

OPTIMASI KEMAMPUAN COMBAT MANAGEMENT SYSTEM MANDHALA PADA PROYEKTIL OTO MELARA 76 MM PADA PARAMETER HAMBAT BALISTIK EKSTERNAL

OPTIMALIZATION COMBAT MANAGEMENT SYSTEM'S CAPABILITY ON PROJECTILE NAVAL GUN OTO MELARA 76 MM ON DRAG PARAMETER EXTERNAL BALLISTIC

Muhammad Abdul Qohhar¹, Djoko Andreas Navalino², I Nengah Putra³

UNIVERSITAS PERTAHANAN
qohhar99@gmail.com

Abstrak – Kemampuan Combat Management System (CMS) Mandhala, CMS Nasional, perlu ditingkatkan guna mendukung ketercapaian MEF Renstra agar mampu menciptakan efek gentar dan kemandirian Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan (Alpalhankam). CMS yang digunakan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut (TNI AL) sebagai sarana kelengkapan pertempuran yang mengintegrasikan sistem deteksi dan sistem persenjataan. CMS Mandhala dikembangkan oleh PT LEN, perlu dioptimalkan kemampuannya agar mampu bersaing dengan CMS luar negeri. Penelitian ini meninjau lebih lanjut pada CMS Mandhala dengan meningkatkan kemampuan pada aspek balistik eksternal dengan analisis numerik parameter-parameter pada konsisi intern dan ekstern untuk meningkatkan kemampuan CMS Mandhala. Sehingga solusi persamaan balistik eksternal yang digunakan, mampu memberikan nilai dalam mengenai target lebih presisi dan akurat. Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah Meriam Oto Melara 76mm yang dimiliki TNI AL pada Kapal Perang Republik Indonesia (KRI). Penelitian ini mengimplementasikan solusi persamaan matematis Chudinov dengan memunculkan hasil persamaan baru kemudian digunakan perangkat Matrix Laboratory (Matlab) untuk memunculkan hasil fungsi persamaan. Output yang digunakan adalah penentuan elevasi balistik, tinggi maksimum proyektil pada lintasan trayektori, dan waktu tempuh proyektil. Dengan meningkatnya kemampuan CMS Mandhala, diharapkan mampu memberikan pertimbangan dan rekomendasi kepada Pemerintah dan TNI AL untuk menggunakan produk dalam negeri.

Kata Kunci: Balistik Eksternal, Combat Management System Mandhala, Meriam Oto Melara 76 mm, Parameter hambatan, Persamaan Chudinov.

Abstract – The ability of Combat Management System (CMS) Mandhala, the National CMS, needs to be improved to support the MEF Renstra's achievement in order to be able to incur deterrence effect and also improve the independence of defense and security's equipment (re: Alpalhankam). The CMS is used by the Indonesian Navy (re: TNI AL) as a sea warfare equipment system that integrates detection systems and weapon systems. CMS Mandhala that developed by PT LEN, needs to be optimized to compete with overseas CMS. This research reviews furtherly about CMS Mandhala by optimizing capabilities in external ballistic with aspect by analyzing numerical parameters in internal and external conditions to enhancing the CMS Mandhala's capability. At last, the solution of equation's external ballistic, is about able to give probabilities to provide value that regarding the target more precisely and accurately. Case study that used in this research is naval gunfire Oto Melara 76 mm owned by Indonesian Navy Ship (re: KRI). This research is implementing the Chudinov's mathematical equation

¹ Program Studi Teknologi Persenjataan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

² Program Studi Teknologi Persenjataan, Fakultas teknologi Pertahanan, Universitas pertahanan

³ Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

to observe the results of the new equation and then using software Matrix Laboratory (Matlab) to plot the function's results in its equation. The output in this reasearch is determining ballistic elevation, maximum high of projectile on trajectory, and time travel of projectile. With this increased capability of CMS Mandhala, it could be expected to to provide consideration and recommendations for government and Indonesian Navy to use this domestic CMS.

Keywords: External Ballistic, Combat Management System Mandhala, Chudinov's Equation, Drag Parameter, Naval Gun Oto Melara 76 mm

Pendahuluan

Perkembangan zaman yang semakin kompleks dan dinamis, menuntut suatu negara untuk terus meningkatkan pertahanan negaranya agar mampu terus menyesuaikan kebutuhan zaman terhadap penangkalan Ancaman, Tantangan, Hambatan, dan Gangguan (ATHG)⁴.

Maka atas dasar hal tersebut, pada tahun 2010 pemerintah mencanangkan sebuah program yaitu *Minimum Essential Force* (MEF) yang diperuntukkan kepada Tentara Nasional Indonesia (TNI) sebagai garda terdepan dalam menjaga Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI)⁵. Tidak hanya itu, untuk memperkuat pemenuhan MEF tersebut, pemerintah juga menegaskan landasan yuridis yang mengatur mengenai Industri Pertahanan Dalam Negeri (Indhandagri) guna mendukung perwujudan dukungan

terhadap TNI khususnya dalam bentuk Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan (Alpalhankam)⁶.

Terbitnya MEF tersebut, seolah memberikan dorongan bagi PT LEN selaku Indhandagri untuk mengembangkan sebuah perangkat dalam pemenuhan MEF tersebut, sehingga PT LEN mengembangkan *Combat Management System* Nasional (re: CMS Mandhala). Berdasarkan perkembangannya, CMS Mandhala telah banyak berkiprah dalam mendukung pemenuhan Alpalhankam. Terbukti beberapa KRI sudah dimodernisasi dengan menggunakan CMS Mandhala khususnya pada bagian Konsol Multifungsi (KMF) dan *Terminal Integration System* (TIS). Namun dalam perkembangannya, proyek CMS Mandhala berhenti pada tahun 2015. Indikasinya adalah CMS Mandhala perlu ditingkatkan kemampuannya agar

⁴ Kementerian Pertahanan. Postur Pertahanan Negara. (Jakarta: 2015), hlm. 36

⁵ Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. Buku Putih Pertahanan Indonesia. (Jakarta: 2008), hlm, 39

⁶ Undang-Undang No. 16 Tahun 2012 mengenai Industri Pertahanan.

mampu bersaing dengan CMS Luar Negeri⁷. Indikasi ini dapat dirujuk pada salah satu penyebab yang dihadapi oleh PT LEN adalah perlu adanya peningkatan kemampuan kalibrasi ulang pada persamaan balistik yang digunakan pada studi kasus meriam Oto Melara 76 mm yang dominan digunakan pada Kapal Perang Republik Indonesia (KRI)⁸.

Meriam Oto Melara 76 mm sendiri merupakan jenis meriam yang memiliki kaliber 76 mm yang digunakan kapal perang untuk pertahanan aktif anti permukaan⁹. Spesifikasi umum meriam ini memiliki berat proyektil 6,3 kg; *rate of fire* mencapai 120 peluru/menit; serta kecepatan *muzzle* 900 m/s¹⁰.

Kemudian merujuk pada kajian balistik proyektil. Balistik sendiri merupakan studi yang mempelajari

mengenai perilaku proyektil dari berada di dalam laras hingga mengenai target¹¹. Sedangkan balistik eksternal sendiri merupakan kajian teoritis matematis yang mengkaji proyektil dari keluar dari ujung laras (*muzzle*) hingga tepat sebelum mengenai target yang berada pada lintasan trayektori medium udara¹².

Ketika proyektil keluar dari *muzzle*, banyak sekali kondisi yang mempengaruhi proyektil¹³. Tekanan atmosfer akan mempengaruhi momen *spin-damping* proyektil, gaya-gaya hambat akan mempengaruhi percepatan proyektil, dan lain-lain dan ini bersifat sangat kompleks¹⁴. Kasus paling sederhana, proyektil sebagai titik massa benda yang terbang pada lintasan trayektori beredar pada ruang hampa, tidak akan mengalami gaya eksternal

⁷ Erik Jonedi, "Prospek Alih Teknologi Combat Management System (CMS) dalam Kerjasama antara Thales Belanda dengan PT. LEN Industri", Tesis, 2016, Program Magister Manajemen Pertahanan, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan.

⁸ Asep Taufik, "Implementasi Supply Chain Management dalam Pengembangan Proyek Combat Management System di PT. XYZ untuk Mendukung KRI TNI Angkatan Laut". Tesis. (2018), Program Magister Ekonomi Pertahanan, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan.

⁹ L. Chaffois., F. Gallicia., G. Bersano., "DART Projectile – IM tests Assesment", IMEMTS, 2015.

¹⁰ *Manual Handbook*. Oto Melara SRGM 76 mm. Italy.

¹¹ Ibraheem Raza Khan, "Study of Internal & Exterenal Ballistics for .177 cal & .22 cal

Projectiles", BE Students, Department of Mechanical Engineering. International Journal for Scientific Research & Development, Vol. 5, Issue 07, 2017.

¹² McCoy R.L., "Modern Exterior Ballistics", Schiffer Military History, Antgen, PA, 1999.

¹³ Mehmet Akçay, "Development of Universal Flight Trajectory Calculation Method for Unguided Projectiles", Technical and Project Management Department of Turkish Land Forces Command, Ankara, Turkey, 2004.

¹⁴ Shouryya Ray., Jochen Fröhlich., "An Analytical Solution to The Equations of The Motion of a Point Mass with Quadratic Resistance and Generalizations", Institut für Strömungsmechanik, Technische Universität Dresden, George-Bähr-Straße 3c, D-01062 Dresden, Germany.

yang bekerja¹⁵. Sehingga penyelesaian solusi persamaan pada kasus ini sedikit lebih mudah. Kemudian, kasus eksternal balistik memperkenalkan gaya-gaya eksternal yang bekerja sehingga solusi persamaan menunjukkan prediksi proyektil mengenai target dengan lebih presisi dan akurat¹⁶.

Pada balistik eksternal, terdapat dua klasifikasi kondisi yang mempengaruhi kompleksitas perhitungan¹⁷. Yaitu kondisi intern dan kondisi ekstern. Kondisi intern proyektil merupakan kondisi dimana proyektil terpengaruh oleh proyektil itu sendiri seperti misal gaya hambat proyektil, *overturning moment*, *magnus force*, *spin-damping moment*, dan lain-lain¹⁸. Kondisi ekstern mengindikasikan terdapat pengaruh lingkungan yang mempengaruhi gerak proyektil pada lintasan trayektori seperti misal pengaruh angin, pergerakan target, tekanan udara, massa jenis udara, dan lain-lain¹⁹. Pengaruh kondisi-kondisi inilah yang

memberikan kompleksitas pada solusi persamaan balistik eksternal berikut yang akan diteliti.

Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode kuantitatif numerik²⁰. Penentuan dasar rumus ditentukan dengan modifikasi solusi persamaan matematis balistik eksternal dengan penambahan parameter kondisi intern berupa keterpengaruhan gaya hambat dan kondisi ekstern berupa keterpengaruhan parameter-parameter yang berlaku. Parameter pada kondisi ekstern berupa kecepatan *muzzle*, kecepatan angin, suhu udara pada permukaan laut, tekanan udara pada permukaan laut, jenis proyektil yang digunakan, massa proyektil, kecepatan penembakan dari kapal. Parameter-parameter ini kemudian dikonversi pada regresi spasial untuk penentuan nilai derajat elevasi dalam akumulasi terhadap elevasi aktual pada persamaan matematis yang digunakan.

¹⁵ Murphy CH., "Free Flight Motion of Symmetric Missiles", Ballistic Research Laboratory Report No. 216, Aberdeen proving Ground, MD, 1963.

¹⁶ Hainz LC, "Modified Projectile Linear Theory for Rapid Trajectory Prediction". Journal of Guidance, Control, and Dynamics. Oregon State University, Vol.28, 2017, No.5.

¹⁷ McShane EJ., Kelley, JL., and Reno, FV., "Exterior Ballistic", University of Denver Press, Denver, CO, 1953.

¹⁸ Nicolaides JD., "On the Free Flight Motion of Missiles Having Slight Configurational Asymmetries", Ballistics Research Laboratory Report No. 858, Aberdeen Proving Ground, MD, 1953.

¹⁹ Carlucci, DE., Jacobson, SS. "Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition". CRC Press: United States. 2018. Page: 169-305

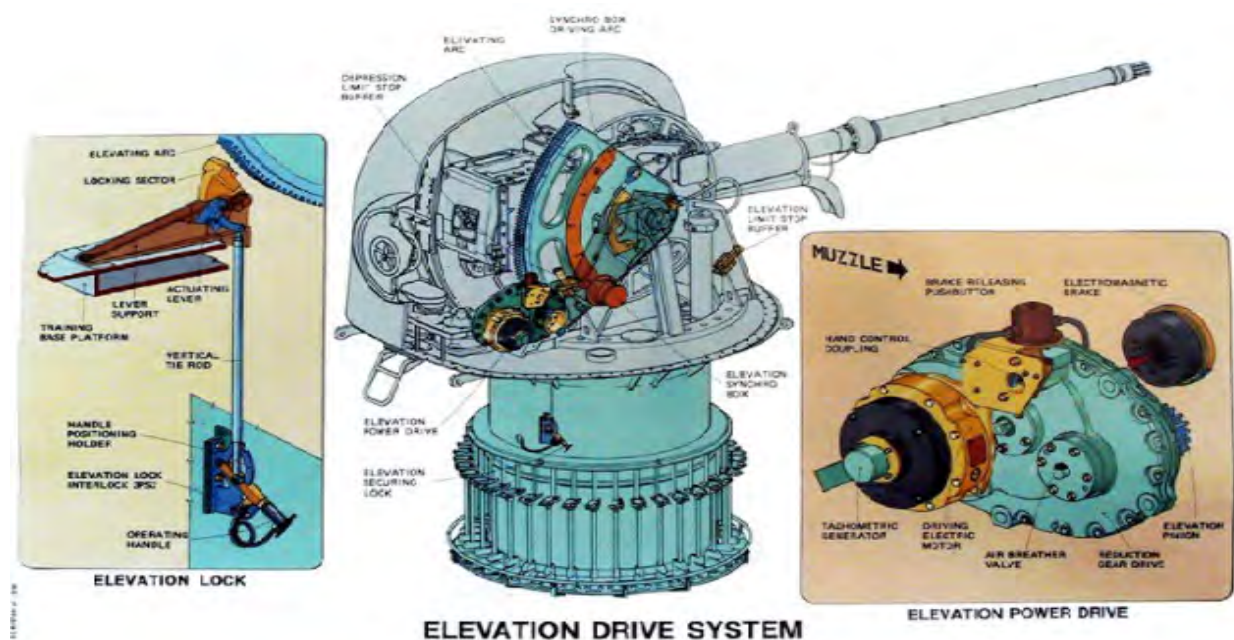
²⁰ Schild F, "Numerical Analysis". McGraw Hill International Editions: Singapore. 1983.

Pada penentuan hasil, digunakan hasil output berupa penentuan sudut elevasi balistik, ketinggian maksimum pada lintasan trayektori, dan waktu tempuh proyektil pada masing-masing sumber. Yaitu PT LEN, TNI AL, dan Peneliti.

Pada penelitian ini, digunakan solusi persamaan Chudinov untuk selanjutnya dimodifikasi sesuai dengan studi kasus penelitian²¹. Dasar digunakannya solusi persamaan matematis ini adalah homogenitas studi kasus penelitian. Yaitu pada persamaan gerak proyektil pada lintasan trayektori

Solusi Persamaan Chudinov
Metode Chudinov daproksimasi berdasarkan permasalahan yang muncul pada proyektil yang bergerak bersamaan dengan kondisi ekstern yang berpengaruh pada hambatan yang terjadi diudara. Yakni gaya hambat yang berngaruh terhadap gerak proyektil. Persamaan gerak diturunkan berdasarkan penurunan persamaan gerak dari Hukum ke-II Newton:

$$ma = mg + R$$

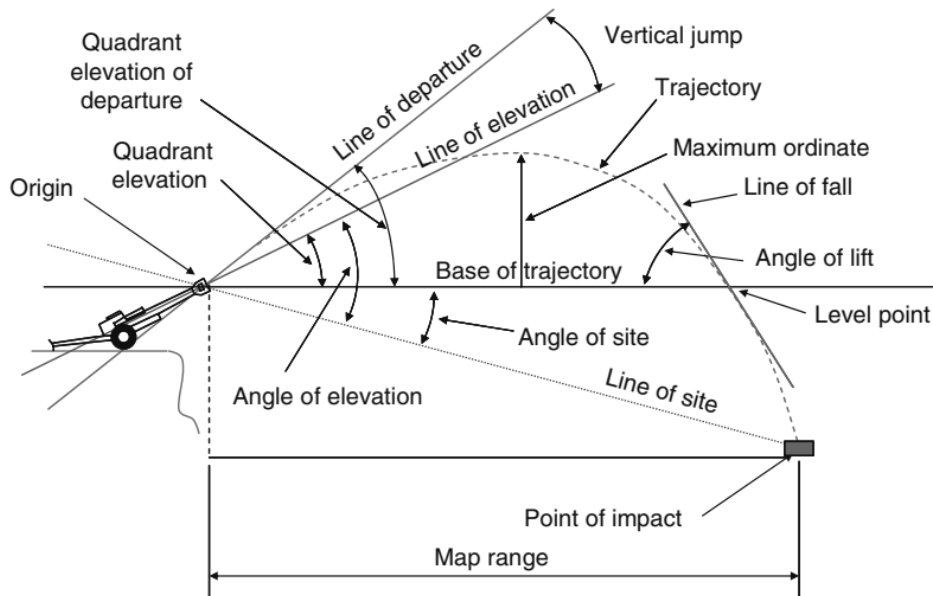


Gambar 1. Spesifikasi Oto Melara 76 mm
Sumber: *Manual Book of Naval Gunfire 76mm*, 2006

dimana pada medium udara terdapat

²¹ Peter S Chudinov, "Approximate Analytical Investigation of Projection Motion in A Medium with Quadratic Drag Force",

International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, Perm State Agricultural Academy, Perm, Russia. 2002.



Gambar 2. Elemen Trayektori pada Balistik Eksternal
 Sumber: Carlucci, 2013

Dimana R adalah persepsi dari gaya hambat yang berpengaruh terhadap proyektil (diberikan dengan persamaan $R = m g k V^2$), g adalah percepatan gravitasi, k adalah notasi proporsional yang mendefinisikan nilai koefisien hambat, dan V adalah kecepatan proyektil. Dengan persamaan gerak yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\frac{dV}{dt} = -g \sin \theta - g k V^2$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{g \cos \theta}{V}$$

$$\frac{dx}{dt} = V \cos \theta$$

$$\frac{dy}{dt} = V \sin \theta$$

Sehingga pendekatan eksplisit didapatkan solusi persamaan:

$$V(\theta) = \frac{V_o \cos \theta_o}{\cos \sqrt{1 + k V_o^2 \cos^2 \theta_o (f(\theta_o) - f(\theta))}}$$

Dimana

$$f(\theta_o) = \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} + \ln \tan \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{4} \right)$$

$$t = t_o - \frac{1}{g} \int_{\theta_o}^{\theta} \frac{V}{\cos \theta} d\theta$$

$$x = x_o - \frac{1}{g} \int_{\theta_o}^{\theta} V^2 d\theta$$

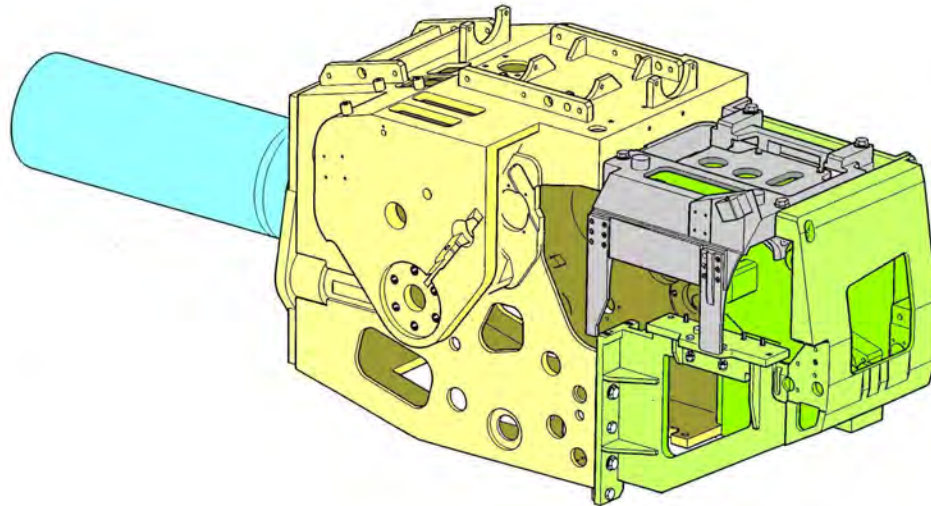
$$y = y_o - \frac{1}{g} \int_{\theta_o}^{\theta} V^2 \tan \theta d\theta$$

Hasil dan Pembahasan

Elevating Mass pada Gun Mount Oto

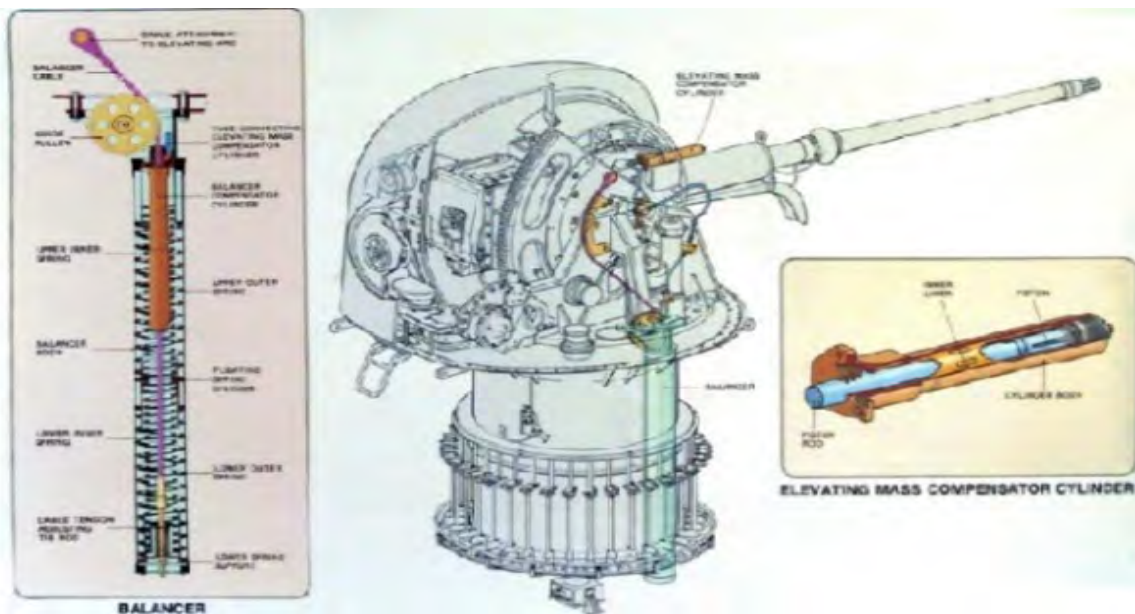
Melara 76 mm

Elevating mass merupakan salah satu bagian yang ikut bergerak ketika laras meriam digerakkan. Pergerakan *elevating*



BERCEAU

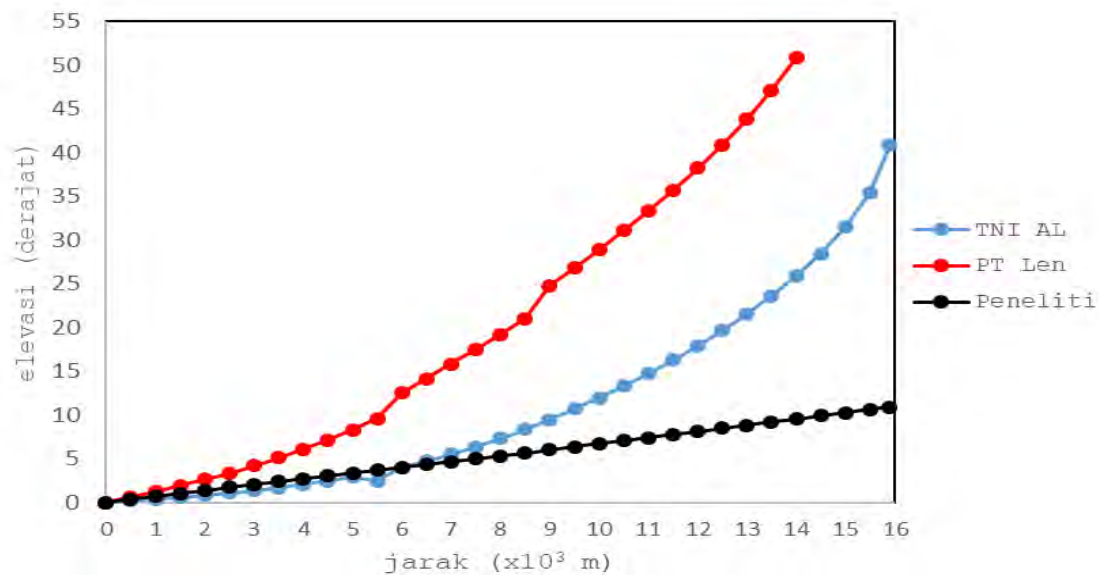
Gambar 4. Cradle pada Elevating Mass
 Sumber: Manual Book of Naval Gunfire 76 mm, 2006



Gambar 3. Balancing Mechanism dan Compensator
 Sumber: Manual Book of Naval Gunfire 76 mm, 2006

mass dipengaruhi oleh power drive dengan memutar bagian pinion yang giginya berhubungan langsung dengan gigi pada elevating arc yang terpasang tetap pada cradle. Elevating mass juga dapat digerakkan secara manual. Peralatan mechanical locking digunakan untuk mengunci elevasi menggunakan tangan.

Cradle adalah penunjang bagi semua komponen mekanik yang mengikuti pergerakan elevasi. Cradle merupakan sebuah kerangka yang terbuat dari aluminium alloy dan terangkai dengan sebuah tabung pada bagian depan dan sebuah extended box shape pada bagian belakang yang didalamnya terdapat recoiling mass. Bagian extended box



Gambar 5. Sudut Elevasi terhadap jarak
 Sumber: Peneliti, 2020

shaped ini terbagi menjadi 2 bagian: setengah bagian depan tersambung ke tabung *cradle* dan setengah bagian belakang terhubung dengan *loader drum* dan *loading tray housing system*.

Sudut Elevasi Balistik

Pada penentuan elevasi balistik, diilustrasikan pada gerak parabola yang berlaku pada suatu benda dengan proyeksi dua dimensi pada sumbu x dan sumbu y sebagai berikut:

$$x = V_{0x} t ; V_0 \cos(\alpha - \psi)$$

$$y = y_0 + V_{0y} t \pm \frac{1}{2} g t^2$$

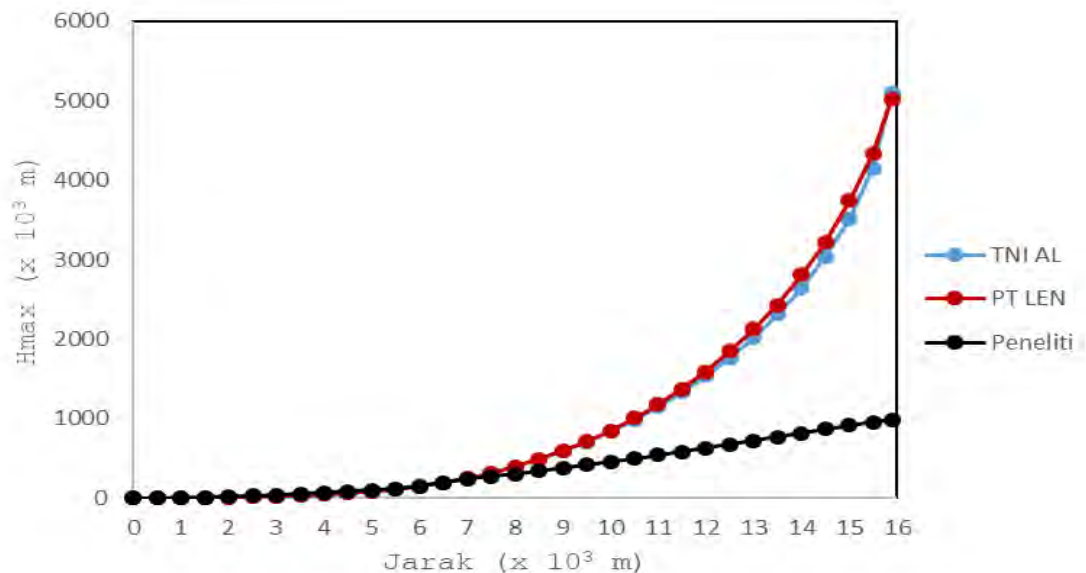
Dengan α adalah elevasi proyektil; dan ψ adalah definisi kondisi ekstern dari proyektil. Sehingga dengan substitusi hasil sumbu x pada sumbu y didapat

$$y = y_0 + V_0 \sin(\alpha - \psi) \left(\frac{x}{V_0 \cos(\alpha - \psi)} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{V_0 \cos(\alpha - \psi)} \right)^2$$

Dan didapat solusi persamaan elevasi sebagai berikut

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{gx}{V_0^2} \right) + \psi$$

Grafik diatas menunjukkan sudut elevasi dari TNI AL, PT Len, dan peneliti berbeda. Perbedaan didasarkan pada penentuan sudut elevasi, diindikasikan bahwa terdapat perbedaan dalam analisis parameter hambat dari masing-masing hasil sehingga nilai elevasi yang muncul pada hasil grafik berbeda. Dari grafik diatas jelas bahwa nilai sudut elevasi terbesar pada PT Len dikarenakan, kemungkinan dalam penggunaan analisis parameter ekstern hambat pada proyektil, masih sederhana dalam mendiskripsikan target. TNI AL dalam mengindikasikan elevasi terhadap perkenaan target, telah mempertimbangkan parameter ekstern



Gambar 6. Ketinggian Maksimum
Sumber: peneliti, 2020

seperti kecepatan muzzle, kecepatan angin, suhu udara di permukaan laut, tekanan udara di permukaan laut, jenis proyektil, massa proyektil, pergerakan kapal, dan pergerakan target dalam menentukan posisi target dengan regresi spasial sehingga kemampuan identifikasi target lebih akurat. Hasil peneliti didapatkan berdasarkan kemampuan proyektil dengan penurunan dan substitusi dari gerak parabola proyektil yang digunakan untuk penentuan elevasi aktual dan kemudian disumasi dengan parameter ekstern sebagaimana pada perhitungan TNI AL sebagai elevasi variasi berdasarkan kondisi varian permukaan laut.

Ketinggian Maksimum Proyektil pada Lintasan Trayektori

Dalam penentuan ketinggian maksimum, digunakan metode Chudinov sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$H_{max} = \frac{V_o^2 \sin^2(\alpha - \psi)}{g (2 + k V_o^2 \sin(\alpha - \psi))}$$

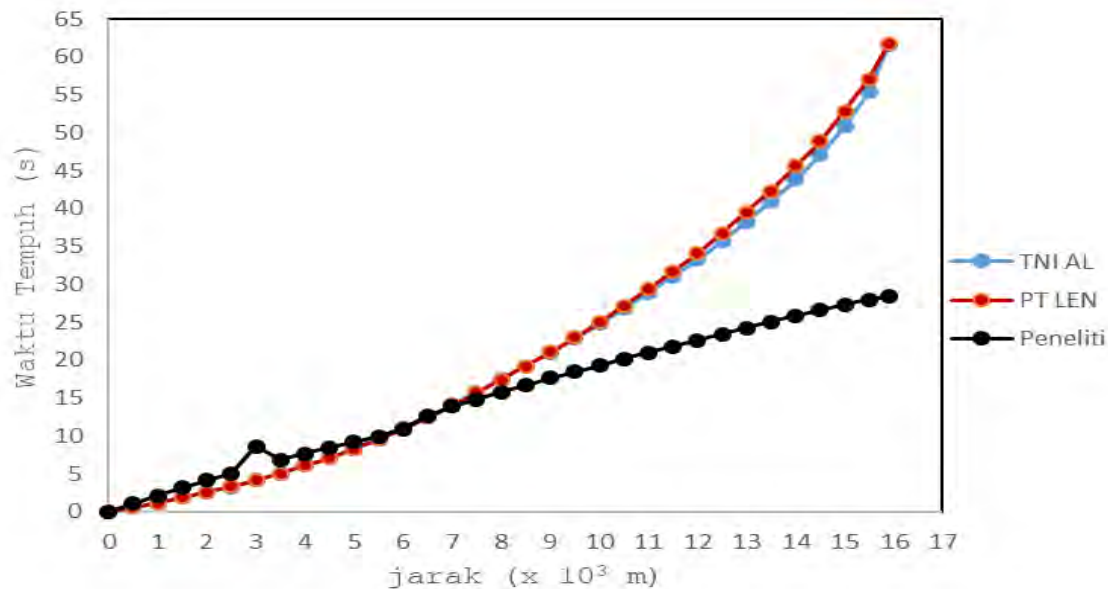
Untuk menyederhanakan persamaan diatas sesuai dengan kondisi proyektil yang disesuaikan dengan kondisi proyektil pada elevasi di persamaan (14), substitusi persamaan (14) ke persamaan diatas menjadi:

$$H_{max} = \frac{g x^2}{V_o^2 (2 + k g x)}$$

Dimana k adalah notasi proporsional yang mendefinisikan variabel hambat pada proyektil dengan definisi

$$k = \frac{\rho_a C_D S}{2 m g}$$

Maka, solusi persamaan pada ketinggian maksimum proyektil pada lintasan trayektori adalah



Gambar 7. Waktu Tempuh Projektil
 Sumber: Peneliti, 2020

$$H_{max} = \frac{g x^2}{V_0^2 \left(2 + \frac{\rho_a C_D S x}{2 m} \right)}$$

Data ketinggian maksimum menunjukkan ketinggian maksimum pada TNI AL dan PT LEN berada pada lintasan grafik yang hampir sama yaitu pada ketinggian dengan nilai ketinggian maksimum pada TNI AL bernilai 5.091 m dan pada PT LEN 5.022,92 m di jarak 15.900 m dari target. Sedangkan peneliti mendapatkan hasil ketinggian maksimum yang berbeda dengan hasil ketinggian maksimum 989,78 m pada jarak target 15.900 m. Berdasarkan hasil persamaan pada sudut elevasi, sudut elevasi bernilai sejajar terhadap dengan ketinggian maksimum. Sehingga, semakin kecil sudut elevasi yang didapat, maka semakin rendah ketinggian maksimum proyektil yang berada pada trayektori.

Waktu Tempuh Projektil

penentuan peneliti didasarkan pada modifikasi persamaan Chudinov yang berkorelasi dengan hasil persamaan pada penentuan ketinggian maksimum dimana waktu tempuh proyektil merupakan akar kuadrat dari nilai ketinggian maksimum. Definisi persamaan sebagai berikut:

$$T = 2 \sqrt{\frac{2H_{max}}{g}} \quad (19)$$

Dengan substitusi solusi persamaan ketinggian maksimum, maka solusi persamaan matematis pada waktu tempuh proyektil adalah

$$T = 2 \sqrt{\frac{2 \left(\frac{g x^2}{V_0^2 \left(2 + \frac{\rho_a C_D S x}{2 m} \right)} \right)}{g}} \quad (20)$$

$$T = 2 \sqrt{\frac{2 x^2}{V_0^2 \left(2 + \frac{\rho_a C_D S x}{2 m} \right)}} \quad (21)$$

Hasil grafik menunjukkan waktu tempuh peneliti lebih cepat daripada hasil waktu tempuh TNI AL dan PT LEN dengan nilai waktu tempuh 28,42 detik pada jarak 15.900 m dimana hasil waktu tempuh TNI AL bernilai 61,6 s dan PT LEN 61,7 s. Indikasi ini didasarkan pada pengaruh elevasi yang mendapatkan pengaruh kondisi ekstern, menghasilkan sudut yang lebih kecil daripada hasil TNI AL dan PT LEN. Sehingga ketinggian maksimum yang didapat lebih rendah. Dengan ketinggian yang lebih rendah, didapat waktu yang ditempuh proyektil semakin singkat. Kondisi ekstern berpengaruh signifikan terhadap proyektil khususnya pada perkenaan target. Hal ini terlihat, secara implisit, pada hasil output penelitian yakni terbentuknya sudut elevasi, tingginya maksimum pada lintasan trayektori, dan waktu tempuh proyektil.

Berdasarkan hasil yang didapat, pada jarak 3000 m, grafik peneliti menemukan adanya simpangan nilai dalam hasil real value. Dan hasil solusi persamaan matematis peneliti ditentukan jarak efektif waktu tempuh proyektil terletak pada jarak 7000-8000 m dengan perbandingan minimum error hasil output dari TNI AL sebagai pembanding utama/rujukan utama penelitian. Dan

jarak setelah 8000 m mulai menunjukkan adanya perbedaan dengan yang dihasilkan oleh PT LEN dan tabel penembakan oleh TNI AL. Pada jarak tersebut, hasil grafik TNI AL dan PT LEN cenderung menunjukkan makna grafik eksponensial maksimum sedangkan peneliti mendapatkan hasil grafik yang proporsional. Peneliti mengindikasikan bahwa perbedaan muncul akibat dampak korelatif dari pengaruh penentuan elevasi balistik dan ketinggian maksimum proyektil pada lintasan trayektori. Dan faktor yang mempengaruhi grafik peneliti yang proporsionalitas tersebut ada pada pengaruh kondisi intern berupa koefisien hambat dan ekstern berupa delapan parameter yang telah disebutkan.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Hasil solusi persamaan matematis dengan pengujian *real value variables* pada output menunjukkan hasil yang signifikan jika dibandingkan dengan data yang dihasilkan oleh PT LEN. Perbedaan menunjukkan karena PT LEN belum mempertimbangkan adanya koefisien hambat dan keterpengaruhan kondisi ekstern pada proyektil. berdasarkan hasil output yang didapat, elevasi berpengaruh terhadap tinggi maksimum dan waktu tempuh proyektil. semakin

kecil sudut elevasi yang dihasilkan, semakin rendah ketinggian maksimum, sehingga waktu tempuh proyektil semakin singkat. Hasil persamaan menunjukkan jarak efektif pada output terletak pada jarak 7.000-8.000 m terhadap hasil tabel penembakan user/TNI AL sebagai rujukan utama penelitian.

Penelitian hanya berfokus kepada pengujian proyektil yang berkenaan dengan medium udara pada kondisi parameter *ekstern* sehingga mempengaruhi sudut elevasi, ketinggian maksimum, dan waktu yang ditempuh proyektil pada proyeksi dua dimensi. Perlu adanya tinjauan lebih lanjut pada kondisi balistik internal dan kondisi *intern* proyektil meriam Oto Melara 76 mm. Kondisi *intern* meliputi *spin-damping moment*, *lift force*, *overturning moment*, *magnus force*, dan *pitch-damping force* yang berfokus kepada penyelesaian persamaan gerak pada enam derajat kebebasan (6-DOF). Selain itu, tinjauan lebih kompleks pada bagian balistik eksternal pada meriam Oto Melara 76 mm juga perlu dianalisis lebih lanjut seperti kondisi *barrel*, *breechblock*, *muzzle*, *propellant* dari proyektil.

Daftar Pustaka

Buku

- Carlucci, DE., jacobson, SS. (2018). *“Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition”*. CRC Press: United States. Page: 169-305.
- Joned, Erik. (2016). *Prospek Alih Teknologi Combat Management System (CMS) dalam Kerjasama antara Thales Belanda dengan PT. LEN Industri*. Tesis. Program Magister Manajemen Pertahanan, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2018). *Buku Putih Pertahanan Indonesia*. Jakarta. Hlm, 39
- Kementerian Pertahanan. (2015). *Postur Pertahanan Negara*. Jakarta. Hlm. 36.
- L. Chaffois., F. Galicia., G. Bersano. (2015). *“DART Projectile – IM tests Assesment”*, IMEMTS.
- Manual Handbook. (2006). *Oto Melara SRGM 76 mm*. Italy.
- McCoy, RL. (1999). *“Modern Exterior Ballistics”*. Schiffer Military History, Antgen, PA.
- McShane, EJ., kelley, JL., and Reno, FV. (1953). *“Exterior Ballistic”*, University of Denver Press, Denver, CO.
- Taufik, Asep. (2018). *“Implementasi Supply Chain Management dalam Pengembangan Proyek Combat Management System di PT. XYZ untuk Mendukung KRI TNI Angkatan Laut”*. Tesis. Program Magister Ekonomi Pertahanan, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan.

Schild, F. (1983). *Numerical Analysis*. McGraw Hill International Editions: Singapore.

Jurnal

Akçay, Mehmet. (2018). "Development of Universal Flight Trajectory Calculation Method for Unguided Projectiles", Technical and Project Management Department of Turkish Land Forces Command, Ankara, Turkey, 2004.

Chudinov, Peter S. (2002) "Approximate Analytical Investigation of Projection Motion in A Medium with Quadratic Drag Force", International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, Perm State Agricultural Academy, Perm, Russia.

Hainz, LC. (2017) "Modified Projectile Linear Theory for Rapid Trajectory Prediction". Journal of Guidance, Control, and Dynamics. Oregon State University, Vol.28, No.5.

Khan, Ibraheem Razaa. (2017). "Study of Internal & External Ballistics for .177 cal & .22 cal Projectiles", BE Students, Department of Mechanical Engineering. International Journal for Scientific Research & Development, Vol. 5, Issue 07.

Nicolaides, JD. (1953). "On the Free Flight Motion of Missiles Having Slight Configurational Asymmetries", Ballistics Research Laboratory Report No. 858, Aberdeen Proving Ground, MD.

Shouryya Ray., Jochen Fröhlich., "An Analytical Solution to The Equations of The Motion of a Point Mass with Quadratic Resistance and Generalizations", Institut für Strömungsmechanik, Technische Universität Dresden, George-Bähr-

Straße 3c, D-01062 Dresden, Germany.

Murphy, CH. (1963). "Free Flight Motion of Symmetric Missiles", Ballistic Research Laboratory Report No. 216, Aberdeen proving Ground, MD.

Peraturan

Undang-Undang No. 16 Tahun 2012 mengenai Industri Pertahanan.

