

Karakterisasi Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Diameter 1.4 mm Satu Arah Berfraksi Volume 2.5, 5.0, dan 7.5 %

Hesti Ibrahim¹, Irene Angela¹, dan Bondan Tiara Sofyan^{1,a)}

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424.

^{a)}bondan@eng.ui.ac.id

Abstract.

Reinforced aluminium based composites have been extensively used in military sector for their capability to withstand penetration. In this research, ballistic properties of AA5083 Al-based composites with 2.5, 5.0, and 7.5 vol. % high carbon steel wire reinforcement attached using polyurethane adhesive was studied. Characterization was done through tensile testing, Charpy impact testing, ballistic testing, and visual inspection. Penetration in ballistic testing was performed using 7.62 and 9 mm bullet shot by SPR-1 gun. Fracture events were observed using high resolution camera. Results showed that higher toughness was achieved with higher volume fraction of reinforcement. Highest impact value and elastic modulus of 0.68 J/mm² and 39.2 GPa, respectively, were obtained from sample with 7.5 vol. % steel wire. Visual inspection on fracture areas signified that voids were present in the samples, indicating poor functionality of the polyurethane adhesive. (*Keywords: composites, aluminium, ballistic, reinforcement, volume fraction, steel wire*).

1 PENDAHULUAN

Material komposit kerap dimanfaatkan dewasa ini untuk berbagai aplikasi di bidang pertahanan dikarenakan sifat mekanisnya yang tinggi dan kemampuannya menyerap energi dengan berat jenis yang dapat dirancang sehingga lebih minim dibandingkan dengan pelat logam tahan peluru konvensional [1]. Baja merupakan bahan dasar panel anti peluru yang umum ditemukan. Namun terdapat kekurangan dari penggunaan material baja sebagai bahan dasar panel anti peluru dari segi densitasnya yang tinggi sehingga baja tidak cocok untuk bahan dasar produksi armor ringan [2]. Komposit dengan matriks aluminium merupakan salah satu contoh bahan alternatif yang banyak dikembangkan menimbang massa jenis matriks Al yang rendah. Bahan komposit berbasis Al memiliki kelebihan signifikan dibanding paduan Al dalam hal kekuatan dan kekakuan spesifik, daya impak, *damping capacity*, dan ketahanan fatik [3]. Penguat untuk matriks Al sendiri dapat berupa kawat baja karbon tinggi yang memiliki kekerasan, kekuatan, dan harga impak yang sangat baik [4]. AA5083 merupakan seri paduan aluminium dengan paduan utama berupa magnesium yang memiliki densitas rendah sehingga dapat mengakomodasi tingginya densitas penguat kawat baja karbon tinggi. Dalam penelitian ini dipelajari mengenai pengaruh variasi fraksi volume penguat dalam matriks komposit terhadap sifat mekanis akhir bahan.

Bahan perekat merupakan bahan yang berfungsi sebagai penguat ikatan antara matriks dengan penguat dalam sistem komposit. Penelitian yang dilakukan oleh Zaera [5] menunjukkan bahwa ketebalan lapisan bahan perekat berbanding lurus dengan deformasi plastis yang terjadi pada pelat AA2017 pada pengujian balistik penambahan bahan perekat pada lapisan komposit mampu meningkatkan area deformasi plastis pada pelat, membantu menyerap energi kinetik dari proyektil, dan mengurangi terjadinya fragmentasi. Salah satu bahan perekat yang umum digunakan adalah poliuretan yang memiliki sifat ulet pada kondisi kering, sehingga tercipta daya ikat yang baik antara matriks AA5083 dan penguat kawat baja karbon tinggi. Untuk itu, dalam penelitian ini digunakan bahan perekat berbahan dasar poliuretan yang inert, dan mampu membuat ikatan antara matriks Al dan penguat kawat baja.

2 MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan dasar pembuatan komposit terdiri dari pelat paduan AA5083 dengan ketebalan 6 mm, penguat kawat baja karbon tinggi 6 x 19 dengan diameter 1.4 mm sepanjang 30.5 cm, dan bahan perekat poliuretan (PU) *Seal 'N' Flex* dari Bostik Australia Ply Ltd. Pada Tabel 1 ditunjukkan komposisi matriks aluminium dan penguat kawat baja untuk setiap variasi fraksi volume penguat kawat baja. Preparasi bahan dilakukan dengan pengamplasan permukaan pelat aluminium dan kawat baja dengan amplas grit #120 untuk menstimulasi adanya ikatan antar muka antara matriks dan penguat. Digunakan sekitar 300 mL bahan perekat untuk manufaktur tiap sampel.

TABEL 1. Komposisi Pelat Komposit Al dengan Variasi Fraksi Volume Penguat Kawat Baja

Fraksi Vol. Penguat Kawat Baja (%)	Vol. Matriks Al (cm ³)	Vol. Total Komposit (cm ³)	Vol. Penguat Kawat Baja (cm ³)
2.5	1116.3	1144.92	28.62
5.0	1116.3	1175.05	58.75
7.5	1116.3	1206.81	90.51

2.2 Metode

Pemasangan penguat kawat baja dilakukan secara satu arah menggunakan alat bantu untuk meluruskan kawat dan cetakan yang didesain khusus untuk menarik kawat dan penyusunan laminat komposit yang lebih mudah. Terdapat dua buah cetakan yang digunakan, dimana satu cetakan dialokasikan untuk sampel dengan 2.5 vol. % penguat dan yang lainnya digunakan untuk sampel dengan 5 dan 7.5 vol. % penguat. Proses laminasi sampel diawali dengan penyusunan kawat baja pada cetakan sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan. Kawat yang dimasukkan ke dalam cetakan disimpul dan diberi penjepit rivet. Selanjutnya, bahan perekat PU dioleskan pada salah satu permukaan pelat AA5083 dan penyusunan komposit dilakukan dengan urutan pelat – cetakan kawat – pelat dengan bantuan mesin tekan hidrolik Krisbow bertekanan 30 MPa selama 5-7 jam. Setelah penekanan, proses *curing* dilanjutkan dengan membiarkan sampel di kondisi ruang selama 12 jam.

Karakterisasi dilakukan melalui uji tarik terhadap masing-masing bahan dasar komposit diikuti dengan uji impak sesuai standar ASTM E23 dan uji balistik pada pelat komposit hasil manufaktur. Uji balistik dilakukan dengan mengacu standar NIJ 0108.01 dimensi 12x12 in. menggunakan proyektil tipe II-A dan III yang ditembakkan menggunakan senapan laras panjang SPR-1 kaliber 7.62 dan 9 mm di PT. PINDAD Bandung. Hasil pengujian balistik selanjutnya diobservasi makro menggunakan kamera 5 MP.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Sifat Komposit Laminat Aluminium Balistik dengan Metode Mikromekanik

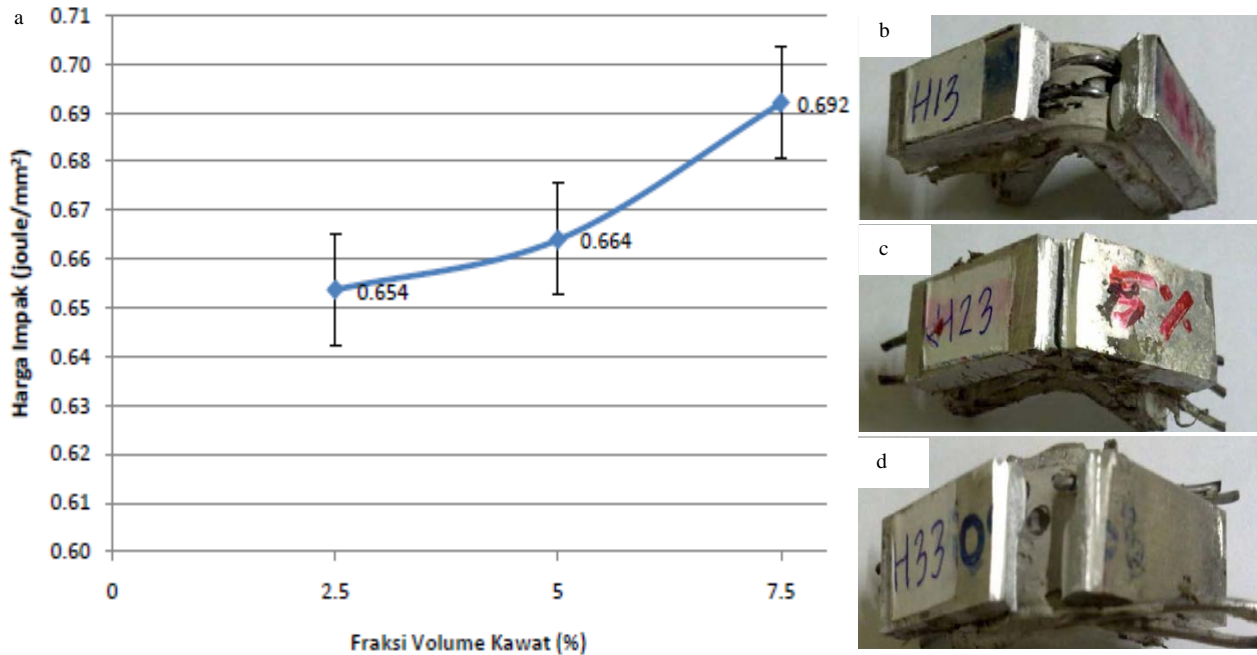
Metode mikromekanik [6] digunakan untuk menyimpulkan sifat mekanik dari komposit laminat dengan berdasar pada nilai modulus elastisitas yang didapat dari hasil uji tarik masing-masing bahan penyusun komposit. Nilai modulus elastisitas untuk pelat AA5083, bahan perekat poliuretan, dan kawat baja secara berturut-turut adalah 43.82, 0.00027, dan 112.177 GPa. Tabel 2 menunjukkan nilai kekakuan akhir komposit secara longitudinal (E_1) dan transversal (E_2) bervariasi sesuai dengan besar fraksi volume penguat yang diberikan.

TABEL 2. Pengaruh Fraksi Volume Penguat terhadap Modulus Elastisitas Komposit

vol. % Kawat Awal	AA5083		Kawat Baja		Perekat PU		E_1 (GPa)	E_2 (GPa)
	vol. %	E (GPa)	vol. %	E (GPa)	vol. %	E (GPa)		
2.5	77.26		1.98		20.76		36.08	0.00130
5.0	75.68	43.82	3.98	112.17	20.34	0.00027	37.63	0.00133
7.5	74.08		6.01		19.91		39.20	0.00136

Perbandingan nilai modulus elastisitas komposit secara longitudinal lebih besar dari arah transversal ($E_1 > E_2$), yang mengindikasikan adanya sifat anisotropi [7] dalam komposit. Anisotropi membuat komposit memiliki sifat mekanis yang unggul pada satu arah. Dalam Tabel 2 terlihat bahwa penambahan fraksi volume penguat dapat meningkatkan nilai modulus kekakuan longitudinal akhir komposit namun tidak memberikan dampak signifikan pada nilai E_2 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit akan memiliki kekuatan yang baik pada satu arah yaitu arah longitudinal dikarenakan susunan penguatnya yang dibuat satu arah.

3.2 Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penguat Kawat Baja terhadap Kekuatan Impak Laminat Komposit



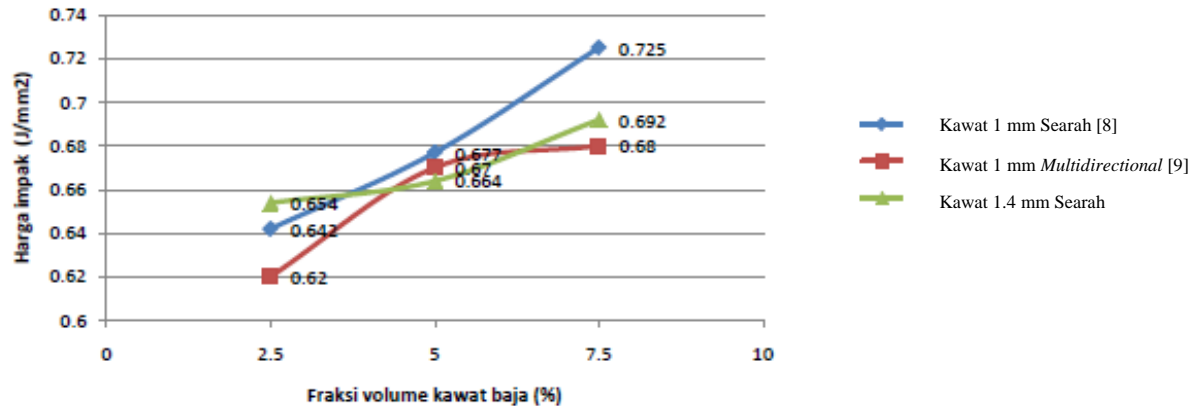
GAMBAR 1. (a) Dampak Positif Penambahan Fraksi Volume Penguat Kawat Baja terhadap Peningkatan Harga Impak Laminat; Patahan Sampel Hasil Uji Impak dengan Variasi Fraksi Volume Kawat Penguat sebesar (b) 2.5%, (c) 5.0%, dan (d) 7.5%. Tanda Panah Merah Menunjukkan Lokasi Void

Gambar 1 (a) menunjukkan hasil uji impak untuk laminat dengan fraksi volume penguat kawat baja sebesar 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % yang nilainya secara berturut-turut adalah 0.654, 0.664, dan 0.692 J/mm². Penambahan jumlah penguat diberikan membuat peningkatan harga impak komposit. Bentuk patahan sempurna di bagian takik terlihat pada Gambar 1 (b,d) yang merupakan sampel dengan penguat sejumlah 2.5 dan 7.5 vol. %. Hasil pengamatan ini berkorelasi sesuai dengan hasil uji impak terhadap kedua sampel tersebut yang memiliki harga impak (HI) yang tinggi. Nilai HI yang tinggi membuat rambatan energi dari bagian belakang hingga depan pelat dapat mengalir tanpa hambatan yang berarti. Dalam seluruh observasi perpatahan di Gambar 1 (a-c) tidak ditemukan adanya kerusakan pada penguat kawat baja di seluruh sampel uji impak.

Gambar 1 (b,d) memperlihatkan adanya void makro yang ditunjukkan oleh tanda panah merah. Fenomena void umum ditemukan pada komposit yang menggunakan bahan perekat sebagai media hubungan antarmuka matriks dengan penguat. Pada penelitian ini telah dilakukan penekanan menggunakan mesin tekan hidrolik untuk minimalisasi void namun tetap terdapat udara yang terperangkap dan sulit untuk keluar dikarenakan kerapatan bahan perekat. Adanya void menyebabkan deviasi antara volume komposit teoritis dan aktual, ketebalan akhir komposit, dan berkurangnya efek lekat antara matriks dan penguat sehingga menyebabkan peredaman energi kinetik dari tembakan proyektil berkurang saat uji balistik dan menyebabkan kegagalan.

3.3 Pengaruh Diameter dan Arah Susun Penguat Kawat Baja terhadap Harga Impak Komposit

Gambar 2 memperlihatkan perbandingan harga impact komposit berpenguat kawat baja diameter 1 mm yang disusun searah [8] dan *multidirectional* dengan arah $0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$ [9] terhadap harga impact komposit berpenguat kawat baja diameter 1.4 mm dalam penelitian ini dengan parameter vol. % penguat kawat baja konstan.



GAMBAR 2. Perbandingan Harga Impact Komposit dengan Variasi Diameter dan Arah Susun Penguat Kawat Baja[8, 9] dengan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. %.

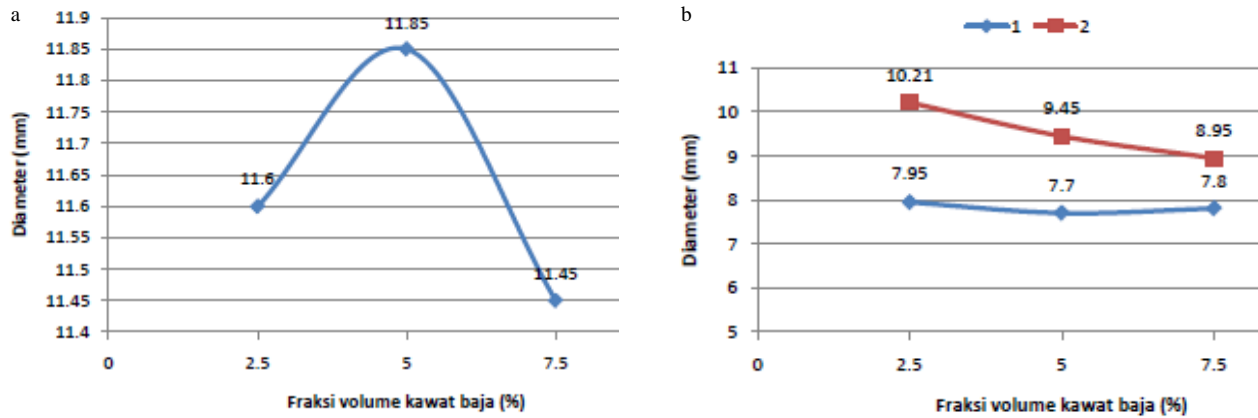
Komposit berpenguat kawat baja 1 mm yang disusun *multidirectional* memiliki harga impact terendah yaitu 0.62 J/mm² dari ketiga jenis komposit dengan 2.5 vol. % penguat kawat baja. Sementara harga impact tertinggi dari pelat dengan 2.5 vol. % penguat dimiliki oleh komposit berpenguat kawat baja 1.4 mm disusun searah. Komposit dengan susunan *multidirectional* memiliki harga impact terendah sesuai dengan prinsip anisotropi yang hanya dapat memperkuat komposit dengan penguat satu arah[7]. Penurunan harga impact komposit dengan 5 vol. % kawat baja 4 mm terjadi dikarenakan munculnya banyak rongga dikarenakan penyebaran bahan perekat poliuretan yang tidak merata. Harga impact tertinggi sebesar 0.725 J/mm² dimiliki oleh pelat berpenguat kawat baja 1 mm searah yang memiliki sifat anisotropi dan jumlah *void* minim.

3.4 Pengaruh Fraksi Volume Penguat Kawat Baja terhadap Hasil Uji Balistik Komposit

Hasil uji balistik pelat komposit diobservasi secara makro lewat pengukuran diameter hasil perforasi dari proyektil 7.62 dan 9 mm. Gambar 3 (a) memperlihatkan bahwa penembakan proyektil 9 mm hanya menghasilkan penjejakan pada permukaan pelat tanpa terjadi penembusan sebesar 11.60, 11.85, dan 11.45 mm secara berturut-turut pada pelat dengan fraksi volume penguat sebanyak 2.5%, 5.0%, dan 7.5%. Energi yang dihasilkan oleh proyektil lebih rendah dibandingkan dengan energi impact pelat komposit sehingga dalam hal ini hanya terjadi penetrasi sebagian [10]. Diameter penjejakan yang besar pada pelat dengan 5.0 vol. % kawat baja diperkirakan terjadi akibat lokasi penjejakan yang berada di daerah dengan minim penguat dan memiliki banyak volume udara terperangkap sehingga hasil uji balistik yang diperoleh tidak sejalan dengan hasil uji impact pelat bersangkutan yang memiliki nilai lebih tinggi dari harga impact pelat dengan 2.5 vol. % penguat.

Gambar 3 (b) menunjukkan diameter perforasi proyektil 7.62 mm di lokasi 1 – permukaan pelat; dan 2 – bagian dalam komposit. Diameter penjejakan bagian luar pada ketiga pelat bernilai hampir identik dikarenakan beban kejut hanya mengenai matriks aluminium bagian luar komposit. Terdapat perbedaan diameter penjejakan proyektil di bagian dalam komposit yaitu sebesar 10.21, 9.54, dan 8.95 mm secara berturut-turut untuk pelat dengan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % kawat baja yang diakibatkan oleh perbedaan sistem penguatan dalam masing-masing sampel. Pelat dengan komposisi penguat terbesar memiliki jejak proyektil di bagian dalam yang paling kecil oleh karena adanya mekanisme penyerapan energi impact yang paling baik. Hasil analisis makro terhadap patahan hasil uji balistik dengan proyektil 7.62 mm menunjukkan bahwa proyektil masuk melewati matriks AA5083 tanpa meninggalkan jejak kecuali bentuk kelopak bunga di permukaan luar pelat yang terjadi akibat gaya spiral proyektil. Kawat baja

putus setelah terkena proyektil dan menyebabkan arah jalan proyektil menjadi berantakan sehingga bagian belakang pelat akan pecah atau memiliki bekas penjejakan yang tidak teratur ketika peluru keluar [11].



GAMBAR 3. Diameter (a) Penetrasi Parsial Hasil Perforasi Proyektil Kaliber 9 mm; dan (b) Penetrasi Kaliber 7.62 mm pada Pelat Komposit AA5083 dengan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % Penguat Kawat Baja 1.4 mm.

4 KESIMPULAN

1. Harga impact komposit meningkat seiring peningkatan fraksi volume penguat sebesar 0.654, 0.664, dan 0.692 J/mm² pada penambahan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % penguat kawat baja.
2. Kekuatan dan ketahanan balistik pelat komposit meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume penguat dinilai dari semakin kecilnya diameter perforasi akibat penetrasi proyektil pada pelat komposit hasil uji balistik. Komposit dengan penguat kawat baja sebanyak 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % memiliki diameter penjejakan sebesar 11.60, 11.85, dan 11.45 mm hasil penetrasi parsial dari penembakkan proyektil kaliber 9 mm dan sebesar 14.4, 15.9, dan 16.25 mm pada hasil perforasi proyektil 7.62 mm.
3. Ketahanan pelat terhadap proyektil bernilai semakin baik dengan semakin kecilnya diameter penjejakan pada bagian depan pelat, sementara diameter perforasi yang lebih besar dan tidak teratur di bagian belakang komposit mengindikasikan adanya penyerapan energi impact dari penembakkan oleh pelat komposit yang lebih baik.
4. Komposit dengan penguat yang disusun pada satu arah memiliki harga impact yang lebih baik dibandingkan komposit dengan penguat yang disusun secara *multi-directional*.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini terlaksana melalui pendanaan sebagian dari Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2017 dari Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) Republik Indonesia.

REFERENSI

1. M. Ubeyli, R. O. Yildirim, dan B. Ogel, *On the Drop-weight Testing of Alumina/Aluminum Laminated Composite* (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Universitesi Muhendislik Fakultesi, Ankara, 2005).
2. M. Ubeyli, R. O. Yildirim, dan B. Ogel, *On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors*, *Mat. and Design* **28**, 1257-1262 (2007).
3. Pengaksesan informasi: <http://www.shiyata.co.jp/English/GIS3252E/rope6X19E.htm>.
4. *Certificate of Test Steel Wire Rope*, USHA SIAM Steel Industry Public Co. Ltd. (2009).

Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) X 2017

8 November 2017

5. R. Zaera, S. Sanchez-Saez, M. Sanchez-de la Sierra, J. L. Perez-Castellanos, dan C. Navaro, *Influence of the Adhesive in the Ballistic Performance of Ceramic Faced Plate Armours* (Proc. 18th Ballistics Symposium, San Antonio, 1999).
6. F. L. Matthews dan R. D. Rawlings, *Composite Materials: Engineering and Science* (Chapman & Hall, London, 1994).
7. R. M. Christensen, *Stress Based Yield/Failure Criteria for Fiber Composites*, Int. J. Solids Structures **34**, 529-534 (1997).
8. R. Muhammad, *Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5%, 5%, dan 7.5%* (Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2010).
9. L. P. Novian, *Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan (00/90o/0o) dan Fraksi Volume 2.5%, 5%, dan 7.5%* (Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2010).
10. A. Basuki, *Ketahanan Balistik Baja Tahan Peluru Produksi dalam Negeri terhadap Penetrasi Proyektil 5.56 mm*, (Prosiding Seminar Nasional Metalurgi dan Material, Cilegon, 2010).
11. Pengaksesan informasi: http://karws.gso.uri.edu/jfk/scientific_topics/wound_ballistics/how_a_high-speed.html.