

PREDIKSI RESIDUAL VELOCITY PADA FENOMENA TERMINAL BALLISTIC DENGAN METODE EKSPERIMEN DAN ANALITIK

PREDICTION OF RESIDUAL VELOCITY ON THE PHENOMENON OF BALLISTIC TERMINAL USING EXPERIMENT AND ANALITICAL METHODS

Yudha Permana¹, Yayat Ruyat², Jupriyanto³

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PERSENJATAAN, FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN,
UNIVERSITAS PERTAHANAN INDONESIA^{1,2,3}

yudha.permana@gmail.com¹, jup93@yahoo.com³

Abstrak – Uji balistik antara munisi dan plat baja armor merupakan bagian penting didalam proses desain munisi dan material armor. Penggunaan dua metode yaitu eksperimen dan analitik dilakukan untuk mendapatkan data yang valid dan tidak banyak membutuhkan biaya yang besar. Penelitian *Terminal ballistic* dari eksperimen untuk mendapatkan *residual velocity* proyektil akan dibandingkan dengan hasil perhitungan analitik. Untuk mendapatkan data *residual velocity* yang lebih solid dengan metode analitik, maka digunakan dua model perhitungan yaitu Lambert-Zukas dan THOR. Hasil dari eksperimen terminal ballistic munisi kaliber 12.7mm menghasilkan *residual velocity* sebesar 729,09m/s menurun sebesar 14,42% dari *impact velocity* 851,96 m/s. Data hasil eksperimen tersebut kemudian digunakan dalam analitik menghasilkan *residual velocity* model Lambert-Zukas sebesar 701,01 m/s dan model THOR 707,84 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan metode analitik cukup dapat dijadikan acuan dalam mendapatkan data *residual velocity*. Hasil Analisa model analitik dengan variabel *impact velocity* yang menurun hingga 400 m/s menunjukkan terjadi penurunan *residual velocity* yang konsisten antara 2 model analitik, yang menjawab bahwa *impact velocity* berpengaruh terhadap besar penurunan kecepatan proyektil setelah menembus sasaran. Penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variabel sudut perkenaan dan penggunaan berbagai material sasaran maupun proyektil sangat dibutuhkan.

Kata Kunci: balistik terminal, lambert-Zukas, munisi 12.7mm, *residual velocity*, THOR Equation

Abstract– *Ballistic tests between munitions and armor plates are an important part of the design process for munitions and armor materials. The use of two methods, namely experimental and analytical, is carried out to obtain valid data and does not require a lot of money. The ballistic terminal research of the experiment to obtain the residual velocity of the projectile will be compared with the results of the analytical calculation. To obtain more solid residual velocity data with the analytical method, two calculation models are used, namely Lambert-Zukas and THOR. The results of the ballistic terminal experiment with 12.7mm caliber munitions resulted in a residual velocity of 729.09 m / s, a decrease of 14.42% from an impact velocity of 851.96 m / s. The experimental data were then used in the analysis to produce a residual velocity of the Lambert-Zukas model of 701.01 m / s and the THOR model of 707.84 m / s. These results indicate that the use of analytical methods is sufficient to be used as a reference in obtaining residual velocity data. The results of the analysis of the analytical model with a variable impact velocity that decreases to 400 m / s indicate a consistent decrease in residual velocity between the 2 analytical models, which answers that the impact velocity has an effect on the*

large decrease in projectile velocity after penetrating the target. Further research using the variable impact angle and the use of various target materials and projectiles is needed.

Keywords: ballistics terminal, lambert-Zukas, 12.7mm munition, residual velocity, THOR Equation

Pendahuluan

Sejak awal sejarah manusia, persaingan dalam perkembangan senjata dan alat pertahanan terus berlanjut. Saat senjata baru dikembangkan, pelindung yang sesuai juga dikembangkan sebagai respon pertahanan (Deniz, 2010). Saat ini, pengembangan pertahanan ringan melawan proyektil kaliber kecil menjadi semakin penting karena konflik yang bersifat horizontal dan urban membutuhkan tingkat mobilitas yang tinggi.

Proyektil munisi anti-material memiliki kemampuan melakukan penetrasi material baja armor yang digunakan pada kendaraan militer. Kemampuan ini berasal dari inti baja keras pada proyektil yang meningkatkan kapabilitasnya dalam penetrasi dibandingkan munisi bukan anti-material. Interaksi antara proyektil kaliber kecil dan pelat baja lapis baja termasuk dalam domain ilmu balistik (Mubashar, et al., 2019).

Balistik adalah ilmu mekanika yang terutama berkaitan dengan percepatan proyektil di laras senapan, perilaku proyektil di ujung laras dan selama di lintasan, serta pengaruhnya terhadap target. Itu terutama dipisahkan menjadi tiga cabang yaitu balistik interior, eksterior, dan terminal. Penelitian ini lebih berfokus pada *terminal ballistic* dimana merupakan cabang ilmu balistik yang mempelajari interaksi antara proyektil dan material sasaran (Rosenberg & Dekel, 2012).

Penelitian terkait *Terminal ballistic* merupakan topik pembahasan yang menarik karena menjadi titik temu antara

teknologi daya gempur dan pertahanan. Namun studi tentang *Terminal ballistic* banyak terkendala dengan biaya yang

besar dan waktu yang lama untuk menghasilkan data yang valid. Untuk mengatasi hal tersebut beberapa peneliti menggunakan metode seperti analitik untuk mempersingkat waktu dan menghemat biaya penelitian. Selain itu data yang dihasilkan dapat dijadikan data acuan maupun validasi hasil eksperimen.

Pada terminal ballistic, material armor akan menahan proyektil dengan menyerap energi kinetiknya. Dengan hasil dari eksperimen, metode analitik dapat dikembangkan untuk menentukan energi yang dibutuhkan proyektil dalam melakukan penetrasi dan memprediksi *ballistic limit velocity* serta hasil *residual velocity* proyektil setelah impact. Penggunaan data eksperimen diperlukan sebagai acuan menggunakan kondisi dimana proyektil mampu perforasi terhadap material armor. Dengan data tersebut, maka dilakukan perhitungan analitik dengan variabel impact velocity hingga didapatkan data dimana residual velocity proyektil tidak terbentuk.

Penggunaan munisi kal. 12.7mm didasarkan pada kemampuannya menembus material baja yang digunakan sebagai proteksi kendaraan tempur maupun gedung pertahanan. Lesmana (2020), telah melakukan penelitian terkait terminal ballistic dengan perubahan variabel dari selubung proyektil munisi kal. 12.7mm terhadap baja Armox 500. Penelitian lain menggunakan munisi kal. 12.7mm untuk melihat respons balistik terhadap material sasaran baja berlubang (Mubashar, et al., 2019). Selain pada aplikasi kendaraan tempur, penelitian

terkait terminal ballistic juga dapat dilakukan pada rekayasa desain proyektil dalam menghadapi material body armor. Material body armor saat ini yang terus berkembang dengan penggunaan material keramik, maupun komposit memerlukan penggunaan munisi yang memiliki densitas energi lebih tinggi sehingga mampu melakukan penetrasi (Basyir, Bura, & Lesmana, 2019).

Pada penelitian terdahulu, telah dilakukan studi analitik untuk menghitung energi yang diserap oleh material sasaran dengan variabel sudut impact dan penggunaan komposit hibrida. Berdasarkan hukum kekekalan energi, energi total proyektil sama dengan energi yang diserap dalam perforasi dan energi kinetik sisa proyektil. Kecepatan sisa proyektil digunakan untuk mencari energi yang diserap dalam perforasi (Sikarwar & Gupta, 2010)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari metode eksperimen dan metode analitik. Kedua metode tersebut dipilih untuk dapat saling melengkapi dengan keunggulan dan kelemahannya masing-masing, serta sebagai proses evaluasi dan verifikasi data yang diperoleh. Penggunaan metode eksperimen juga memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi dibandingkan data yang hanya diperoleh dari penggunaan metode analitik. Hasil perhitungan dari metode analitik yang baik akan dapat digunakan dalam melakukan verifikasi hasil eksperimen karena data yang didapatkan dalam penelitian sebelumnya dapat digunakan dalam membuat prediksi dan menurunkan kemungkinan kegagalan dalam eksperimen tingkat lanjut. Untuk mendapatkan data *residual velocity* yang lebih solid dengan metode analitik, maka digunakan dua model perhitungan yaitu Lambert-Zukas dan THOR sebagai bahan

perbandingan dengan hasil metode eksperimen.

Pada penelitian ini, penulis akan melakukan pengukuran kecepatan dari proyektil sebelum *impact* dan setelah *impact* pada material sasaran Bisplate 400 dengan menggunakan *high speed camera*. Hasil kecepatan ini kemudian dilakukan Analisa untuk dijadikan data acuan dalam perhitungan model analitik. Berdasarkan data hasil analitik, penulis akan melakukan prediksi hasil *residual velocity* munisi kal. 12.7mm dan material Bisplate 400 dengan berbagai variabel *impact velocity* sehingga dapat dianalisa dan dievaluasi.

Metode Penelitian Eksperimen

Balistik Terminal didefinisikan sebagai fenomena yang terjadi akibat interaksi antara proyektil dengan sasaran. Proyektil yang digunakan adalah munisi kal. 12.7mm M2 AP/ MK263 sesuai standar NATO (STANAG-4383, 2001) dan dilakukan prosedur pengujian *bullet impact* munisi (STANAG-4241, 2018). Untuk material armor menggunakan dimensi 40cmx40cmx8mm yang dipotong dari material baja RHA Bisplate 400 dengan kekerasan 477 BHN. Komposisi kimia plat baja diukur oleh lab material PT. Pindad dapat dilihat pada tabel 1.

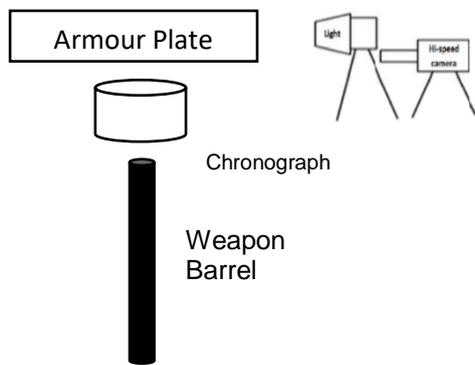
Tabel 1. Komposisi kimia plat baja

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,185	0,338	0,317	0,994	0,189	0,269

Sumber: diolah peneliti, 2021

Uji ballistik dilakukan di lapangan tembak 1000m PT. Pindad (Persero), Malang, Indonesia. Munisi kal. 12.7mm AP ditembakkan pada jarak 100m dari material sasaran. Kecepatan dari proyektil sebelum (v_1) dan setelah (v_2)

impact diukur dengan menggunakan system *high speed camera*. (Gambar 1)



Gambar 1. Ilustrasi uji *Terminal ballistic*

Sumber: diolah peneliti, 2021

Senjata yang digunakan untuk menembak munisi adalah SPR-2 Kal. 12.7mm buatan Pindad, dengan maksimum jarak efektif 2.000m. *Chronograph* berfungsi sebagai pengukur kecepatan proyektil saat keluar laras senjata di lintasan balistik menuju sasaran. *High Speed Camera* yang digunakan memiliki kemampuan maks. 500.000 frames per second dan sensor resolusi maks. 2048x1526 pixel untuk merekam perkenaan munisi pada material sasaran. *High Speed Camera* merupakan peralatan yang berfungsi untuk merekam benda yang bergerak sangat cepat sehingga dapat diputar kembali dalam *slow-motion*. Dengan peralatan ini akan sangat membantu pemahaman fenomena study *Ballistic Terminal* yang terjadi antara munisi dan sasaran baja anti peluru, serta dapat dijadikan data perbandingan dalam perhitungan analitik.

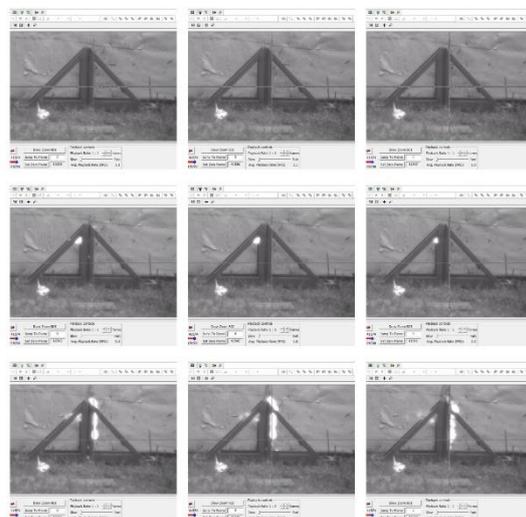
Plat baja yang digunakan diletakkan ke dalam dudukan sesuai **gambar 4.2** untuk memastikan selama terjadi proses *terminal ballistic* dengan munisi dapat meminimalisi pergerakan yang mempengaruhi hasil pengukuran data.



Gambar 2. Posisi plat baja pada dudukan

Sumber: diolah peneliti, 2021

High Speed Camera/ HSC digunakan dalam uji terminal balistik untuk menentukan *impact velocity* saat proyektil mengenai plat baja dan *residual impact* setelah menembus sasaran. Hasil rekaman video dari *High Speed Camera* sesuai **gambar 3** perlu dilakukan Analisa ke dalam software *IX-Camera* sehingga dapat diketahui kecepatan dari proyektil munisi tersebut.



Gambar 3. Analisa High speed camera

Sumber: diolah peneliti, 2021

Hasil kecepatan yang diperoleh dari Analisa *High speed camera* digunakan untuk menentukan kehilangan energi kinetik proyektil yang diakibatkan oleh fenomena *terminal ballistic*. Prosentase kehilangan energi kinetik dari proyektil (rumus (1)) digunakan sebagai indikator

performa perlindungan balistik dari material sasaran.

$$\% \text{ loss energi kinetik} = (-100) \left[\frac{V_2^2 - V_1^2}{V_1^2} \right] \quad (1)$$

Model Analitik

Studi literatur yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pendekatan analitik dapat digunakan dalam mendapatkan data *residual velocity* proyektil dan data batas kecepatan maksimum dimana terjadi 50 persen kemungkinan proyektil dapat melakukan penetrasi pada material sasaran yang biasa disebut *Ballistic Limit*. (Deniz,2010)

Pendekatan analitik digunakan dengan mempertimbangkan hukum kekekalan energi dan momentum serta mengklasifikasikan kerusakan dari material uji. (Woodward, 1977). Sebagian besar model pendekatannya adalah dengan menyederhanakan asumsi. Asumsi umumnya mengasumsikan pengaruh lokal di mana proyektil hanya dipengaruhi oleh wilayah kecil dari target; dengan mengabaikan pergerakan objek untuk mengabaikan perubahan suhu, gesekan, pemanasan kejut, dan perubahan sifat material karena mekanisme ini. Satu hal penting untuk diketahui adalah bahwa model yang rumit tidak selalu menghasilkan jawaban yang lebih akurat. (Carlucci, 2018)

Metode analitik yang digunakan dalam mengukur ballistic limit dan residual velocity adalah model Lambert-Zukas dan model THOR (Carlucci, 2018).

Residual velocity pada model Lambert-zukas

$$V_r = 0 \quad 0 \leq V_0 \leq V_{BL} \quad (2)$$

$$V_{r,1} = a(V_1^2 - V_{L,1}^2)^{1/2} \quad V_1 > V_{BL} \quad (3)$$

$$V_{L,1} = \left(\frac{l}{d}\right)^{0,15} (4000) \sqrt{\frac{d^3}{m} \left[\frac{t}{d} \sec^{0,75} \theta + \exp\left(-\frac{t}{d} \sec^{0,75} \theta\right) - 1 \right] \left[\frac{m}{s}\right]} \quad (4)$$

Model analitik Lambert-zukas digunakan dengan asumsi bahwa tidak ada perubahan pada proyektil/ fragmen setelah menembus material.

Residual Velocity pada model THOR

$$V_{r,2} = V_1 - 10^c (hA)^\alpha (m)^{\beta} (\sec\theta)^\gamma V_1^\lambda \quad (5)$$

$$V_{L,2} = 10^{C1} (hA)^{\alpha1} (m)^{\beta1} (\sec\theta)^{\gamma1} \quad (6)$$

Keterangan:

V_r = Residual velocity (m/s)

V_1 = Impact velocity (m/s)

V_L = Ballistic limit velocity (m/s)

h = Tebal plat baja (mm)

A = Luas area terdampak (mm²)

M = Berat proyektil (gr)

θ = Sudut impact

d = diameter proyektil (mm)

t = tebal plat baja (mm)

Hasil dan Pembahasan

Pada uji balistik, Proyektil munisi kal. 12.7mm M2 AP memiliki kemampuan perforasi pada material bisplate 400 dengan variabel yang sudah ditentukan. Sudut impact munisi yang digunakan adalah 0°, karena berpengaruh pada peningkatan nilai ketahanan ballistic limit dari material sasaran jika digunakan pada sudut yang berbeda (Rajagopal & Naik, 2014). Kecepatan proyektil saat *impact* dan setelah menembus material diukur menggunakan *High speed camera*. Berdasarkan hasil analisa dari eksperimen didapatkan kecepatan proyektil setelah menembus material terjadi penurunan.

Tabel 2. Hasil kecepatan uji balistik

Kecepatan (m/s)		
V_0	V_1	V_2
925	851,96	729,09

Sumber: diolah peneliti, 2021
Kecepatan proyektil menurun 14,42% dari semula 851,96 m/s menjadi 729,09 m/s. Dengan hasil kecepatan *impact* dari proses Analisa eksperimen digunakan dalam perhitungan model analitik untuk mendapatkan hasil *residual velocity*.

Metode analitik merupakan suatu metode perhitungan yang terus berkembang seiring dengan penambahan variabel yang digunakan dalam penelitian. Hasil perhitungan dari metode ini dapat dijadikan acuan atau sebagai bahan evaluasi didalam melakukan penelitian, namun karena keterbatasan akurasi dari metode ini data yang dihasilkan tidak dapat berlaku untuk semua kondisi (Rosenberg & Dekel, 2012). Dalam menggunakan metode analitik peneliti harus memahami batasan atau input dasar yang digunakan dalam perhitungannya sehingga proses dalam mendapatkan datanya mendekati dengan hasil yang diharapkan. Sebagai bahan evaluasi hasil data eksperimen, peneliti menggunakan dua model perhitungan untuk perbandingan data yang paling mendekati data eksperimen.

Hasil pengujian eksperimen *Terminal ballistic* yaitu *Impact velocity* dan *Residual velocity* digunakan sebagai materi input dalam metode analitik yaitu dengan model Lambert-Zukas dan Model THOR. Selain data *impact velocity* dan *residual velocity*, input dasar yang diperlukan adalah data dimensi proyektil dan dimensi plat baja yang digunakan. Tebal plat baja 0,8cm, Diameter proyektil 1,298 cm, Sudut *Impact* (rad)0, Panjang proyektil 5,867 cm, dan Berat proyektil 45,9 gram. Konstanta yang digunakan pada perhitungan model THOR

Tabel 3. Konstanta untuk model THOR

α	β	ϕ	γ	λ
0,889	-0,945	0	1,262	0,019

Sumber: (Deniz,2010)

Tabel 4. Perbandingan residual velocity

<i>Impact velocity</i> (m/s)	<i>Residual Velocity</i> (m/s)		
	Eksperimen	Lambert-zukas	THOR
V1			
	V2	V2.1	V2.2
851,96	729,09	701,01	707,84

Sumber: diolah peneliti, 2021

Dengan melihat data dari tabel, hasil perhitungan model analitik tidak berbeda jauh dengan eksperimen, dimana pada Lambert-zukas prosentase variabilitasnya 4,01% sementara THOR prosentasenya 3%. Hasil perbandingan *Residual velocity* antar metode menunjukkan bahwa prosentase variabilitas yang didapatkan cukup kecil terutama pada model THOR yaitu sebesar 3%. Hal ini membuat model analitik dalam perhitungan *Residual velocity* cukup sesuai dalam memperkirakan hasil dalam eksperimen. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa metode analitik dapat digunakan dalam data awal sebelum melakukan eksperimen, sehingga variabel yang diperlukan dapat diminimalisir untuk mendapatkan data yang tidak tersedia dalam model analitik (Deniz,2010). Selain itu model analitik dapat digunakan sebagai konfirmasi bahwa eksperimen yang telah dilakukan mendapatkan data yang sesuai

Selain data *residual velocity*, perhitungan analitik juga digunakan dalam memprediksi *Velocity ballistic limit*, yang dimana merupakan kecepatan *impact* minimum agar proyektil tidak mampu menembus material sasaran. Data ini diperlukan untuk memprediksi kemampuan maksimum dari material baja dalam menahan energi kinetik dari proyektil. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Ballistic limit Velocity

No	V _{i.1} (Lambert-zukas)	V _{i.2} (THOR)
1	432,76	458,11

Sumber: diolah peneliti, 2021
 Model perhitungan model analitik ini kemudian dikembangkan untuk memprediksi *residual velocity* proyektil dengan variabel *impact velocity*. Data referensi pada **tabel 4** dan **tabel 5** merupakan acuan dalam perhitungan *residual velocity* dari model Lambert-zukas dan THOR dengan variabel *velocity impact* antara 400 sampai 850 m/s.

Penggunaan variabel ini digunakan untuk mengetahui kemampuan munisi melakukan penetrasi di berbagai kecepatan *impact* yang dapat diasosiasikan dengan jarak jangkauan perkenaan.

Tabel 6. Prediksi *residual velocity* dengan variabel *impact velocity*

V ₁ (m/s)	V _{2.1} (m/s)	V _{2.2} (m/s)
400	NP	NP
450	165,06	NP
500	231,73	357,33
550	298,39	407,07
600	365,06	456,83
650	431,73	506,62
700	498,39	556,41
750	565,06	606,23
800	631,73	656,05
851,96	701,01	707,84

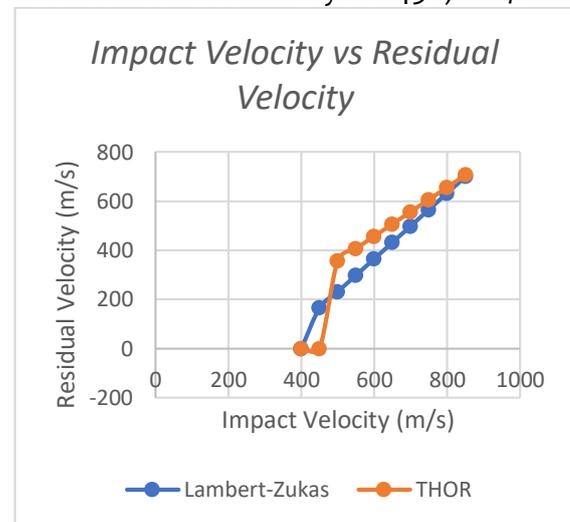
*NP=no perforation

Sumber: diolah peneliti, 2021

Dari **tabel 6**, terjadi penurunan kecepatan yang sudah didapatkan maka diketahui bahwa semakin tinggi *impact velocity* yang diterima oleh material bisplate 400, nilai penurunan kecepatannya juga semakin besar. Hal ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya dimana pengaruh *impact velocity* yang semakin besar memberikan efek terhadap penurunan kecepatan proyektil saat menembus

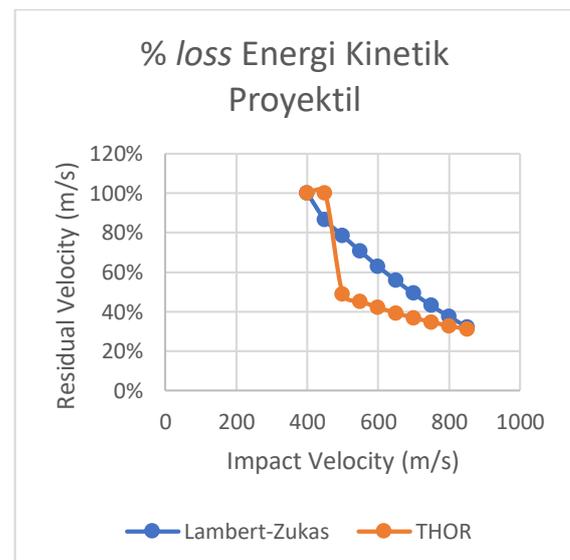
sasaran (Buchelly & Maranon, 2020). *Impact velocity* yang besar akan menghasilkan energi kinetik yang lebih besar dan secara matematis akan menghasilkan angka *residual velocity* yang lebih besar sesuai referensi (Haque & Gillespie, 2013).

Tabel 6, menjelaskan bahwa dengan model Lambert-zukas, *residual velocity* masih dapat dihitung hingga kecepatan 450m/s, sedangkan untuk model THOR sudah tidak bisa karena lebih kecil dari *ballistic limitnya* di 458,11 m/s



Grafik 1. Impact velocity vs Residual velocity

Sumber: diolah peneliti, 2021



Grafik 2. Impact velocity vs energi yang diserap oleh material sasaran

Sumber: diolah peneliti, 2021
Grafik 1 dan grafik 2 menampilkan data bahwa semakin tinggi impact velocity proyektil munisi ke material sasaran akan membuat *residual velocity* yang dihasilkan juga semakin tinggi. Selain itu jumlah energi yang diserap oleh material plat baja akan semakin tinggi jika *impact velocity* proyektil makin kecil.

Kesimpulan

Model perhitungan analitik dapat digunakan dalam prediksi hasil *residual velocity* proyektil munisi, dimana tingkat akurasi dibandingkan dengan data eksperimen cukup baik. Sehingga tingkat kepercayaan dari model analitik yang digunakan yaitu Lambert-zukas dan THOR dapat diteruskan dalam penelitian selanjutnya. Hasil variabilitas nilai *residual velocity* antara data eksperimen dan model analitik berada di kisaran 3-4%, menunjukkan bahwa model analitik cukup baik dalam memprediksi *residual velocity* proyektil munisi. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan, baik terkait penggunaan variabel proyektil yang berbeda, maupun penggunaan material sasaran yang berbeda. Selain itu, pembuktian hasil perhitungan model analitik yang dikonfirmasi dengan eksperimen untuk memastikan nilai *ballistic limit* yang dihasilkan juga menarik untuk dikaji lebih dalam.

Daftar Pustaka

Basyir, A., Bura, R. O., & Lesmana, D. (2019, Juli). Experimental Consideration of Projectile Density and Hardness Effect on Its Penetration Ability in Alumina Target. *Journal of Defense Acquisition and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 9-15.

- Buchelly, M., & Maranon, A. (2020). Spherical Cavity Expansion Approach for the Study of Rigid-Penetrator's Impact Problems. *Applied Mechanics MDPI*.
- Carlucci, D. E. (2018). *Ballistics*. New York: CNC Press.
- Deniz, T. (2010). *Ballistic penetration of hardened steel plates*. metu. Retrieved from Metu.edu.
- Haque, B., & Gillespie, J. W. (2013). A New Penetration Equation for Ballistic Limit Analysis. *Journal of Thermoplastic Composite Material*.
- Mubashar, A., Uddin, E., Anwar, S., Arif, N., Haq, S. W., & Chowdhury, M. (2019). Ballistic response of 12.7 mm armour piercing projectile against perforated armour developed from structural steel. *J Materials: Design and Applications* Vol. 233, pp. 1993-2005.
- Rajagopal, A., & Naik, N. K. (2014). Oblique ballistic impact behavior of composites. *International Journal of Damage Mechanics*.
- Rosenberg, & Dekel. (2012). *Terminal ballistics*. New York: Springer.
- Sikarwar, V. R., & Gupta, N. (2010). Analytical modelling for ballistic perforation of angle-ply and hybrid composite laminates. *IMPLAST*. Providence.
- STANAG-4241. (2018). *Bullet Impact Munition Test Procedures*. NATO-North Atlantic Treaty Organization.
- STANAG-4383. (2001). *12.7mm (.50) Ammunition Packed As Linked Belts*. NATO.
- Woodward. (1977). A Rational basis for the selection of armour materials. *The journal of Australian Institute of metals*, 395-414.