

# ANALISIS PENGARUH DENSITAS DARI INTI PROYEKTIL BAJA DAN TUNGSTEN CARBIDE – COBALT (WC – 8Co) TERHADAP PENETRASI PROYEKTIL PADA TARGET SILICON CARBIDE (SiC)

## DENSITY EFFECT ANALYSIS OF STEEL AND TUNGSTEN CARBIDE – COBALT (WC – 8Co) PROJECTILE TO PENETRATION ON CERAMIC MATERIAL TARGET, SILICON CARBIDE (SiC)

Abdul Basyir<sup>1</sup>, Romie O. Bura<sup>2</sup>, Denny Lesmana<sup>3</sup>

Program Studi Teknologi Persenjataan, Universitas Pertahanan  
abdulbasyiro37@gmail.com

**Abstrak** - Teknologi *body armor* terus mengalami perkembangan secara simultan. Awalnya material utama dari *body armor* adalah baja, kemudian berkembang menjadi material keramik, karena keramik mempunyai properti *low density*, *high hardness*, dan *high compressive strength*. Salah satu teknologi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performa amunisi adalah dengan menggunakan material yang *high density* dan *high hardness* pada inti proyektil dari amunisi, seperti material *tungsten carbide – cobalt* (WC – 8Co). Berdasarkan hal tersebut, maka akan dilakukan analisis tentang pengaruh substitusi material proyektil inti baja standar Pindad dengan inti WC – 8Co terhadap performa amunisi kaliber 5.56 × 45 pada material target keramik *silicon carbide* (SiC). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang mengacu pada STANAG 4241 dengan melakukan uji balistik. Dari penelitian ini didapat data bahwa untuk material target SiC (1) Proyektil inti WC – 8Co menghasilkan DoP 1.5 kali lebih besar daripada proyektil inti baja standar Pindad, dan (2) Proyektil inti WC – 8Co menghasilkan diameter kawah 1.3 kali lebih besar daripada proyektil inti baja standar Pindad. Data ini menunjukkan bahwa untuk material target SiC, performa penetrasi proyektil yang menggunakan inti WC – 8Co lebih baik daripada performa penetrasi proyektil yang menggunakan inti baja standar Pindad.

**Kata kunci:** WC – 8Co, baja standar Pindad, dan SiC.

**Abstract** - *Body armor technology has continued to develop simultaneously. Initially, the main material of body armor is steel, then developed into ceramic material because ceramics have low density, high hardness, and high compressive strength properties. The development of body armor technology must be balanced with the development of ammunition technology. One of the technologies that can be undertaken to improve the performance of ammunition is to use material which is high density and high hardness in the core of the projectile at ammunition, such as tungsten carbide - cobalt material (WC - 8Co). Based on the explained, this research will analyze regarding effects of material substitution from the Pindad's standard steel core projectile to WC - 8Co core projectile on the performance of 5.56 × 45 caliber ammunition on ceramic material target, silicon carbide (SiC). This study used an experimental method by performing ballistic tests is refer to STANAG 4241. Of this research, we know that for SiC material target (1) projectile of WC – 8Co core produced 1.5 times a depth of penetration greater than Pindad's standard steel core projectile, and (2) projectile of WC – 8Co core produced 1.3 times diameters of the crater bigger than Pindad's standard steel core*

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Persenjataan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>2</sup> Program Studi Teknologi Persenjataan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>3</sup> Divisi Amunisi Bagian Pengembangan dan Proses, PT. Pindad (Persero)

projectiles. These data showed that for SiC material target, the performance of projectile penetration using WC - 8Co core was better than the performance of projectile penetration using the Pindad's standard steel core.

**Keywords:** WC – 8Co, Pindad's standard steel, and SiC.

## Pendahuluan

Lingkungan strategis mengalami perkembangan secara dinamis, sehingga perhitungan yang cepat dan akurat sangat diperlukan dalam melakukan antisipasi terhadap munculnya ancaman.

Salah satu dimensi ancaman adalah ancaman militer yang terdiri dari dua jenis yaitu ancaman militer agresi (konflik di kawasan Laut Natuna Utara, modernisasi kekuatan militer, dan sebagainya) dan ancaman militer bukan agresi (terorisme, pemberontakan bersenjata, dan sebagainya).<sup>4</sup>

Perkembangan teknologi militer (persenjataan, amunisi, body armor, dan sebagainya) merupakan salah satu komponen yang memainkan peran penting dalam setiap terjadinya ancaman militer.

Negara yang mempunyai kesiapan dari aspek teknologi militer akan mempunyai peluang besar untuk memenangkan dan/atau menghalau

ancaman-ancaman yang terjadi. Negara Indonesia telah melakukan antisipasi terhadap dimensi ancaman tersebut dengan membuat dan meningkatkan kekuatan pertahanan militer melalui postur pertahanan negara, terutama postur pertahanan militer.

Salah satu teknologi pertahanan yang mengalami perkembangan adalah teknologi ceramic body armor (CBA). Teknologi CBA ini telah digunakan oleh pasukan militer US sejak tahun 2001 pada Perang Afghanistan dan Perang Irak.<sup>5</sup> Dalam perang tersebut, teknologi CBA ini mampu meredam ancaman small arms dari musuh pasukan militer US.

Teknologi CBA menggunakan *plate* material keramik sebagai material utama dari penyusun *body armor*. Material keramik lebih disukai sebagai *body armor* karena lebih ringan dengan tidak mengurangi sifat kekokohan dari *body armor* tersebut. Sifat ringan dan kokoh tersebut diakibatkan properti material

---

<sup>4</sup> KEMHAN RI, *Postur Pertahanan Negara*, (Jakarta: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, 2014), hlm. 39.

<sup>5</sup> Lehowicz, dkk., *Testing of Body Armor Materials: Phase III*, (Washington: The National Academic Press, 2012), hlm. 3.

keramik yang *low density, high hardness*, dan *high compressive strength*.<sup>6</sup>

Perkembangan dari teknologi *body armor* tersebut perlu diimbangi dengan perkembangan teknologi proyektil. Hal ini diperlukan untuk meningkatkan daya melumpuhkan dan/atau daya mematikan dari suatu amunisi terhadap suatu target. Salah satu upaya yang telah dilakukan yaitu pengembangan teknologi proyektil dengan menggunakan material *tungsten carbide* (WC) sebagai inti dari proyektil tersebut. Seiring perkembangannya, inti material dari WC tersebut kemudian dikombinasikan dengan material *cobalt* (Co) untuk meningkatkan properti *hardness* dan *strength* dari material WC, sehingga menjadi material WC – Co.

Salah satu amunisi yang populer digunakan untuk melumpuhkan dan/atau mematikan personel dari pasukan militer adalah amunisi kaliber kecil 5.56 × 45 mm. Amunisi jenis ini juga merupakan produk yang paling banyak diproduksi oleh PT. Pindad (Persero), BUMNIP di Indonesia. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih amunisi kaliber 5.56 × 45 mm SS109 produksi PT. Pindad (Persero), supaya

performa penetrasi dari amunisi tersebut dapat meningkat, sehingga mampu melakukan penetrasi yang lebih baik terhadap pasukan militer musuh yang menggunakan CBA.

Jenis keramik yang populer digunakan sebagai *body armor* adalah Aluminium Oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Boron Carbide (B<sub>4</sub>C), dan Silicon Carbide (SiC). Diantara ketiga jenis material keramik tersebut, B<sub>4</sub>C lebih keras dan lebih ringan daripada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiC, namun membutuhkan cost yang relatif tinggi dalam proses manufaktur.<sup>7</sup> Menurut National Research Council material keramik *body armor* yang digunakan oleh pasukan militer US adalah material B<sub>4</sub>C dan SiC. Oleh karena itu, material dari target dalam penelitian ini adalah SiC (SSIC) dengan konten SiC mencapai 99.2%.<sup>8</sup>

Berdasarkan beberapa penjelasan diatas, maka peneliti akan melakukan penelitian tentang pengaruh densitas dari inti proyektil baja dan WC – 8Co terhadap suatu material target yaitu SiC. Material baja dipilih sebagai pembanding karena inti proyektil dari amunisi kebanyakan menggunakan material baja. Selain itu

---

<sup>6</sup> Ibid, hlm. 26.

<sup>7</sup> Medvedovski, Eugene., *Advanced Ceramics for Personnel Armor: Current Status and Future*. (Ohio: The American Ceramic Society, 2006), hlm. 4.

<sup>8</sup> NIJ Standard., *Ballistic Resistance of Body Armor: NIJ Standard-0101.06*, (Washington DC: National Institute of Justice, 2008), hlm. 4.

amunisi kaliber 5.56 × 45 mm SS109 produksi PT. Pindad (Persero) menggunakan inti proyektil dari baja yaitu baja standar Pindad.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh densitas dari inti proyektil baja standar Pindad dan WC – 8Co terhadap performa penetrasi amunisi kaliber 5.56 × 45 mm pada material target keramik SiC. Penelitian ini diharapkan (1) dapat menambah pengetahuan dan analisa tentang fenomena kuantitatif - kualitatif dari *damage performance* pada terminal balistik dan (2) dapat memberikan sumbangsih dalam upaya meningkatkan performa amunisi SS109 produksi PT. Pindad (Persero).

### Metodologi Penelitian

Ada lima variabel utama yang mempengaruhi penetrasi dari suatu proyektil terhadap suatu target yaitu *impact velocity*, sudut serang, karakteristik dari proyektil, karakteristik dari target, fase terminal balistik, dan *failure mode*.<sup>9</sup> Dalam penelitian ini *impact velocity* dan sudut serang yang digunakan pada kedua proyektil baik yang

menggunakan inti proyektil baja standar Pindad maupun WC – 8Co adalah sama. *Impact velocity* yang digunakan berada pada *range* kecepatan *high velocity* (100 – 1000 m/s), sedangkan sudut dari sudut serang yang dihasilkan diasumsikan sama.

Karakteristik dari proyektil itu terdiri dari tiga parameter yaitu bentuk proyektil, panjang dan diameter proyektil, dan properti dari material proyektil.<sup>10 11</sup> Dalam penelitian ini bentuk, panjang, dan diameter dari proyektil yang digunakan baik untuk proyektil dengan inti baja standar Pindad maupun dengan inti WC – 8Co adalah sama, sedangkan properti material yang digunakan pada inti proyektil berbeda. Letak perbedaan tersebut adalah jenis material pada inti depan proyektil yaitu menggunakan inti baja standar Pindad dan menggunakan inti WC – 8Co.

Karakteristik dari target terbagi menjadi tiga parameter yaitu dimensi dari material target, konfigurasi dari material target, dan properti dari material target.<sup>12</sup> Pada penelitian ini dimensi, konfigurasi, dan jenis dari material target yang digunakan adalah sama yaitu material

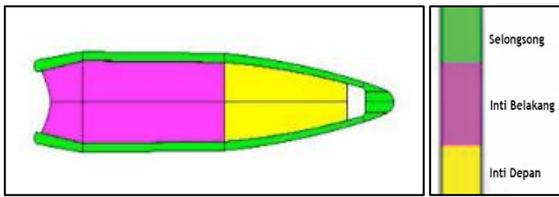
<sup>9</sup> Yudhanto, Arief., *Terminal Ballistics & Armor Materials*, (Bogor: Teknologi Persenjataan Universitas Pertahanan, 2018), hlm. 3.

<sup>10</sup> Ibid, hlm. 6.

<sup>11</sup> Farrar, C. L. dan Leeming, D. W., *Military Ballistics: A Basic Manual*, (Oxford: Brassey's Publishers Ltd., 1983), hlm. 138.

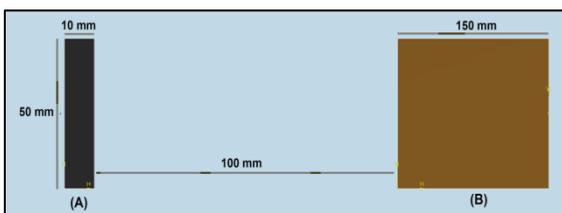
<sup>12</sup> Ibid, hlm. 139.





**Gambar 3.** Komponen-Komponen dari Proyektil Sumber: Choge dkk, 2010<sup>17</sup>

Proyektil dari amunisi tersebut terdiri dari tiga komponen yaitu inti belakang proyektil, inti depan proyektil, dan selubung proyektil (lihat Gambar 3). Dalam penelitian ini, akan digunakan dua jenis inti depan proyektil yaitu inti WC – 8Co dan inti baja standar Pindad yang merupakan material dari inti depan proyektil pada SS109 produksi PT. Pindad (Persero). Adapun komponen lainnya yaitu propelan, primer, selongsong amunisi, inti belakang proyektil, dan selubung proyektil dibuat sama dengan komponen yang digunakan oleh amunisi SS109 produksi PT. Pindad (Persero).



**Gambar 4.** Penampang Konfigurasi antara Material Target (A) dengan Backing Material (B) Sumber: Hasil Gambar Peneliti, 2018

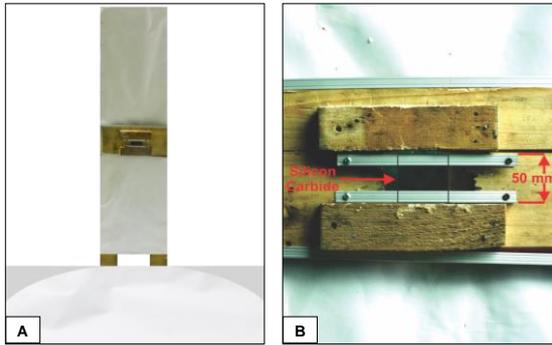
Material target yang digunakan dalam penelitian ini adalah keramik *silicon carbide* berukuran 50 mm × 50 mm

dengan tebal 10 mm. Adapun *backing material* yang digunakan adalah material plastisin dengan tebal 150 mm. Jarak antara material target dengan *backing material* adalah 100 mm. Konfigurasi posisi dari material target dan *backing material* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Besar dari ukuran tebal material target, tebal *backing material*, dan jarak antara material target dengan *backing material* mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya, seperti literatur dari Crouch, dan standar *body armor* menurut US National Institute of Justice (NIJ).

Ukuran dari material target yang digunakan dalam penelitian ini relatif kecil, sehingga diperlukan suatu kerangka atau frame (kerangka kecil) untuk menahan material target tersebut pada saat dilakukan uji balistik (lihat Gambar 5 (B)). Selain itu, untuk menahan dan mengatur posisi dari kerangka kecil tempat material target berada, agar dapat tepat dikenai oleh proyektil pada saat dilakukan uji balistik, maka diperlukan kerangka atau *frame* yang berukuran besar (kerangka besar) (lihat Gambar 5 (A)).

<sup>17</sup> Coghe, Frederik., Nsiampa, Nestor., dan Rabet, Luc, “Experimental and Numerical Investigations on the Origins of the Bodywork

Effect (K – Effect)”, *Journal of Applied Mechanics*, 2010, hlm. 8.



**Gambar 5.** (A) Kerangka Besar dari Material Target; (B) Kerangka Kecil dari Material Target Sumber: Hasil Gambar Peneliti, 2018

Jarak tembak antara target dengan alat uji balistik adalah 50 meter. Jarak tersebut dipilih dengan mempertimbangkan ukuran target yang relatif kecil, sehingga dikhawatirkan apabila jarak tembak dibuat menjadi 100 meter, proyektil tidak akan tepat mengenai target, sehingga efek penetrasi proyektil terhadap target tidak terukur secara akurat. Adapun untuk ukuran *air gap*, pada penelitian ini menggunakan *air gap* yang lebih besar daripada *air gap* yang pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya (misalnya dengan *air gap* antara 0 – 10 mm)<sup>18</sup> karena untuk menghindari terjadinya kerusakan yang parah pada permukaan *backing material* akibat distribusi energi dari fragmentasi material proyektil dan material target, agar fenomena penetrasi yang terjadi di

*backing material* seperti *depth of penetration* (DoP) dan diameter kawah dapat diukur dengan baik.

Prosedur eksperimen dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

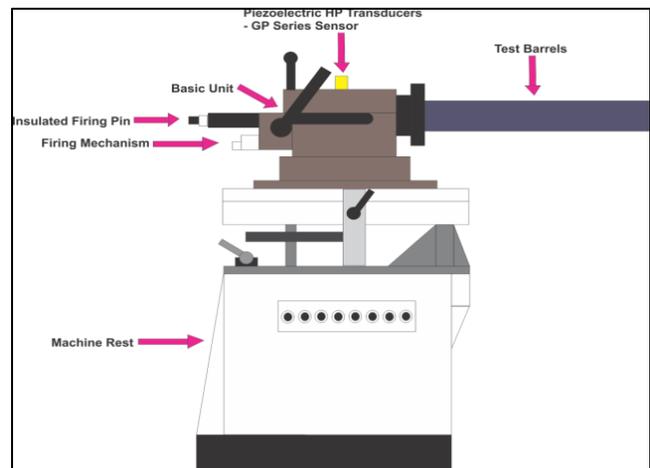
1. *Assembly* dan penyusunan proyektil, pada tahapan ini akan dibuat proyektil menggunakan mesin semi otomatis dengan cara melakukan penyusunan dan/atau penggabungan antara inti timah hitam (inti bagian belakang proyektil), inti baja standar pindad dan/atau inti WC - 8Co (inti bagian depan proyektil), dan selubung proyektil dari material brass (Cu (90%) dan Zn (10%)). Hasil dari tahapan ini adalah dua jenis proyektil yaitu proyektil dengan inti baja standar pindad dan proyektil dengan inti WC – 8Co. Adapun jenis material, dimensi, dan massa dari inti belakang proyektil dan selubung proyektil yang digunakan untuk kedua jenis proyektil tersebut dibuat sama.
2. *Assembly* dan penyusunan amunisi, propelan ditimbang sesuai dengan massa yang

<sup>18</sup> Crouch, Ian G., *The Science of Armour Materials*, (Duxford: Woodhead Publishing Material, 2017), hlm. 180 – 182.

dibutuhkan per amunisi, kemudian dimasukkan kedalam selongsong amunisi yang telah terpasang primer, setelah itu proyektil dipasang kedalam selongsong tersebut menggunakan mesin secara manual. Hasil dari tahapan ini adalah dua jenis amunisi yaitu amunisi dengan proyektil inti baja standar pindad dan amunisi dengan proyektil inti WC – 8Co. Kuantitas massa dan jenis propelan, jenis material, dimensi, dan massa dari material selongsong amunisi, serta jenis primer yang digunakan untuk kedua jenis amunisi tersebut dibuat sama.

3. *Assembly* dan penyusunan target, pemasangan material target dengan *backing material*. Material target yang digunakan dalam penelitian ini adalah lempengan material target SiC (10 mm) dengan *backing material* yaitu *clay plastisin* (150 mm).
4. *Assembly* dan penyusunan target dengan kerangka target, ukuran material target yang digunakan

relatif kecil, sehingga memerlukan kerangka target untuk menahan dan menyangga material target tersebut pada saat dilakukan uji



balistik.

**Gambar 6.** Komponen-Komponen dari Alat Uji Balistik.

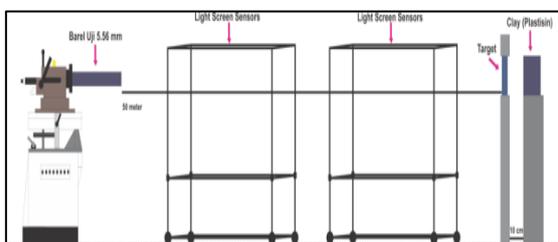
Sumber: redraw dari MILEQ Technologies Pte. Ltd., 2018<sup>19</sup>

5. Uji Balistik, sebelum dilakukan uji balistik terlebih dahulu dipersiapkan alat uji balistik (lihat Gambar 6) dengan memperhatikan jenis *test barrels* yang digunakan yaitu harus disesuaikan dengan amunisi yang akan dilakukan uji balistik. Dalam penelitian ini menggunakan amunisi kaliber 5.56 × 45 mm, maka jenis *test barrels* yang digunakan adalah *test barrels* kaliber 5.56 × 45 mm dengan

<sup>19</sup> Mileq Technologies Pte. Ltd., *Measuring, Test, Analysis, and Calibration Equipment for Interior, Exterior, and Target Ballistics in Tunnel, Range,*

*Field, and Laboratory,* (Bukit Batok: Mileq Technologies Pte. Ltd., 2011), hlm. 3.

panjang laras 508 mm. Selain itu, juga dilakukan *setting* terhadap *software* Mileq Technologies agar dapat melakukan perekaman dan penghitungan terhadap data kecepatan yang terukur pada jarak 5 meter dan 10 meter melalui sensor *light screen*. Data kecepatan yang terukur tersebut kemudian dikalkulasi secara ekstrapolasi oleh *software* Mileq Technologies, sehingga didapat data *muzzle velocity*, *impact velocity*, dan *impact of kinetic energy*. Setelah amunisi selesai disusun, kerangka target, material target, dan *backing material* selesai dipasang dan diatur posisinya serta alat uji balistik telah selesai disiapkan dan diatur, maka selanjutnya dilakukan uji balistik dengan skema eksperimen



seperti Gambar 7.

**Gambar 7.** Ilustrasi dari Mekanisme Uji Balistik yang dilakukan dalam Penelitian  
 Sumber: Hasil Gambar Peneliti, 2018

Berikut adalah prosedur eksperimen uji balistik yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada STANAG 4241 tentang *bullet impact munition test procedures*:<sup>20</sup>

- a. Melakukan pengkondisian terhadap *test barrel*. Dimana kondisi *test barrel* harus sudah dilakukan *warming up*. Selain itu jenis dan ukuran *test barrel* juga harus disesuaikan dengan jenis amunisi yang akan diuji.
- b. Melakukan penyesuaian jumlah propelan yang akan digunakan dalam amunisi yang akan dilakukan uji balistik, sesuai dengan kualifikasi propelan yang sudah teruji pada amunisi tersebut.
- c. Menentukan jarak tembak antara alat uji balistik dengan material target dengan mempertimbangkan akurasi dan keselamatan. Pada umumnya jarak yang sering digunakan adalah 15 meter sampai 30 meter, akan tetapi jarak tembak tersebut dapat disesuaikan dengan pertimbangan akurasi dan

<sup>20</sup> STANAG 4241, *Standardization Agreement (AOP) of Bullet Impact Munition Test Procedures*

*Edition A, Version 1*, (Brussels: NATO, 2018), hlm. 14 – 18.

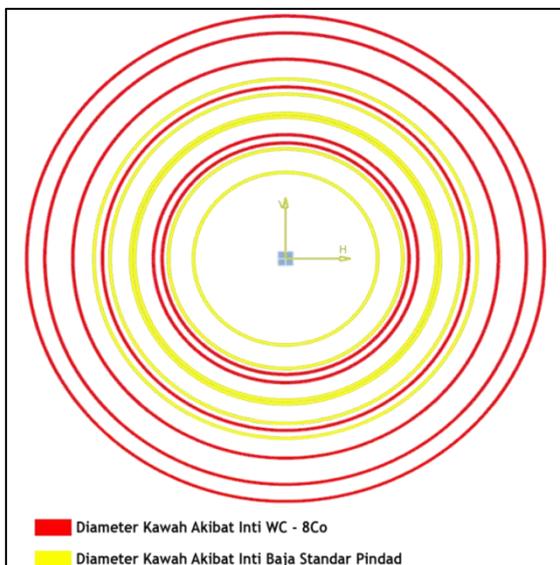
- keselamatan saat uji balistik dari amunisi yang digunakan.
- d. Melakukan pengukuran dan pencatatan terhadap kondisi dari massa proyektil dan massa dari material target sebelum dilakukan uji balistik.
  - e. Melakukan penembakan akurasi pada kertas lesan untuk mendapatkan titik penembakan yang dihasilkan oleh proyektil, sehingga proyektil dapat dengan tepat mengenai material target.
  - f. Melakukan penembakan perkenaan terhadap target secara satu-satu, dapat menggunakan tiga amunisi (metode 1), dapat juga menggunakan satu amunisi (metode 2), dan dapat juga menggunakan jumlah amunisi yang disesuaikan dengan kebutuhan untuk melihat fenomena *impact* yang terjadi (metode 3). Penelitian ini akan menggunakan enam amunisi per jenis proyektil, dimana sebelum dilakukan tembakan perkenaan, selalu didahului dengan dua kali penembakan akurasi terhadap kerangka target yang telah terpasang kertas lesan untuk melihat lokasi dan/atau titik tembakan, sehingga posisi target dapat disesuaikan.
  - g. Melakukan pengukuran dan/atau penghitungan terhadap besar dari *impact velocity* dan *muzzle kinetic energy*. Berdasarkan STANAG 4172 kualifikasi nilai dari *muzzle kinetic energy* untuk amunisi kaliber 5.56 mm × 45 mm adalah minimal 1500 Joule.
  - h. Melakukan pengukuran dan pengamatan serta pencatatan terhadap fenomena yang terjadi akibat tumbukan atau penetrasi yang dilakukan oleh proyektil terhadap material target seperti *failure mode* dan DoP.
  - i. Melakukan pengukuran dan pengamatan serta pencatatan terhadap sifat dan distribusi residu dari proyektil dan material target.

### Hasil dan Pembahasan

Data yang didapat dari hasil penembakan terhadap material target SiC dengan menggunakan proyektil inti baja standar Pindad dan inti WC – 8Co dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Secara sederhana data diameter kawah yang dihasilkan oleh proyektil inti baja standar Pindad dan inti WC – 8Co setelah

menumbuk material target SiC dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar tersebut menunjukkan bahwa diameter kawah yang dihasilkan oleh proyektil inti WC - 8Co relatif lebih besar dibandingkan diameter kawah yang dihasilkan oleh proyektil inti baja standar Pindad. Secara teoritis, besar dan kecil ukuran dari diameter kawah yang terjadi dipengaruhi oleh seberapa banyak jumlah residual proyektil (maupun residual material target yang ikut terdorong oleh energi dari residual proyektil searah ke *backing material*) setelah menumbuk material target.



**Gambar 8.** Perbandingan Diameter Kawah yang Dihasilkan oleh Penetrasi dari Proyektil Inti WC – 8Co dan Inti Baja Standar Pindad  
Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2018

## Hubungan *Impact Kinetic Energy* dengan DoP

Persamaan umum *kinetic energy* menunjukkan bahwa terdapat parameter massa (densitas) dan kecepatan yang mempengaruhi besar dan/atau kecil nilai dari *kinetic energy* suatu benda (dalam hal ini proyektil). Dimana eksperimen dalam penelitian ini menggunakan dua jenis proyektil yang berbeda. Perbedaannya terletak pada jenis material yang digunakan pada inti depan proyektil yaitu material material baja standar Pindad dan WC – 8Co, sedangkan komponen amunisi yang lain sama, baik ukurannya, jenisnya, maupun massanya, sehingga dapat dipastikan bahwa perbedaan nilai *impact kinetic energy* yang dihasilkan oleh kedua jenis proyektil, diakibatkan oleh perbedaan jenis material yang digunakan pada inti depan proyektil.

Properti fisik dari material WC – 8Co menunjukkan bahwa nilai densitas dari material tersebut adalah  $14,800 \text{ kg.m}^{-3}$ ,<sup>21</sup> sedangkan densitas dari material baja standar Pindad adalah  $7,830 \text{ kg.m}^{-3}$  (mendekati densitas baja 4340).<sup>22</sup> Informasi ini mengindikasikan bahwa material WC – 8Co lebih rapat

<sup>21</sup> Zhuzhou Chaoyu Industrial Co. Ltd., YL80.1 Grade Testing Report, (Zhuzhou: Zhuzhou Chaoyu Industrial Co. Ltd., 2018), hlm. 1.

<sup>22</sup> Prasob, P. A., et al., "Projectile Penetrating Multilayer Composite Armor". *Indian Journal of Science and Technology* Vol. 9 (47), 2016, hlm. 4.

dibandingkan dengan material baja standar Pindad, sehingga walaupun ukuran volume dari inti depan kedua proyektil tersebut sama, namun massa yang dihasilkan berbeda. Akibat densitas dari material WC – 8Co lebih besar (1.89 kali lebih besar) daripada densitas material baja standar Pindad, maka *impact kinetic energy* yang dihasilkan oleh proyektil inti WC – 8Co dapat lebih besar daripada *impact kinetic energy* yang dihasilkan oleh proyektil inti baja standar Pindad, sehingga DoP yang dihasilkan oleh proyektil inti WC – 8Co juga lebih besar daripada DoP yang dihasilkan oleh proyektil inti baja standar Pindad.

Eksperimen dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *impact kinetic energy* yang dihasilkan oleh proyektil inti WC – 8Co adalah 1.1 kali lebih besar daripada nilai *impact kinetic energy* yang dihasilkan oleh proyektil inti baja standar Pindad. Adapun DoP yang dihasilkan oleh proyektil inti WC – 8Co adalah 1.5 kali lebih besar daripada DoP yang dihasilkan oleh proyektil inti baja standar Pindad (lihat Tabel 1 dan Tabel 2). Hasil tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara *impact kinetic energy* dengan DoP adalah berbanding lurus (lihat grafik 1). Nilai *impact kinetic energy* yang besar akan menghasilkan DoP yang juga besar,

begitu juga sebaliknya, nilai *impact kinetic energy* yang kecil akan menghasilkan DoP yang juga kecil.

### **Hubungan *Impact Velocity* dengan DoP**

Proyektil inti WC – 8Co yang mempunyai massa (densitas) lebih besar daripada proyektil inti baja standar Pindad, sehingga mempengaruhi nilai *impact velocity* yang dihasilkan oleh proyektil. Secara matematis, dari persamaan *kinetic energy* diketahui bahwa hubungan antara kecepatan dengan massa adalah berbanding terbalik, sehingga apabila energi propelan kedua proyektil sama, maka semakin besar massa suatu proyektil, kecepatan yang dihasilkan akan relatif kecil, begitu juga sebaliknya, semakin kecil massa dari suatu proyektil, maka kecepatan yang dihasilkan akan relatif besar.

Dalam penelitian ini proyektil inti WC – 8Co memiliki nilai *impact velocity* yang lebih kecil, akan tetapi dapat menghasilkan nilai DoP yang besar. Hal tersebut dikarenakan proyektil inti WC – 8Co memiliki nilai *impact kinetic energy* (doping dari densitas) yang lebih besar daripada proyektil baja standar Pindad. Dimana *impact velocity* merupakan sub sistem (input) dari *impact kinetic energy* (output), sehingga nilai *impact velocity*

dari proyektil inti WC – 8Co yang lebih kecil daripada nilai *impact velocity* dari proyektil baja standar Pindad dapat tertutupi oleh nilai *impact kinetic energy* yang besar dari proyektil inti WC – 8Co.

## Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Performa penetrasi proyektil yang menggunakan inti WC – 8Co lebih baik daripada performa proyektil yang menggunakan inti baja standar Pindad untuk material target Silicon Carbide (SiC).
  - a. Proyektil inti WC – 8Co menghasilkan DoP 1.5 kali lebih besar daripada proyektil inti baja standar Pindad untuk material target SiC.
  - b. Proyektil inti WC – 8Co menghasilkan diameter kawah 1.3 kali lebih besar daripada proyektil inti baja standar Pindad untuk material target SiC.

## Rekomendasi

1. Untuk Peneliti diharapkan melakukan *enhanced* terhadap

konfigurasi, komposisi, dan jenis target, misalnya dengan menambahkan lapisan material Aramid dari Kevlar™, Twaron™, Dyneema™, maupun Spectra™ dibagian belakang dari material keramik, serta jenis keramik diganti menjadi *boron carbide* (B<sub>4</sub>C) yang mempunyai *hardness* lebih tinggi daripada *silicon carbide* (SiC).

2. Untuk PT. Pindad (Persero) diharapkan untuk melakukan *enhanced* terhadap proyektil pada munisi kaliber 5.56 mm × 45 mm dengan membuat geometri dan dimensi khas proyektil tungsten carbide, misalnya dengan melakukan *reverse engineering* amunisi M995 yang merupakan *ammunition established* untuk kaliber 5.56 mm × 45 mm.
3. Untuk TNI seperti pasukan infanteri dapat menggunakan amunisi kaliber 5.56 mm × 45 mm dengan proyektil inti WC – 8Co dalam menghadapi musuh yang menggunakan *ceramic body armour* (seperti pasukan PLA China, pasukan militer UK, pasukan militer Rusia, dan pasukan militer USA), karena

penetrasi dari proyektil inti WC – 8Co, lebih baik daripada inti baja untuk material target keramik SiC. Walaupun tentunya diperlukan peningkatan secara simultan dan berkelanjutan terhadap teknologi proyektil tersebut, karena teknologi *body armour* juga terus mengalami peningkatan.

Bukit Batok: Mileq Technologies Pte. Ltd.

NIJ Standard. 2008. *Ballistic Resistance of Body Armor: NIJ Standard-0101.06*. Washington DC: National Institute of Justice.

Rosenberg, Zvi dan Dekel, Erez. 2016. *Terminal Ballistic*. Haifa: Springer.

STANAG 4172. 1993. *Standardization Agreement of 5.56 Ammunition*. Brussels: NATO.

STANAG 4241. 2018. *Standardization Agreement (AOP) of Bullet Impact Munition Test Procedures Edition A, Version 1*. Brussels: NATO.

Yudhanto, Arief. 2018. *Terminal Ballistics & Armor Materials*. Bogor: Teknologi Persenjataan, Universitas Pertahanan.

Zhuzhou Chaoyu Industrial Co. Ltd. 2018. *YL80.1 Grade Testing Report*. Zhuzhou: Zhuzhou Chaoyu Industrial Co. Ltd.

## Daftar Pustaka

### Buku

Barrett, Soren., Christiansen, Rasmus Viking L. R., dan Othman, Ahmad. 2016. *Ballistic Properties of Projectile*. Aalborg: Aalborg University.

Crouch, Ian G. 2017. *The Science of Armour Materials*. Duxford: Woodhead Publishing Material.

Farrar, C. L. dan Leeming, D. W. 1983. *Military Ballistics: A Basic Manual*. Oxford: Brassey's Publishers Ltd.

KEMHAN RI. 2014. *Postur Pertahanan Negara*. Jakarta: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.

Lehowicz, dkk. 2012. *Testing of Body Armor Materials: Phase III*. Washington: The National Academic Press.

Medvedovski, Eugene. 2006. *Advanced Ceramics for Personnel Armor: Current Status and Future*. Ohio: The American Ceramic Society.

Mileq Technologies Pte. Ltd. 2011. *Measuring, Test, Analysis, and Calibration Equipment for Interior, Exterior, and Target Ballistics in Tunnel, Range, Field, and Laboratory*.

### Jurnal

Coghe, Frederik., Nsiampa, Nestor., dan Rabet, Luc. 2010. *Experimental and Numerical Investigations on the Origins of the Bodywork Effect (K – Effect)*. New York: Journal of Applied Mechanics.

Prasob, P. A., et al. 2016. *Projectile Penetrating Multilayer Composite Armor*. Chennai: Indian Journal of Science and Technology Vol. 9 (47).

Lampiran

Tabel 1. Data Kecepatan dan Energi Kinetik dari Penembakan Proyektil Inti WC – 8Co dan Inti Baja Standar

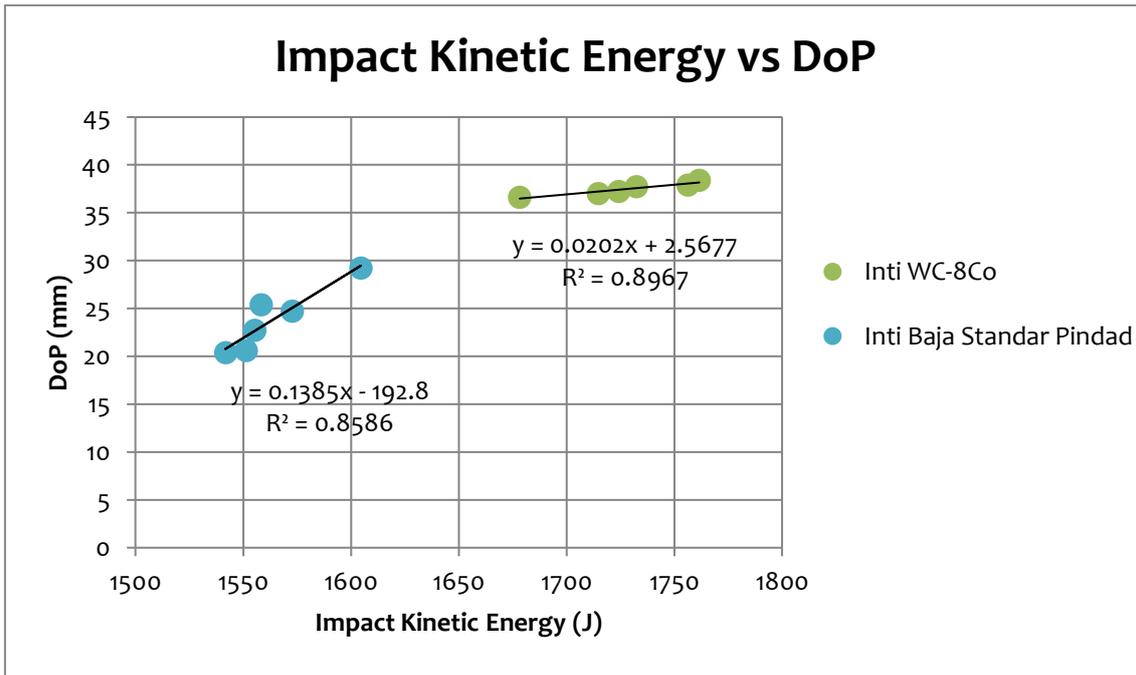
JARAK TEMBAK	JENIS PROYEKTIL	NO. SAMPEL	MASSA SEBELUM PENEMBAKAN (gr)		KECEPATAN (m/s); SPEK MU5-TJ (v25 = 903 - 927 m/s)					EK - IMPACT (J) [EK <sub>50</sub> ]	
			PROYEKTIL (± 1)	TARGET (± 1)	v0	v5	v10	v25	v-impact [v50]		
50 METER	INTI WC - 8Co	1	4.50	80.00	925.63	920.37	915.10	899.31	872.99	1714.80	
		2	4.50	80.00	928.14	922.87	917.60	901.79	875.43	1724.30	
		3	4.50	80.00	932.11	927.39	922.66	908.48	884.84	1761.60	
		4	4.50	80.00	935.09	929.93	924.77	909.29	883.49	1756.30	
		5	4.50	80.00	915.57	910.37	905.18	889.61	863.65	1678.30	
		6	4.50	80.00	931.43	926.03	920.64	904.46	877.50	1732.50	
		<b>RATA - RATA</b>				<b>928.00</b>	<b>922.83</b>	<b>917.66</b>	<b>902.16</b>	<b>876.32</b>	<b>1727.97</b>
		<b>MAKSIMUM</b>				<b>935.09</b>	<b>929.93</b>	<b>924.77</b>	<b>909.29</b>	<b>884.84</b>	<b>1761.60</b>
		<b>MINIMUM</b>				<b>915.57</b>	<b>910.37</b>	<b>905.18</b>	<b>889.61</b>	<b>863.65</b>	<b>1678.30</b>
	<b>STANDAR DEVIASI</b>				<b>6.91</b>	<b>6.97</b>	<b>7.02</b>	<b>7.24</b>	<b>7.72</b>	<b>30.36</b>	
	INTI BAJA STANDAR PINDAD	1	4.00	80.00	943.24	938.48	933.73	919.21	895.70	1604.50	
		2	4.00	80.00	934.99	930.17	925.35	910.89	886.79	1572.80	
		3	4.00	80.00	930.09	925.16	920.22	905.40	880.71	1551.30	
		4	4.00	80.00	938.47	932.42	926.38	908.24	878.00	1541.80	
		5	4.00	80.00	942.41	936.35	930.30	912.14	881.86	1555.40	
6		4.00	80.00	943.34	937.27	931.21	913.01	882.68	1558.20		
<b>RATA - RATA</b>				<b>938.76</b>	<b>933.31</b>	<b>927.87</b>	<b>911.48</b>	<b>884.29</b>	<b>1564.00</b>		
<b>MAKSIMUM</b>				<b>943.34</b>	<b>938.48</b>	<b>933.73</b>	<b>919.21</b>	<b>895.70</b>	<b>1604.50</b>		
<b>MINIMUM</b>				<b>930.09</b>	<b>925.16</b>	<b>920.22</b>	<b>905.40</b>	<b>878.00</b>	<b>1541.80</b>		
<b>STANDAR DEVIASI</b>				<b>5.36</b>	<b>5.07</b>	<b>4.87</b>	<b>4.70</b>	<b>6.28</b>	<b>22.27</b>		

Sumber: olahan peneliti, 2019

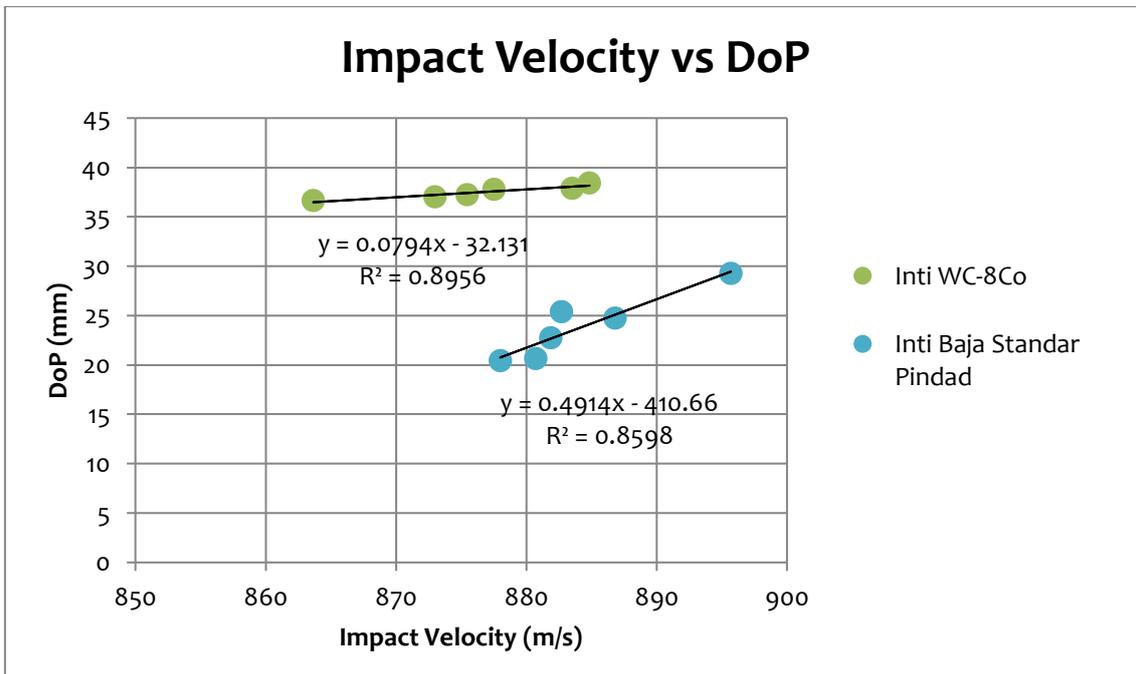
**Tabel 2.** Data DoP, Diameter dari Kawah, dan Massa Sisa dari Material Target SiC dan Proyektil setelah dilakukan Penembakan terhadap Material Target SiC

JARAK TEMBAK	JENIS PROYEKTIL	NO. SAMPEL	KONDISI MATERIAL TARGET SETELAH UJI BALISTIK								
			DOP (PLASTISIN) (150 mm); AIR GAP (100 mm)				DIAMETER (mm)			MASSA TERSISA (gr)	
			1	2	3	RATA- RATA	x	y	RATA-RATA	PROYEKTIL	TARGET
50 METER	INTI WC - 8Co	1	35.14	35.96	37.01	36.04	38.10	40.77	39.44	0.21	33.25
		2	35.39	35.54	37.24	36.06	41.43	43.39	42.41	0.07	35.26
		3	37.31	37.86	38.41	37.86	29.23	30.76	30.00	0.30	36.95
		4	36.47	37.29	37.88	37.21	33.91	35.79	34.85	0.05	35.34
		5	35.92	36.05	36.63	36.20	17.47	22.97	20.22	0.25	32.28
		6	36.11	36.55	37.75	36.80	21.00	22.32	21.66	0.06	34.89
		<b>MEAN</b>	<b>36.06</b>	<b>36.54</b>	<b>37.49</b>	<b>36.70</b>	<b>30.19</b>	<b>32.67</b>	<b>31.43</b>	<b>0.16</b>	<b>34.66</b>
		<b>MAX</b>	<b>37.31</b>	<b>37.86</b>	<b>38.41</b>	<b>37.86</b>	<b>41.43</b>	<b>43.39</b>	<b>42.41</b>	<b>0.30</b>	<b>36.95</b>
		<b>MIN</b>	<b>35.14</b>	<b>35.54</b>	<b>36.63</b>	<b>36.04</b>	<b>17.47</b>	<b>22.32</b>	<b>20.22</b>	<b>0.05</b>	<b>32.28</b>
	<b>SD</b>	<b>0.78</b>	<b>0.88</b>	<b>0.65</b>	<b>0.74</b>	<b>9.49</b>	<b>8.89</b>	<b>9.16</b>	<b>0.11</b>	<b>1.66</b>	
	INTI BAJA STANDAR PINDAD	1	28.72	29.01	29.23	28.99	30.61	32.14	31.38	0.67	48.20
		2	24.08	24.62	24.71	24.47	18.29	20.07	19.18	0.29	44.41
		3	18.11	19.05	20.64	19.27	14.83	15.32	15.08	0.13	43.90
		4	19.90	20.28	20.40	20.19	21.90	27.58	24.74	0.07	42.28
		5	20.28	21.61	22.75	21.55	28.29	29.23	28.76	0.05	44.30
		6	22.58	24.72	25.37	24.22	23.96	26.78	25.37	0.08	45.50
		<b>MEAN</b>	<b>22.28</b>	<b>23.22</b>	<b>23.85</b>	<b>23.11</b>	<b>22.98</b>	<b>25.19</b>	<b>24.08</b>	<b>0.22</b>	<b>44.77</b>
		<b>MAX</b>	<b>28.72</b>	<b>29.01</b>	<b>29.23</b>	<b>28.99</b>	<b>30.61</b>	<b>32.14</b>	<b>31.38</b>	<b>0.67</b>	<b>48.20</b>
<b>MIN</b>		<b>18.11</b>	<b>19.05</b>	<b>20.40</b>	<b>19.27</b>	<b>14.83</b>	<b>15.32</b>	<b>15.08</b>	<b>0.05</b>	<b>42.28</b>	
<b>SD</b>	<b>3.79</b>	<b>3.64</b>	<b>3.33</b>	<b>3.56</b>	<b>5.95</b>	<b>6.27</b>	<b>6.04</b>	<b>0.24</b>	<b>1.98</b>		

Sumber: olahan peneliti, 2019



**Gambar 9.** Hubungan antara *Impact Kinetic Energy* dengan *Depth of Penetration (DoP)* yang dihasilkan oleh Proyektil Inti WC – 8Co dan Inti Baja Standar Pindad.  
 Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2018



**Gambar 10.** Hubungan antara *Impact Velocity* dengan *Depth of Penetration (DoP)* yang dihasilkan oleh Proyektil Inti WC – 8Co dan Inti Baja Standar Pindad.  
 Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2018

