

## KARATERISTIK MAKRO DAN MIKRO PLAT BAJA-ALUMINIUM TERHADAP KETAHANAN BALISTIK

**Helmy Purwanto<sup>1\*</sup>, Rudy Soenoko<sup>2</sup>, Anindito Purnowidodo<sup>2</sup>, Agus Suprpto<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,  
Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang  
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
Jl. Mayjend. Haryono No. 167 Malang, 65145 Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang  
Jl. Terusan Raya Dieng 62-64 Malang  
helmypurwanto@unwahas.ac.id

### Abstrak

*Pengembangan material tahan balistik atau peluru tidak hanya pada material baja, tetapi mengarah pada material yang mempunyai massa jenis ringan. Aluminium merupakan alternatif material yang dapat diaplikasikan dalam konstruksi tahan balistik. Perpaduan kekerasan dan keuletan menjadi salah satu faktor untuk menahan laju peluru yang dikeluarkan dari senapan. Pembuatan panel ganda berlapis (layer) aluminium-baja atau baja-aluminium dilakukan untuk mengetahui ketahanan balistik dengan menggunakan peluru kaliber 5,56 x 45 mm (MU5-TJ) yang ditembakkan dari jarak 15 m. Aluminium cair dituang pada plat baja ketebalan 6 mm hingga menjadi satu-kesatuan plat ganda berlapis dengan metode squeeze casting. Hasil pengujian balistik menunjukkan panel aluminium-baja dan baja aluminium tidak dapat tertembus peluru walaupun terjadi penurunan kekerasan plat baja karena proses panas pada saat pengecoran. Lapisan yang lebih keras di sisi muka mempunyai ketahanan balistik yang lebih optimal dibandingkan dengan lapisan yang lebih lunak pada sisi depan dari arah laju peluru.*

**Kata kunci:** *plat berlapis, pengecoran squeeze, ketahanan balistik*

### PENDAHULUAN

Kekerasan dan ketangguhan merupakan sifat utama dari material terhadap katahanan balistik dari peluru yang dikeluarkan dari senapan. Untuk mendapatkan material yang tahan terhadap balistik diperlukan kombinasi yang optimal dari kekerasan, keuletan dan ketangguhan (Mishra, dkk., 2012; Jena, dkk., 2010; Maweja dan Stumpf, 2008; 2010).

Dewasa ini pengembangan material tahan balistik dilakukan untuk mengurangi berat dari konstruksi. Pemilihan material dengan massa jenis ringan baik dibuat sebagai paduan, komposit dan berlapis (*layer*) terus dikembangkan. Aluminium merupakan salah satu logam yang mempunyai massa jenis ringan dan jika dipadu serta diproses dengan metode tertentu akan meningkatkan kekuatan mekanisnya. Alternatif penggunaan aluminium sebagai material tahan balistik telah dikembangkan, penggunaan plat tunggal Al6061-T6 mampu mendistribusikan energi tumbukan sehingga terjadi deformasi plastis dan menurunkan terjadinya pita geser adiabatik (*Adiabatic Shear Band*; ASB) (Manes dkk., 2014). Komposit matrik aluminium Al-Zn-Mg dengan penguat silikon karbida dengan penambahan unsur Zn yang dibuat plat berlapis mampu meningkatkan kekerasan dan mempunyai kinerja yang lebih baik terhadap pengujian balistik (Syofyan dkk., 2012). Pada akhirnya penggunaan aluminium mampu menurunkan berat komponen, menyerap energi benturan antara peluru dan panel sehingga mampu meningkatkan ketahanan terhadap tumbukan. Paduan aluminium AA7055 komersial menunjukkan perbaikan sifat balistik setelah dilakukan proses penuaan (Mondal, 2011).

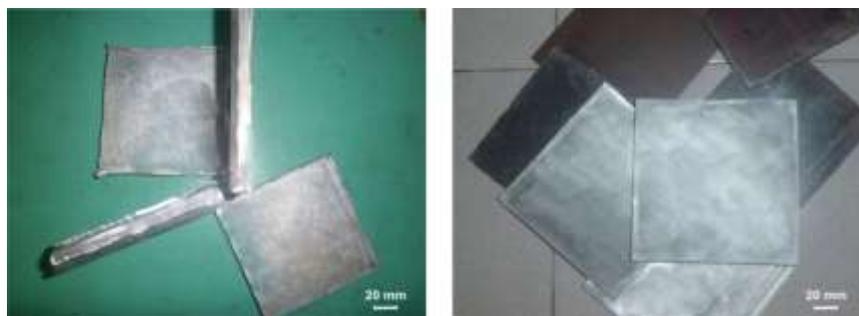
Baja yang dikeraskan telah banyak diaplikasikan sebagai material tahan peluru. Sifat kekuatan dan ketangguhan yang dapat ditingkatkan melalui proses mekanik dan perlakuan panas menjadi alasan utama penggunaan baja sebagai bahan konstruksi termasuk konstruksi tahan peluru, tetapi baja mempunyai massa jenis yang tinggi sehingga konstruksi yang menggunakan baja akan menjadi sangat berat.

Plat baja yang telah dikeraskan mempunyai kekuatan tinggi tetapi cenderung rapuh, penambahan ketebalan meningkatkan ketahanan balistik tetapi secara signifikan akan menambah

densitas konstruksi. Aluminium mempunyai masa jenis rendah tetapi mempunyai kekuatan yang rendah, sehingga jika kedua bahan dipadukan dalam bentuk plat berlapis (*layer*) sebagai panel berlapis telah dikaji. Tulisan ini akan mengkaji karakteristik makro dan mikro plat berlapis (aluminium-baja/baja-aluminium) setelah dilakukan pengujian balistik.

**METODE PENELITIAN**

Plat baja dengan kekerasan 478,75 BHN dengan ukuran 150 x 150 mm dan ketebalan 6 mm yang telah dimodifikasi permukaannya dimasukkan ke dalam cetakan pengecoran dan dipanaskan pada temperatur 300°C. Modifikasi permukaan plat baja dengan menggunakan baut dilakukan untuk mengabungkan plat baja dan aluminium cor yang akan dituangkan. Aluminium silikon (Al-Si) daur ulang dicairkan pada temperatur 700°C dituangkan pada plat tersebut dan ditekan dengan menggunakan hidrolis sebesar 114,65 MPa hingga membeku dan membentuk ketebalan lapisan aluminium 10 mm. Hasil pengecoran merupakan plat baja yang menyatu dengan aluminium (*layer*) yang digunakan sebagai panel uji balistik seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, sedangkan komposisi plat baja dan aluminium seperti pada tabel 1.

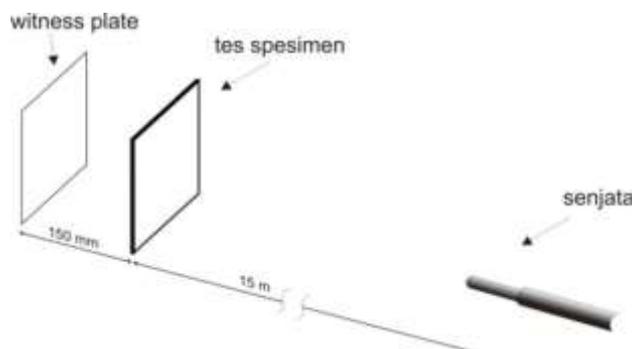


**Gambar 1. Hasil proses pengecoran aluminium pada plat baja sebagai panel balistik**

**Tabel 1. Komposisi bahan**

Material	Komposisi kimia
Plat Baja	0.29% C; 1.35% Mn; 0.32% Si; 0.02% P; 0.002% S; 0.005% Cr; 0.33% Ni; 0.20% Mo; Bal. Fe
Aluminium	12.2% Si; 0.53% P; 0.65% Ca; 0.411% Ti; 0.006% V; 0.071% Cr; 0.24% Mn; 1.38% Fe; 0.66% Ni; 0.69% Cu; 0.78% Zn; 0.05% Ga; 0.13% Sr; 0.2% Eu; 0.03% Os; Bal Al

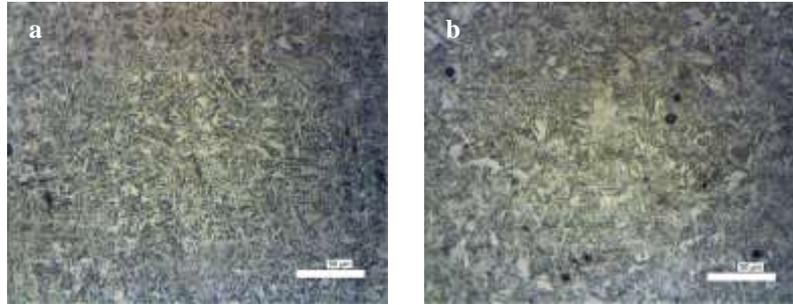
Panel uji balistik ditempatkan pada jarak 15 m dan ditembak dengan sudut serang normal (tegak lurus permukaan panel) dengan menggunakan senjata laras panjang dengan peluru kaliber 5,56 x 45 mm (MU5-TJ) level III-A. Seting pengujian balistik seperti ditunjukkan pada gambar 2. Pengujian dilakukan pada sisi aluminium (aluminium-baja) dan pada sisi baja (baja-aluminium).



**Gambar 2. Skema pengujian balistik**

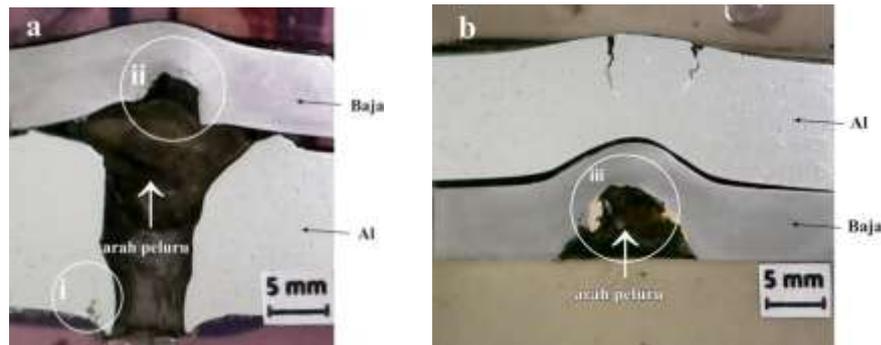
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penambahan aluminium silikon dengan cara pengecoran langsung pada salah satu permukaan plat baja justru berdampak pada penurunan kekerasan plat baja yaitu kekerasan menjadi 441,54 BHN. Hal ini diakibatkan ketika pemanasan plat sebagai cetakan dan penuangan aluminium cair berakibat pemanasan pada plat dan proses pendinginan yang lambat pada proses pembekuan aluminium terjadi dampak temper pada plat baja tersebut. Perubahan struktur mikro plat baja seperti terlihat pada gambar 3 yang nampak perubahan struktur martensitnya.



**Gambar 3. Perubahan struktur martensit (a). plat baja awal dan (b). plat baja yang telah dituang aluminium pada permukaannya.**

Hasil pengujian balistik pada plat aluminium-baja dan plat baja-aluminium seperti ditunjukkan pada gambar 4.

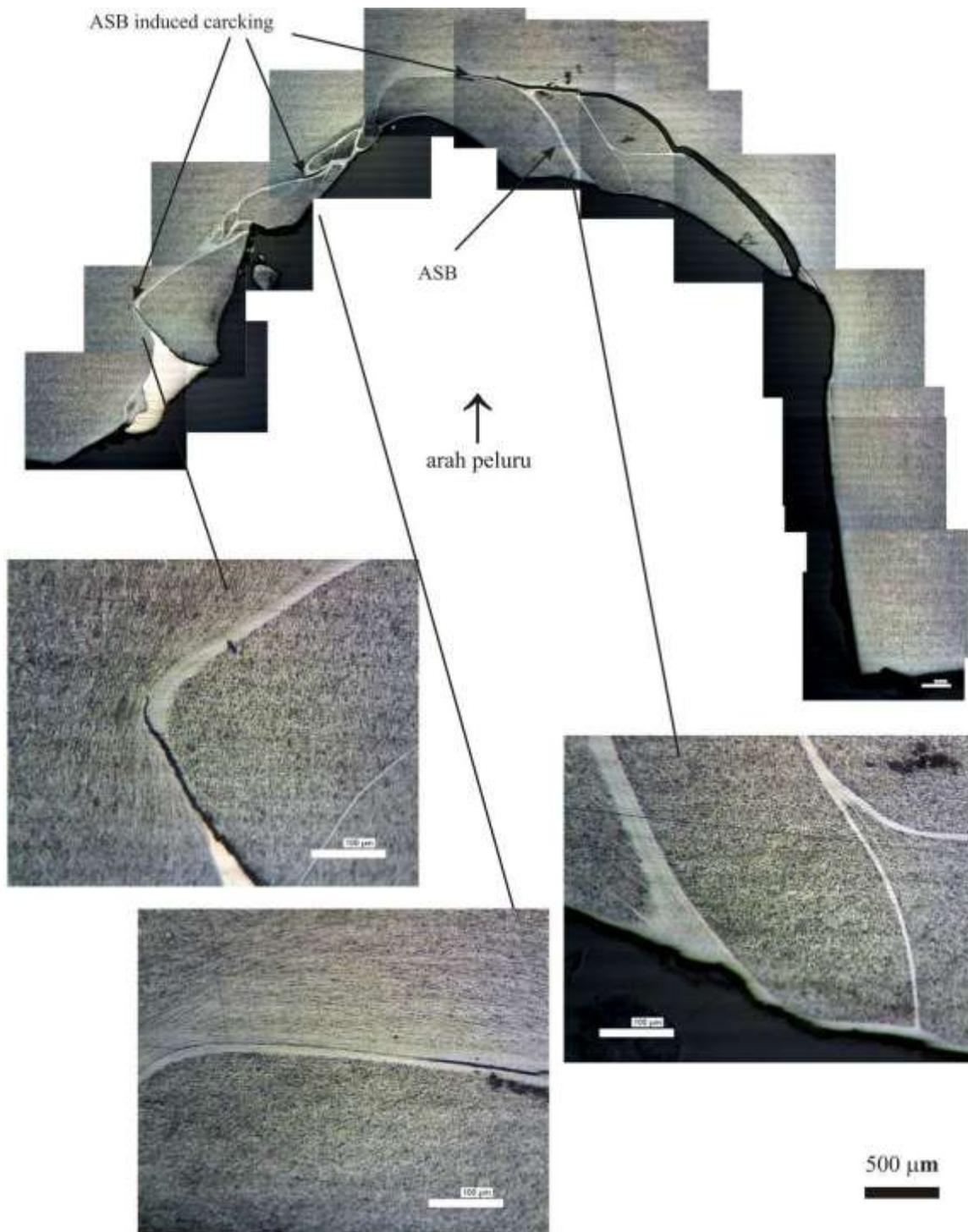


**Gambar 4. Penampang melintang hasil uji balistik pada (a). plat aluminium-baja dan (b). plat baja-aluminium.**

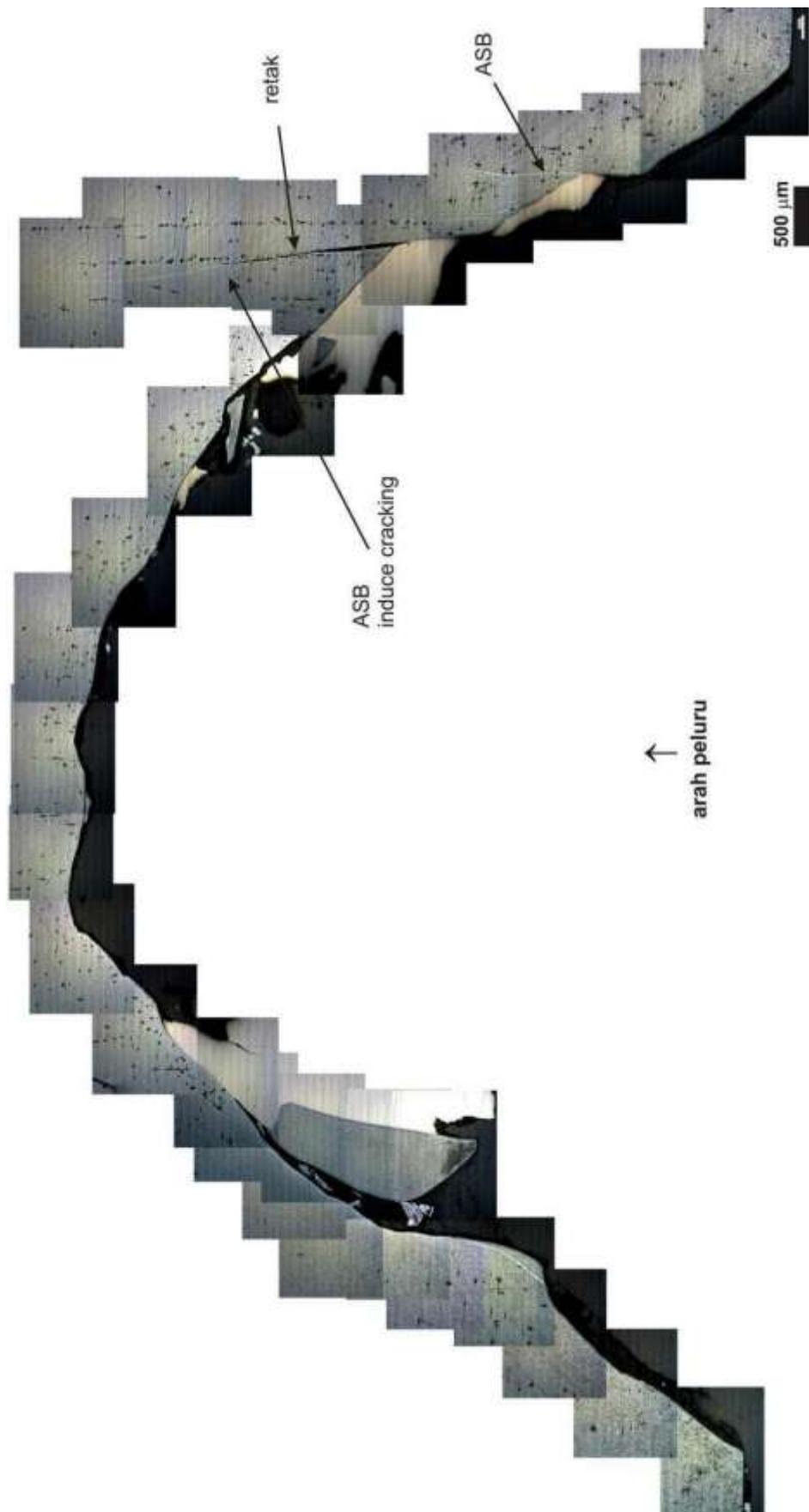
Peluru yang ditembakkan pada masing-masing plat ganda tidak tertembus baik dari sisi aluminium di muka maupun dari sisi baja di muka yang disatukan dalam bentuk *layer*. Pada gambar 4.(a). hasil pengujian balistik pada panel aluminium – baja, proyektil mampu menembus plat aluminium dan membentuk kelopak (*petal*) di sekeliling kawah dengan setinggi 1,4 mm dari permukaan plat. Hal ini menunjukkan sifat aluminium yang lunak dan mudah berdeformasi, sehingga terjadi deformasi plastis pada saat peluru dengan ujung kerucut membentur permukaan plat. Laju peluru masih cukup tinggi tetapi masih mampu ditahan oleh plat baja sehingga tidak sampai menembus lapis kedua. Tetapi energi dari laju peluru tersebut mampu mendeformasi plat baja sehingga menimbulkan luka seperti kawah yang cukup dalam. Kedalaman kawah pada plat baja sebesar 4,58 mm dan mendeformasi pada permukaan belakang dari plat baja tersebut.

Pada gambar 4.(b). pada plat baja – aluminium, peluru tertahan oleh plat baja dan menimbulkan deformasi dan membentuk kawah sedalam 5,8 mm hingga mendorong plat aluminium pada lapis kedua sehingga timbul retak pada permukaan luarnya. Deformasi aluminium akibat peluru tersebut setinggi 1,2 mm (pada permukaan belakang dari arah laju peluru). Permukaan plat baja pada sisi depan tidak timbul kelopak disekeliling kawah yang menandakan tidak terjadi deformasi ke arah samping dari arah laju peluru. Hal ini terjadi karena ujung peluru yang tajam mampu ditumpulkan oleh permukaan plat sesaat setelah membentur plat, sehingga plat tidak terdeformasi ke samping yang tidak ditandai oleh timbulnya kelopak.

Laju tumbukan proyektil pada baja yang keras berakibat muncul ASB dan ASB yang menyebabkan retak (*ASB induced cracking*). Munculnya ASB dan *ASB induced cracking* ini serupa yang dilaporkan oleh Mishra dkk., (2012) pada material baja armor kekuatan tinggi. Perbesaran foto pada plat baja yang terlihat retak dan ASB seperti ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5. Karakter balistik pada baja pada panel aluminium-baja (perbesaran “ii”)**



**Gambar 6. Karakter balistik pada baja pada panel baja-aluminium (perbesaran “iii”)**

Gambar 6 memperlihatkan struktur baja setelah dilakukan uji balistik pada *layer* baja-aluminium. Peluru yang melaju dan membentur plat baja-aluminium menimbulkan bekas pada baja. Hal ini membuktikan bahwa baja yang keras masih mempunyai sifat elastis karena masih mampu berdeformasi. Baja pada *layer* baja-aluminium terlihat juga ABS dan ABS yang menyebabkan retak seperti yang terjadi pada *layer* aluminium-baja.

Plat baja dengan kekerasan yang tinggi, jika terkena benturan peluru maka di sekitar dampak peluru akan mengalami regangan yang sangat tinggi dan laju regangan di sekitarnya. Sehingga pita geser terjadi di sepanjang dinding kawah. Pita pita geser adiabatik ini merambat ke arah yang berlawanan dengan arah laju peluru selama pelubangan oleh peluru atau terjadi ke bagian yang mempunyai regangan lebih rendah (Mishra dkk., 2012).

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pengamatan makro serta mikro, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan aluminium cor pada plat baja yang telah dikeraskan dapat menurunkan kekerasan plat baja tersebut, karena dalam pengaruh proses pemanasan cetakan dan plat serta penuangan aluminium cair hingga proses pembekuannya di atas plat baja menyebabkan pemanasan dan pendinginan lambat. Hal ini berakibat seperti proses temper yang ditandai dengan perubahan struktur martensit yang lebih terurai. Lapisan aluminium dapat terembus peluru karena proses deformasi plastis, tetapi plat baja mampu menahan laju peluru dan sedikit terjadi deformasi dan terlihat ABS dan ABS yang menyebabkan retak. Ketahanan balistik lebih optimal jika plat dengan kekerasan yang lebih tinggi diletakkan pada sisi depan dibandingkan dengan plat dengan kekerasan yang rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Manes, M. Pagani, M. Saponara, D. Mombelli, C. Mapelli, M. Giglio, 2014, Metallographic characterisation of Al6061-T6 aluminium plates subjected to ballistic impact, *Materials Science and Engineering: A*, In Press, Accepted Manuscript.
- Bidyapati Mishra, P.K. Jena, B. Ramakrishna, V. Madhu, T.B. Bhat, N.K. Gupta, 2012, Effect of tempering temperature, plate thickness and presence of holes on ballistic impact behavior and ASB formation of a high strength steel, *International Journal of Impact Engineering* 44: 17-28.
- Jena PK, Mishra B., Siva Kumar K, Bhat TB., 2010, An experimental study on the ballistic behavior of some metallic armour materials against 7.62 mm deformable projectile. *Materials and Design* 31: 3308–3316
- Jena PK, Mishra B., Ramesh Babu M, Babu A, Singh AK, Siva Kumar K, et al. 2010, Effect of heat treatment on mechanical and ballistic properties of a high strength armour steel. *International Journal of Impact Engineering* 37: 242–249.
- Kasonde Maweja, Waldo Stumpf, 2008, The design of advanced performance high strength low-carbon martensitic armour steels: microstructural considerations. *Mat Sci Eng A*;480:160-6.
- Mondal C, Mukhopadhyay AK, Raghu T, Varma VK., 2007, Tensile properties of peak-aged 7055 aluminum alloy extrusions, *Material Science Engineering A* ;454-455: 673-8.
- Mondal C., Mishra B. B., Pradipta K. Jena, K. Siva Kumar, T.B. Bhat, 2011, Effect of heat treatment on the behavior of an AA7055 aluminum alloy during ballistic impact, *International Journal of Impact Engineering* 38 (2011) 745-754
- Sofyan Djamil, Eddy S. Siradj, Andhika, Ludy Hendro, 2011, Sifat balistik komposit matrik logam yang diperkuat serat kawat baja dengan menggunakan 2 tipe anyaman, *Simposium Nasional RAPI X FT UMS*, M-13 – M-18.