengaruh massa isian propelan terhadap kecepatan proyektil munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal*. Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk membangun kerangka teoritis dengan eksplorasi terhadap pengetahuan dan dasar keilmuan terkait balistik maupun munisi *non-lethal* yang sudah ada saat ini. Hasil-hasil penelitian yang tercantum dalam jurnal juga digunakan untuk mendukung kedalaman penelitian. Desain penelitian dibuat untuk menunjukkan tahapan penelitian dan dituangkan dalam bentuk diagram alir. Metode penelitian ditentukan dan dilanjutkan dengan pengumpulan data. Setelah data terkumpul, dilakukan analisa untuk memperoleh nilai parameter optimal. Pada bagian akhir penelitian, dibuat kesimpulan dan saran untuk perbaikan selanjutnya. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



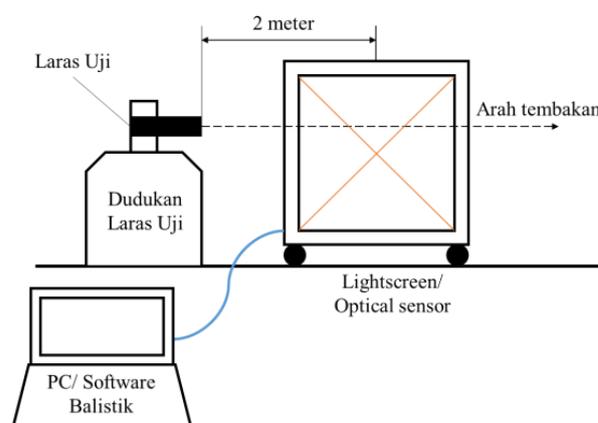
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah eksperimen dilakukan dengan cara menyusun munisi dengan tiga variasi isian propelan, antara lain 0,200 gram, 0,250 gram dan 0,300 gram. Seluruh komponen munisi seperti proyektil dan longsong telah dipastikan memiliki karakteristik dimensi dan berat yang seragam. Jenis propelan yang digunakan adalah propelan APS350. Massa propelan ditimbang dengan menggunakan timbangan digital berketelitian 0,001 gram. Setelah propelan dimasukkan ke dalam longsong, berikutnya proyektil disusun ke munisi dengan mesin susun munisi kaliber 40x46 mm. Tahap selanjutnya adalah mempersiapkan peralatan berupa laras uji kaliber 40 mm dan alat uji balistik untuk mengetahui nilai kecepatan proyektil. Peralatan yang dibutuhkan antara lain laras uji balistik dan dudukan laras uji, *Optical Light Gates (sensor optik/ lightscreen)* serta PC Software balistik. Setelah seluruh peralatan siap, dilakukan tembakan pemanasan dengan satu butir munisi dan dilanjutkan dengan penembakan untuk seluruh variasi munisi yang telah dipersiapkan. Seluruh data hasil pembacaan alat uji balistik dicatat. Tabel matriks pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Pengujian

Variasi	Nomor Munisi	m_{prop} (gram)	Jenis Propelan
Variasi A	A1	0,200	Smokeless, APS350
	A2	0,200	Smokeless, APS350
	A3	0,200	Smokeless, APS350
Variasi B	B1	0,250	Smokeless, APS350
	B2	0,250	Smokeless, APS350
	B3	0,250	Smokeless, APS350
Variasi C	C1	0,300	Smokeless, APS350
	C2	0,300	Smokeless, APS350
	C3	0,300	Smokeless, APS350

Ujung laras uji (*muzzle*) merupakan titik referensi (0 m). *Optical Light Gates* alat uji balistik dipasang sehingga bagian tengahnya berada pada jarak 2 meter dari ujung laras uji. Dengan konfigurasi ini, kecepatan proyektil pada jarak 2 meter dari laras dapat diukur. *Optical Light Gates* dihubungkan ke PC Software Balistik yang berada dalam ruang pengamat. Inisiasi penembakan munisi dilakukan satu per satu dari dalam ruang pengamat untuk memastikan seluruh personel yang melaksanakan pengujian berada dalam posisi aman. Skema peralatan uji ditunjukkan pada Gambar 2. Prosedur penelitian mengacu pada dokumen NATO AEP-94 mengenai *Skin Penetration Assessment of Non-Lethal Projectiles* [13].



Gambar 2. Skema Peralatan Uji Balistik Munisi Kaliber 40x46 mm NL

3. Pengumpulan data dilakukan dengan software balistik. Prinsip pengukuran yang digunakan adalah pengukuran waktu tempuh dari proyektil saat melintas di antara dua *light screen* pada jarak yang sudah ditentukan

[10]. Sinyal yang diperoleh dari *Optical light gate* saat proyektil melewati bagian depan screen dan bagian belakang screen akan tercatat pada software balistik, kemudian dapat dilakukan perhitungan waktu tempuhnya. Dari perhitungan waktu tempuh proyektil melintasi *optical light gate* ini kemudian dapat diketahui kecepatan proyektil pada jarak 2 meter dari mulut laras. Seluruh data kecepatan pada jarak 2 meter untuk masing-masing variasi isian propelan dicatat dan disimpan untuk selanjutnya dilakukan analisa hasil dan pembahasan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil

Secara keseluruhan, ada 9 eksperimen penembakan munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* yang dilaksanakan. Eksperimen dilakukan dengan tiga variasi massa isian propelan (m_{prop}) yaitu isian 0,200 gram, 0,250 gram dan 0,300 gram. Sensor kecepatan yang digunakan adalah *Optical Light Gates* Prototipa LS-06. *Impact velocity* pada jarak 2 meter (V_2) untuk masing-masing munisi dihitung dengan software balistik dan disimpan dalam PC Software Balistik. Contoh tangkapan layar software balistik ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh Tangkapan Layar Software Balistik

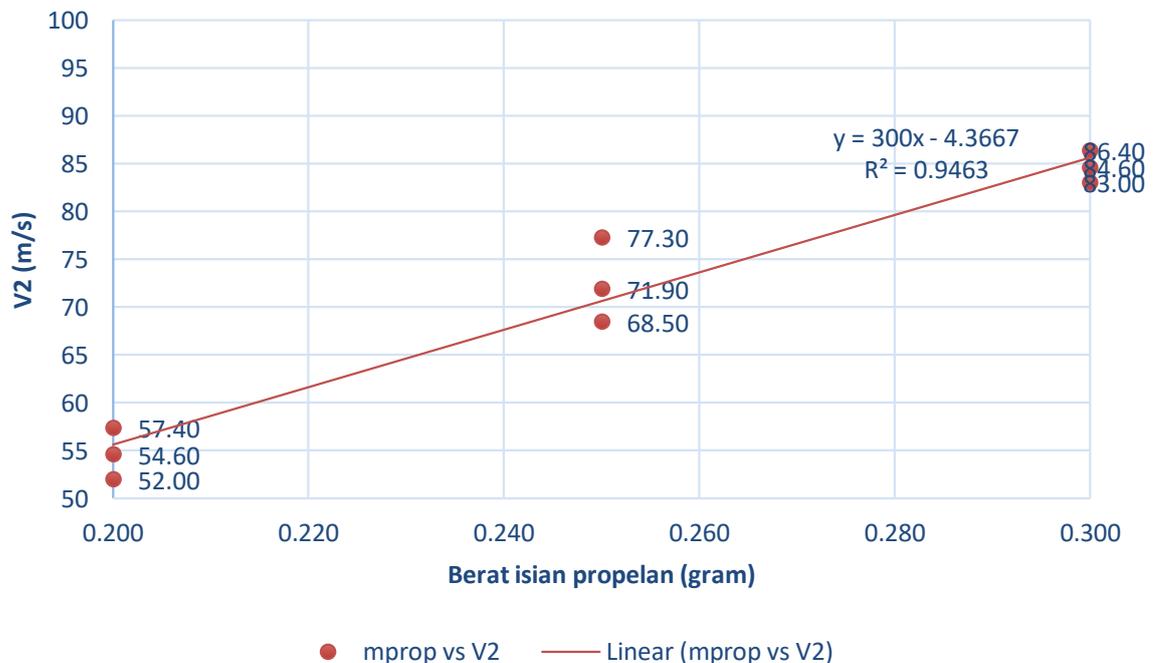
Sensor mengirimkan sinyal yang dicatat pada software balistik saat proyektil melewati *optical light screen* sisi bagian depan (*start signal*) dan saat proyektil melintasi *optical light screen* sisi bagian belakang (*end signal*). Sinyal-sinyal tersebut ditunjukkan dengan kurva warna merah (*start signal*) dan kurva warna biru (*end signal*) pada Gambar 3. Selisih waktu antara 2 puncak sinyal tersebut dikalkulasi untuk memperoleh kecepatan proyektil saat melintas di antara 2 sisi *optical light screen*. Hasil kecepatan *impact* proyektil pada jarak 2 meter dari mulut laras untuk masing-masing tembakan munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan Proyektil pada Jarak 2 meter (V_2)

Variasi	Nomor Munisi	m_{prop} (gram)	Jenis Propelan	V_2 (m/s)	V_2 rata-rata (m/s)	SDev
---------	--------------	-------------------	----------------	-------------	-----------------------	------

Variasi A	A1	0,200	Smokeless, APS350	57,4	54,67	2,21
	A2	0,200	Smokeless, APS350	52,0		
	A3	0,200	Smokeless, APS350	54,6		
Variasi B	B1	0,250	Smokeless, APS350	68,5	72,57	3,62
	B2	0,250	Smokeless, APS350	77,3		
	B3	0,250	Smokeless, APS350	71,9		
Variasi C	C1	0,300	Smokeless, APS350	86,4	84,67	1,39
	C2	0,300	Smokeless, APS350	83,0		
	C3	0,300	Smokeless, APS350	84,6		

Jika data hasil pengujian tersebut diplot ke dalam grafik hubungan antara m_{prop} dengan V_2 , maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Korelasi antara Massa Isian Propelan terhadap Kecepatan Proyektil (m_{prop} vs V_2)

4.2. Pembahasan

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh data sesuai dengan Tabel 2. Penembakan tiga butir munisi dengan kode A1, A2 dan A3 menghasilkan V_2 dengan nilai rata-rata 54,67 m/s. Penembakan tiga butir munisi dengan kode B1, B2 dan B3 menghasilkan V_2 dengan nilai rata-rata 72,57 m/s. Berikutnya penembakan tiga butir munisi dengan kode C1, C2 dan C3 menghasilkan V_2 dengan nilai rata-rata 84,67 m/s. Dari 9 data tersebut dapat ditarik kurva linear dengan persamaan (1) berikut,

$$V_2 = 300m_{prop} - 4,3667 \quad (1)$$

Sehingga massa propelan dapat diestimasi dengan persamaan (2) berikut,

$$m_{\text{prop}} = (V_2 + 4,3667) / 300 \quad (2)$$

Berikutnya persamaan (1) dapat digunakan untuk menghitung estimasi nilai V_2 yang akan diperoleh jika menggunakan jumlah isian propelan yang berbeda dalam rentang 0,200-0,300 gram untuk munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal*. Menurut spesifikasi munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal*, nilai kecepatan proyektil adalah 75 ± 10 m/s. Maka dengan menggunakan persamaan (2), dapat dihitung estimasi massa isian propelan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Estimasi Massa Isian Propelan untuk Beberapa Kecepatan Proyektil 40x46 mm NL

V_2 (m/s)	m_{prop} (gram)
65	0,231
70	0,248
75	0,265
80	0,281
85	0,298

Propelan pada munisi kaliber 40x46 mm *Non-Lethal* dapat diisi dalam rentang 0-0,400 gram. Jumlah ini dibatasi oleh dimensi *cup* propelan pada longsong munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal*. Penambahan massa isian propelan (m_{prop}) sebanyak 0,050 gram atau sebesar 13% dari 0,200 gram menjadi 0,250 gram menghasilkan kenaikan kecepatan proyektil pada jarak 2 meter dari mulut laras (V_2) sebesar 17,90 m/s atau 33%. Sedangkan penambahan massa isian propelan (m_{prop}) sebanyak 0,050 gram atau sebesar 13% dari 0,250 gram menjadi 0,300 gram menghasilkan kenaikan kecepatan proyektil pada jarak 2 meter dari mulut laras (V_2) sebesar 12,10 m/s atau 17%. Penentuan nilai kecepatan proyektil ini penting dilakukan untuk memperoleh performa munisi yang seimbang antara efek impact, lethality dan jarak capai munisi. Jika isian propelan terlalu sedikit, maka kecepatan proyektil akan menjadi terlalu rendah dan proyektil akan sulit mencapai jarak operasional yang diharapkan. Sedangkan jika isian propelan terlalu banyak, maka proyektil akan dapat mencapai jarak yang lebih jauh, tetapi saat mengenai sasaran dapat menimbulkan cedera yang parah. Oleh karena itu ditentukan nilai kecepatan proyektil pada spesifikasi sebesar 75 m/s agar proyektil dapat digunakan pada jarak operasional sekitar 35-50 meter, dengan efek *impact* yang cukup untuk melumpuhkan target tanpa menimbulkan cedera parah maupun permanen [8][10][11]. Hasil ini adalah hasil yang diperoleh untuk jenis munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* yang diproduksi oleh Industri Pertahanan Indonesia. Sedangkan untuk munisi yang diproduksi oleh pabrikan dari negara lain maka akan diperlukan studi lebih lanjut.

Sedangkan jika ditinjau dari nilai standar deviasi masing-masing variasi (variasi A, B dan C) yaitu 2,21; 3,62 dan 1,39, diketahui bahwa nilai standar deviasi paling kecil adalah nilai variasi C. Hal ini menunjukkan bahwa munisi variasi C menghasilkan nilai kecepatan proyektil yang paling konsisten dengan standar deviasi paling kecil. Sedangkan variasi B memiliki nilai standar deviasi yang paling besar di antara 3 kelompok variasi. Standar deviasi yang semakin kecil menunjukkan bahwa nilai yang dimiliki satu kelompok sampel semakin seragam. Dari analisa data tersebut, diketahui bahwa untuk jumlah isian propelan untuk munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* yang dapat menghasilkan kecepatan proyektil paling mendekati terhadap spesifikasi kecepatan proyektil sebesar 75 m/s adalah variasi B yaitu dengan jumlah isian propelan 0,250 gram meskipun nilai standar deviasinya lebih besar. Beberapa hal yang turut mempengaruhi standar deviasi yang menunjukkan konsistensi kecepatan proyektil antara lain massa proyektil dan ketelitian pengerjaan *machining* untuk diameter proyektil. Namun dua parameter tersebut tidak termasuk dalam batasan masalah studi yang dilakukan saat ini.

5. Kesimpulan

Dari studi ini dapat diketahui hubungan antara jumlah isian propelan untuk munisi kaliber 40x46 mm *Non-Lethal*. Hasil eksperimen dan analisa data menunjukkan bahwa isian propelan sebanyak 0,200 gram menghasilkan *impact velocity* pada jarak 2 m (V_2) rata-rata sebesar 54,67 m/s; isian propelan sebanyak 0,250 gram menghasilkan *impact velocity* pada jarak 2 m (V_2) rata-rata sebesar 72,57 m/s; dan isian propelan sebanyak 0,300 gram menghasilkan *impact velocity* pada jarak 2 m (V_2) rata-rata sebesar 84,67 m/s. Penambahan jumlah isian propelan 13% dari 0,200 gram menjadi 0,250 gram menghasilkan penambahan kecepatan proyektil V_2 sebesar 33%. Sedangkan penambahan jumlah isian propelan 13% dari 0,250 gram menjadi 0,300 gram menghasilkan penambahan kecepatan proyektil V_2 sebesar 13%.

Dari data kecepatan V_2 yang didapatkan, diketahui pendekatan secara linear untuk mengetahui hubungan antara jumlah isian propelan terhadap kecepatan proyektil V_2 adalah $V_2=300m_{prop}-4,3667$. Sedangkan untuk memperoleh persamaan untuk estimasi nilai kecepatan proyektil untuk rentang di luar 0,200-0,300 gram, sebaiknya dilakukan eksperimen dengan variasi jumlah isian propelan yang berbeda sehingga dapat diperoleh data yang lebih banyak dan dapat ditarik kesimpulan yang lebih komprehensif. Dari studi ini dapat disimpulkan bahwa untuk rentang variasi dalam studi ini (antara 0,200 gram sampai dengan 0,300 gram), variasi munisi kaliber 40x46 mm *Non-lethal* yang terbaik untuk menghasilkan nilai nominal kecepatan proyektil 75 m/s adalah varian B dengan isian propelan sebanyak 0,250 gram.

Referensi

- [1] N. S. Manhas, D. Stahl, M. Schellenberg, and A. Gholamrezanezhad, "Non-lethal weapon: Injury patterns and imaging correlates for firearm alternatives," *Clin. Imaging*, vol. 79, no. February, pp. 165–172, 2021.
- [2] A. Oukara, N. Nsiampa, C. Robbe, and A. Papy, "Assessment of Non-Lethal Projectile Head Impacts," *Hum. Factors Mech. Eng. Def. Saf.*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [3] J. A. Beatty, J. P. Stopyra, J. H. Slish, and W. P. Bozeman, "Injury patterns of less lethal kinetic impact projectiles used by law enforcement officers," *J. Forensic Leg. Med.*, vol. 69, no. December 2019, p. 101892, 2020.
- [4] T. El Zahran, H. Mostafa, H. Hamade, Z. Mneimneh, Z. Kazzi, and M. J. El Sayed, "Riot-related injuries managed at a hospital in Beirut, Lebanon," *Am. J. Emerg. Med.*, vol. 42, pp. 55–59, 2021.
- [5] J. Borges, C. Sautier, L. Krebs-Drouot, P. Henry, F. Paysant, and V. Scolan, "Death and non-lethal weapons: A case of homicide by penetrating injury without projectile," *Forensic Sci. Int.*, vol. 337, p. 111374, 2022.
- [6] A. Bracq, R. Delille, C. Maréchal, B. Bourel, S. Roth, and O. Mauzac, "Rib fractures prediction method for kinetic energy projectile impact: from blunt ballistic experiments on SEBS gel to impact modeling on a human torso FE model," *Forensic Sci. Int.*, vol. 297, pp. 177–183, 2019.
- [7] G. Iosif, G. Epure, L. Anghel, and D. Moşteanu, "Numerical Modelling of Terminal Ballistic for 40 × 46 mm Lesslethal Kinetic Grenade," *Int. Conf. KNOWLEDGE-BASED Organ.*, vol. 23, no. 3, pp. 199–203, 2017.
- [8] D. Lyon, "Development of a 40-mm Nonlethal Cartridge," *dt/fl Res. J. Dev.*, no. August, p. 20, 1997.
- [9] A. Bracq et al., "On the use of a SEBS polymer gel block as a new ballistic target to assess blunt ballistic impacts: Application to a wide range of LLKE projectiles," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 153, no. March, 2021.
- [10] D. Sahoo, C. Robbe, C. Deck, F. Meyer, A. Papy, and R. Willinger, "Head injury assessment of non-lethal projectile impacts: A combined experimental/computational method," *Injury*, vol. 47, no. 11, pp. 2424–2441, 2016.
- [11] J. A. Kapeles and C. A. Bir, "Human Effects Assessment of 40-mm Nonlethal Impact Munitions," *Hum. Factors Mech. Eng. Def. Saf.*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [12] C. A. Bir, M. Ressler, and S. Stewart, "Skin penetration surrogate for the evaluation of less lethal kinetic energy munitions," *Forensic Sci. Int.*, vol. 220, no. 1–3, pp. 126–129, 2012.
- [13] North Atlantic Treaty Organization. "Skin Penetration Assessment of Non-Lethal Projectiles. NATO AEP-94." Nato Standardization Agency (NSA), 2013.