

PENGARUH JENIS LAPISAN MATERIAL TERHADAP KETAHANAN BALISTIK BAJA

*Ahmad Zaedun¹, Rusnaldy², Ismoyo Haryanto²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

² Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: ahmad.zaedun011@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mempelajari tentang karakteristik ketahanan balistik baja dengan menggunakan variasi tiga lapisan (*triple layers*). Material target yang digunakan yaitu baja dengan tebal 0,2 mm mempunyai nilai kekerasan 481,7 VHN, serta menggunakan mika, kawat ram dan tembaga sebagai kombinasi lapisannya. Ada 4 variasi percobaan yang digunakan diantaranya baja-baja-baja, baja-mika-baja, baja-kawat ram-baja, dan baja-tembaga-baja. Pengujian menggunakan senapan angin berkompresi yang digunakan sebagai peluncur proyektil berkaliber 0,45 mm. Proyektil ini kekerasannya 82,63 VHN memiliki bentuk hidung *ogival-nose* dengan 10x kokangan yang mewakili kecepatan peluru, yang melewati lintasan peluru menuju material target. Dari percobaan yang sudah dilakukan bahwa variasi baja-baja-baja ketahanan balistiknya paling bagus. Disini diketahui deformasi pelurunya paling besar dan memiliki kedalaman peluru masuk balok paling kecil yang mengindikasikan kecepatan sisa peluru tersebut. Sedangkan pada variasi baja-kawat ram-baja ketahanan balistiknya paling buruk, karena efek kerusakan *crater* yang sangat besar, namun memiliki deformasi peluru yang kecil sehingga tidak banyak energi peluru yang diserap oleh plat.

Kata kunci: Ketahanan balistik, *triple-layers*, kombinasi baja dengan material lain.

Abstract

The aim of this study is to observe the characteristic of ballistic resistance of steel using triple layers variation. Material of the target is steel of 0.2 mm thickness and hardness value 481.7 VHN. The combination of its layers consists of mica, ram wire and copper. There were four variations of layer combination in the experiment: steel-steel-steel, steel-mica-steel, steel-ram wire-steel, and steel-copper-steel. A compressed air rifle is used to launch a 0.45 mm caliber projectile. The projectile hardness value of 82.63 VHN ogival-nose shaped, with 10 cocks represent the velocity of the projectile which passes through a trajectory towards target material. From the experiment can be concluded that steel-steel-steel variation has the best ballistic resistance. Resulting biggest projectile deformation and the depth of projectile hit the block the smallest residual velocity projectile indicates. Steel-ram wire-steel combination has the lowest ballistic resistance due to big damage effect of crater, but has small projectile deformation resulting less projectile energy is absorbed by the plate.

Keywords: ballistic resistance, *triple-layers*, combination of steel with other materials

1. PENDAHULUAN

Aplikasi baja sangatlah luas, diantaranya digunakan sebagai pengembangan material balistik dalam bidang pertahanan dan keamanan (Hankam). Penelitian tentang material balistik sebenarnya telah banyak dilakukan orang di Indonesia maupun di dunia, yang dari beberapa hasilnya diketahui semakin tebal material target memang akan lebih baik ketahanannya, namun dari sisi berat sangat merugikan. Sehingga pada penelitian ini mengupayakan ketahanan yang lebih baik namun mengurangi berat dari material balistik tersebut dengan membuat benda uji tidak hanya terdiri dari satu pelat, namun melapisi dengan banyak pelat.

Pernah diungkapkan oleh Rusnaldy dkk. pada tahun 2012 yang mengutip dari beberapa hasil penelitian balistik sebelumnya, dapat digaribawahi bahwa sisi kekerasan dan ketebalan baja mempengaruhi kekuatan menahan penetrasi. Namun yang dicari adalah dengan baja ringan dan setipis mungkin dapat menahan penetrasi tersebut, maka kombinasi logam dan non-logam pun dapat menjadi solusi pengurangan berat dari baja balistik, semakin tinggi *strength-to-weight ratio* ketahanan balistik akan semakin baik, dan rasio tersebut adalah keunggulan dari material non-logam [1].

Dari eksperimen sebelumnya oleh Ubeyli dkk. ditahun 2011, meneliti kombinasi baja dengan non logam. Hasilnya menunjukkan bahwa baja yang dikombinasikan dengan keramik alumina pada bagian muka dapat memperkuat

material balistik. Selain itu penambahan keramik alumina juga dapat mengurangi berat sebanyak 26% dan tingkat kekerasan pada baja juga dapat mempengaruhi karakteristik balistik benda uji [2]. Pengujian lain mengkombinasikan baja dengan material lain atau dengan material baja yang sama. Hal ini dilakukan oleh Babei dkk. pada tahun 2011 yang menguji 4 jenis benda uji dengan lapisan ganda kombinasi baja dan aluminium yang menghasilkan urutan ketahanan material balistik paling baik adalah baja-baja [3]. Sebelumnya juga sudah dijelaskan bahwa dengan bertambahnya ketebalan baja, kemampuan melakukan penetrasi dari *proyektil* semakin berkurang, pada tahun 2001 juga pernah diungkapkan oleh Borvik dkk. [4]. Kemungkinan semakin tebal material balistik memang akan lebih baik ketahanannya, namun dari sisi berat. Hal ini sangat merugikan, untuk itu dilakukan penelitian yang mengupayakan ketahanan yang lebih baik untuk mengurangi berat dari material balistik tersebut.

Dari beberapa catatan tersebut, banyak lagi yang dapat dikembangkan dari baja balistik. Oleh karena itu penelitian merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya, dengan mengkaji pengaruh jumlah dan jenis lapisan material terhadap ketahanan balistik baja. Dari pelaksanaan penelitian dengan jumlah dan jenis lapisan material dapat mengetahui bahwa ketebalan benda uji akan mempengaruhi hasil uji balistik dari material logam.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena ketahanan balistik variasi tiga lapisan (*triple layers*) dengan kombinasi baja dengan baja. Selain itu juga ingin mengetahui fenomena ketahanan balistik variasi tiga lapisan (*triple layers*) dengan kombinasi baja dengan material target lainnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Material yang Digunakan

a. Plat Baja

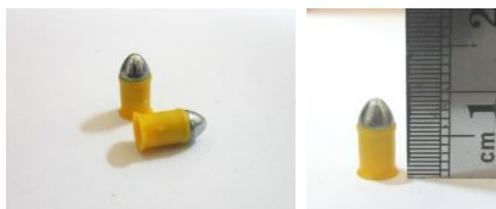
Plat baja disini adalah material balistik yang digunakan sebagai sasaran tembak. Baja ini adalah baja jenis *mild steel* dengan ketebalan 0,2 mm mempunyai nilai kekerasan 481,7 VHN. Dimensi plat baja ini yaitu 10 cm x 15 cm dan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Plat Baja

b. Peluru

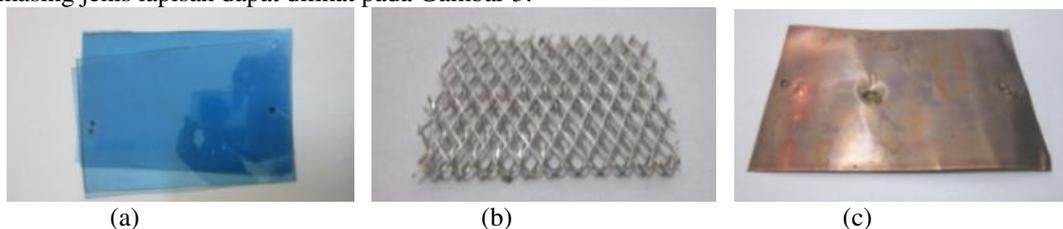
Dalam pengujian ini yang digunakan memiliki kaliber 4,5 mm bentuk *ogival nose*. Material yang digunakan dalam pembuatan peluru tersebut berbahan baja karbon rendah dengan kekerasan 82,63 VHN. Bentuk peluru *ogival nose* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peluru

c. Material Non Baja

lapisan plat baja tebalnya 0,2 mm ini dikombinasikan dengan mika, kawat ram dan tembaga yang masing-masing memiliki ketebalan 1 mm, 0,2 mm dan 0,1 mm. Disemua material non logam ini bermensi 10 cm x 15 cm. Namun pada jenis material dengan kawat ram yang pemukaannya berbentuk lubang dengan panjang sisi 3 mm. Bentuk dari masing-masing jenis lapisan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Mika, (b) Kawat ram, dan (c) Tembaga

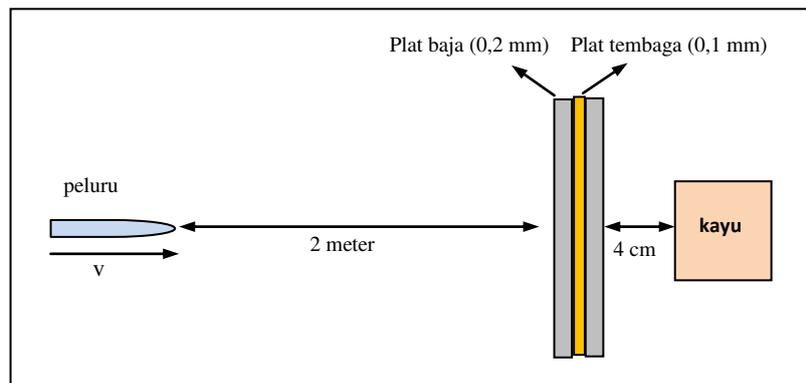
2.2. Set Up Pengujian

Pengujian ini dilakukan menggunakan proyektil berbentuk *ogival-nose* berkaliber 4,5 mm, ditembakkan dengan jarak 2 meter menggunakan senapan angin terkompresi yang digunakan melontarkan peluru dalam rentang kecepatan 10 kokang sebagai indikasi dari kecepatannya. Spesifikasi senapan angin yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Senapan Angin

Peluru ditembakkan pada beberapa variasi tiga lapisan (*triple layers*) yang material targetnya dicekam oleh *jig*. Serta ditempatkan juga balok kayu yang berada 4 cm tepat berada dibelakang plat guna keamanan saat peluru dapat menembus plat dan untuk mengetahui berapa besar energi. sisa peluru setelah terjadi perforasi. Setelah serangkaian percobaan ini dilaksanakan selanjutnya akan dilakukan pengambilan data seperti pengukuran keliling, tinggi dan volume crater, serta kedalaman peluru masuk balok dan deformasi peluru setelah terjadi penetrasi. Langkah yang terakhir yaitu analisa data sesuai parameter pengambilan data yang digunakan tersebut. Adapun skema pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Percobaan Variasi Tiga Lapisan (*Triple-Layeres*)

2.3. Metode Pengambilan Data

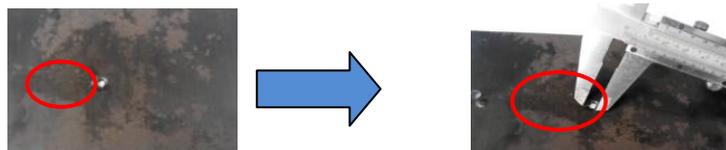
Metode yang digunakan dalam pengambilan data, yaitu dengan mengukur keliling, tinggi, dan volume *crater* serta kedalaman peluru masuk balok dan deformasi peluru setelah terjadi penetrasi terhadap material target. Beberapa metode yang digunakan seperti berikut :

a. Pengukuran Keliling *Crater*

Setelah terjadi perforasi pada plat maka terdapat kaki *crater*, sehingga dapat dicari keliling *crater* dengan menggunakan *vernier caliper* yang memiliki ketelitian 0,02 mm. Pengukuran keliling *crater* ini dapat dilihat pada Gambar 8.

$$K = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (1)$$

dimana, K : Keliling *crater*
 C : Jarak antar kaki *crater*



Gambar 8. Pengukuran keliling *crater* ketika terjadi perforasi

Apabila tidak terjadi perforasi, maka pengukuran keliling *crater* menggunakan jangka untuk mengetahui jari-jari langkaran, dengan rumus keliling lingkaran. pengukuran ditunjukkan pada Gambar 9.

$$K = 2\pi r \quad (2)$$

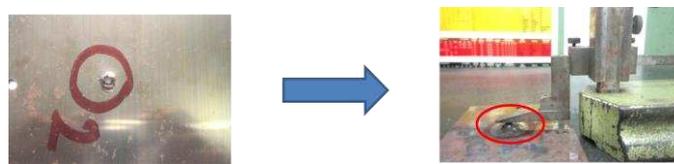
dimana, K : Keliling *crater*
 r : Jari-jari lingkaran



Gambar 9. Pengukuran keliling *crater* ketika tidak terjadi perforasi

b. Pengukuran Tinggi *Crater*

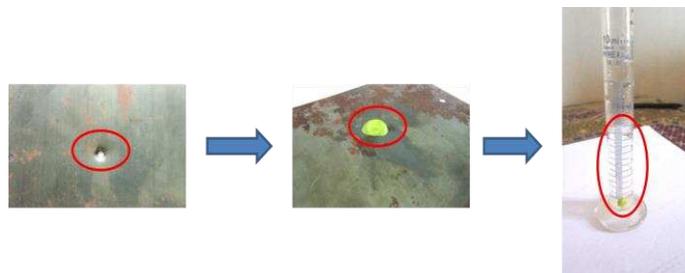
Tinggi *crater* digunakan untuk menghitung plat yang berlubang atau tidak, dihitung dengan menggunakan *high gage*. Seperti pada Gambar 10 menunjukkan cara pengukurannya.



Gambar 10. Pengukuran tinggi *crater*

c. Pengukuran Volume *Crater*

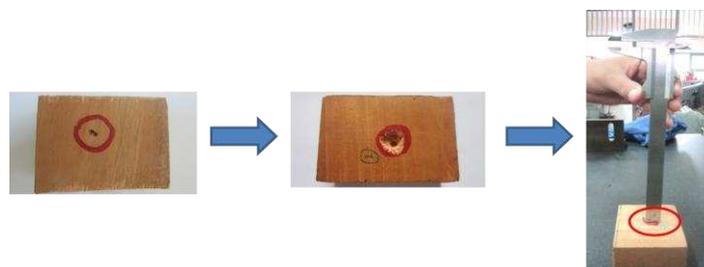
Volume *crater* dihitung dengan menggunakan gelas ukur yang awal mulanya permukaan *crater* diberi malam sampai rata, kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur dengan ketelitian 0,02 mm sehingga dapat diketahui volumenya dengan beda ketinggian. Cara pengukuran dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengukuran volume *crater*

d. Pengukuran Kedalaman Peluru Masuk Balok

Setelah peluru menembus plat, maka peluru tersebut akan masuk balok yang berada dibelakang plat. Sehingga peluru dikeluarkan dari balok, dan kemudian mengukur kedalaman balok dengan menggunakan *vernier caliper*. Dapat dilihat pada Gambar 12.



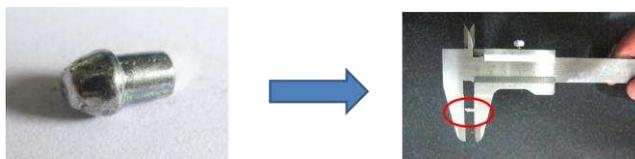
Gambar 12. Pengukuran kedalaman peluru menembus balok

e. Pengukuran Deformasi peluru

Deformasi peluru ini dapat diwakili dengan mengukur perbedaan ketinggian peluru semula dengan ketinggian peluru setelah mengalami penembakan. Diukur dengan menggunakan *vernier caliper*. Pengukurannya sesuai dengan Gambar 13.

$$\text{Deformasi peluru} = \frac{h_1 - h_0}{h_1} \times 100\% \quad (3)$$

dimana, h_0 : Tinggi awal peluru
 h_1 : Tinggi peluru setelah penetrasi



Gambar 13. Pengukuran Deformasi Peluru

3. HASIL DAN ANALISA

3.1. Hasil Eksperimental

Dari eksperimen variasi tiga lapisan ini ada 4 jenis variasi yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis Percobaan Variasi Tiga Lapisan (*Triple-Layeres*).

| No. | Jenis Percobaan | Jenis Plat (mm) |
|-----|-----------------|---|
| 1 | Variasi 1 | baja (0,2) + baja (0,2) + baja (0,2) |
| 2 | Variasi 2 | baja (0,2) + mika (1) + baja (0,2) |
| 3 | Variasi 3 | baja (0,2) + kawat ram + baja (0,2) |
| 4 | Variasi 4 | baja (0,2) + tembaga (0,1) + baja (0,2) |

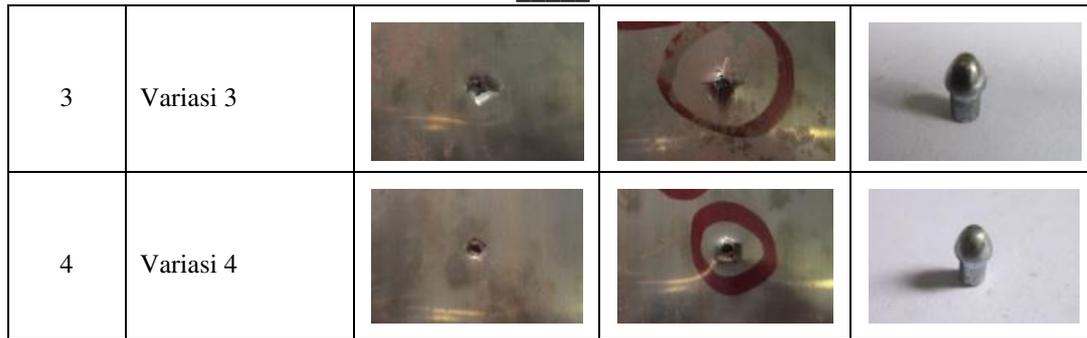
Data yang didapatkan pada eksperimen ini terdiri dari 3 sudut pandang, diantaranya analisa *crater*, analisa deformasi peluru, analisa kedalaman peluru yang menembus balok. Dimana pada setiap variasi percobaan ini menggunakan jenis peluru, jarak, dan kecepatan yang sama, yaitu dengan jenis peluru *ogival nose*, jarak 2 meter dan 10x kokangan yang mewakili kecepatan dari peluru. Data variasi pengujian ini dijelaskan lebih lanjut dan tertera pada Tabel 3. Untuk foto spesimen setelah penetrasi sebagai data kuantitatifnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Data Pengujian Variasi Tiga Lapisan (*Triple-Layeres*)

| No | Jenis Percobaan | Keliling Crater (mm) | Tinggi Crater (mm) | Volume Crater (ml) | Kedalaman Peluru Masuk Balok (mm) | Deformasi Peluru | Keterangan |
|----|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------|------------|
| 1 | Variasi 1 | 26 | 3,4 | 0,1 | 3,82 | 5,00% | Tembus |
| 2 | Variasi 2 | 38 | 5,3 | 0,1 | 5,6 | 3,57% | Tembus |
| 3 | Variasi 3 | 32 | 7,6 | 0,15 | 5,2 | 2,14% | Tembus |
| 4 | Variasi 4 | 27 | 5,5 | 0,1 | 8,24 | 2,86% | Tembus |

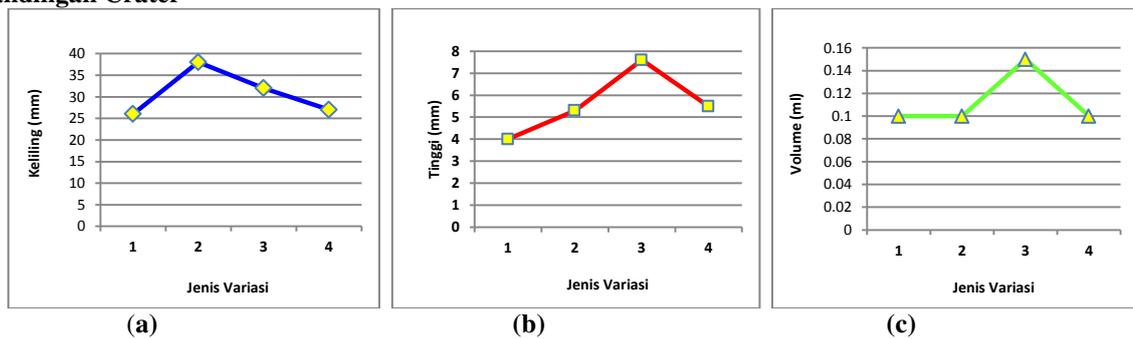
Tabel 4. Foto Pengujian Dengan Variasi Tiga Lapisan (*Triple-Layeres*)

| No. | Jenis Percobaan | Plat Depan | Plat Belakang | Peluru |
|-----|-----------------|---|--|---|
| 1 | Variasi 1 |  |  |  |
| 2 | Variasi 2 |  |  |  |



3.2. Analisa Data

a. Perbandingan Crater



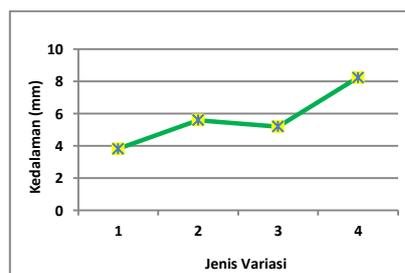
Gambar 14. Grafik Perbandingan (a) Keliling, (b) Tinggi, dan (c) Volume *Crater*

Pada Gambar 14. terlihat bahwa jumlah dan jenis lapisan material dengan variasi 2 memiliki keliling *crater* yang paling terbesar saat terjadi penetrasi, karena pada Tabel 4. yaitu pada foto pengujian terlihat bahwa setelah peluru dapat menembus lapisan tersebut terdapat retakan dengan kaki *crater* sedikit lebih panjang dibandingkan dengan variasi 3. Akan tetapi Tabel 3. menunjukkan nilai tinggi dan volume *crater* sebesar 7,6 mm dan 0,15 ml pada variasi 3, sehingga pada Gambar 4.1 terlihat variasi 3 memiliki tinggi dan volume *crater* paling besar. Gambar 14. juga terlihat bahwa variasi 1, memiliki tinggi dan keliling *crater* paling kecil, tetapi memiliki besar volume yang sama dengan variasi 2 dan variasi 4 yaitu sebesar 0,1 ml.

Dari hasil uji balistik ini didapatkan hasil berturut-turut mulai dari yang paling baik ketahanan balistiknya yaitu mulai jumlah dan jenis lapisan material variasi 1, variasi 2, variasi 4 dan yang terakhir adalah variasi 3 yang terlihat pada Tabel 3. memiliki kerusakan *crater* yang paling besar dibandingkan yang lain, hal ini menunjukkan ketahanan balistiknya paling kecil.

Dapat dilihat dari Table 3. diketahui menggunakan jenis peluru dengan bentuk yang sama yaitu *ogival-nose* yang ditembakkan dengan jarak dan kecepatan peluru secara konstan. Disini dapat diketahui bahwa momentum dan energy kinetik yang diberikan oleh peluru bernilai sama disetiap variasi. Sebelumnya udah diketahui bahwa ketahanan balistik yang paling baik adalah pada variasi 1, karena baja merupakan material target yang paling bagus ketahanan balistiknya, sehingga keruasan *crater*-nya juga diketahui paling kecil dibandingkan dengan material lainnya. Akan tetapi berbeda dengan variasi 3 yang mengkombinasikan baja dengan kawat ram memiliki kerusakan *crater* yang paling parah, hal ini dikarenakan pada saat peluru melakukan penetrasi dan terjadi perforasi dengan dapat menembus material target tidak terjadi gaya balik statis pada kawat ram, sehingga pada variasi 3 diketahui tinggi dan volume *crater* yang paling besar dibanding dengan variasi lainnya.

b. Perbandingan Kedalaman Peluru Masuk Balok

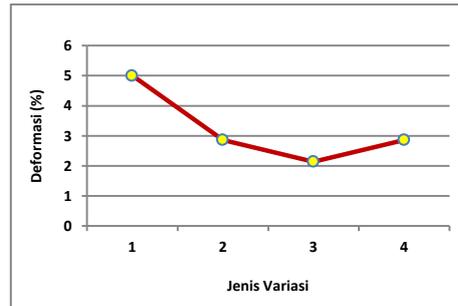


Gambar 15. Grafik Perbandingan Kedalaman Peluru Masuk Balok

Pada Gambar 15. terlihat bahwa pada variasi 4 peluru yang masuk balok paling dalam, karena material tembaga yang digunakan ketebalannya sangat kecil sehingga peluru dengan mudah menembus plat dan kecepatan sisa peluru ketika menembus balok masih besar. Pada variasi 1 kedalaman peluru masuk balok paling kecil dibandingkan dengan variasi 3, namun tidak sebesar variasi 2.

Dan dapat diketahui pula pada Gambar 5. bahwa grafik menunjukkan ketahanan balistik dengan material baja lebih bagus dibandingkan dengan material lainnya, hal ini diketahui dengan melihat Tabel 3. yaitu nilai kedalaman peluru masuk balok paling kecil pada variasi 1 sebesar 3,82 mm. Sehingga menunjukkan kecepatan dan energi sisa peluru setelah terjadi penetrasi pada lapisan baja paling kecil pula, karena kedalaman peluru masuk balok mengindikasikan kecepatan dan energi sisa peluru.

c. Perbandingan Deformasi Peluru



Gambar 5. Grafik Perbandingan Deformasi Peluru

Pada Gambar 5. terlihat bahwa variasi 1 memiliki deformasi yang paling besar karena semua lapisan berbahan material baja sehingga mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi disemua lapisan material target. Sedangkan pada variasi 2 dan variasi 4 deformasi peluru yang dimiliki sama besar. Namun pada variasi 3 deformasi pelurunya paling kecil diantara jumlah dan jenis lapisan material yang lain, karena pada variasi 3 lapisan baja dikombinasikan dengan kawat ram yang diketahui bahwa lembaran lapisan yang digunakan pada permukaan plat tidak merata melainkan terdiri dari lubang berbentuk segi empat dan terbuat dari kawat yang disusun secara berkesinambungan dengan panjang sisi lubang 3 mm. Dari sini dapat dianalisa bahwa saat peluru melakukan penetrasi, permukaan hidung peluru tidak semua menabrak bagian dari permukaan kawat ram, sehingga dapat diketahui kalau deformasi peluru yang didapat pada variasi 3 tidak maksimal dan paling kecil dibandingkan dengan variasi yang lain. Dari beberapa pernyataan diatas dapat diketahui bahwa semakin bagus ketahanan balistik *jumlah dan jenis lapisan material* maka energi peluru yang diserap oleh material target tersebut semakin besar. Hal ini berpengaruh pada deformasi pelurunya yang semakin besar pula, karena deformasi peluru merupakan indikasi dari energi peluru yang diserap oleh material target.

4. KESIMPULAN

- 1) Kombinasi lapisan baja dengan baja pada variasi baja (0,2 mm)-baja (0,2 mm)-baja (0,2 mm) ketahanan balistiknya paling bagus. Dikarenakan memiliki deformasi peluru paling besar sehingga kecepatan sisa dari peluru tersebut sangat kecil, dengan diketahui nilai dari kedalaman peluru masuk baloknya kecil.
- 2) Kombinasi baja dengan material lain pada variasi baja (0,2 mm)-kawat ram-baja (0,2 mm) ketahanan balistiknya paling buruk. Karena efek kerusakan *crater* yang sangat besar, namun memiliki deformasi peluru yang kecil sehingga tidak banyak energi peluru yang diserap oleh plat.

5. REFERENSI

- [1] Rusnaldy, Hartanto, I., Widodo, A., Prahasto, P. 2012. Baja Untuk Ketahanan Balistik: Penelitian, Tantangan dan Peluang, pp. MAT-068.
- [2] Ubeyli, M., Deniz, H., Demir, T., Ogel, B., Gurel, Keles, O. 2011. Ballistic impact performance of an armor materials consisting of alumina and dual pase steel layers. MAtaterials and design 32, pp. 1565-1570.
- [3] Babei, B., Shokrieh, M.M., Daneshjou, K. 2011. The ballistic resistance of multy-layered target impacted by rigid projectiles. Material science and engineering A 530, pp. 208-217.
- [4] Borvik, T., Leinum, J.R., Solberg, J.K., Hopperstad, O.S., Langseth, M. 2001. Observation on shear plug formation in weldox 460 E steel plates impacted by blunt-nose projectile. International journal of impact engineering 25, pp. 553572.