

Rekayasa dan Manufaktur Material untuk Meningkatkan Ketahanan Balistik (Review Artikel)

Helmy Purwanto^{1,a)}, Rudy Soenoko², Anindito Purnowidodo², Agus Suprpto³

¹ Mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang

² Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

³ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka, Malang

a) helmypurwanto@unwahas.ac.id

Abstract.

Ketahanan balistik adalah kemampuan terhadap beban dampak yang diakibatkan dari laju proyektil. Penelitian dan pengembangan material tahan balistik telah banyak dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan balistik serta menurunkan berat jenisnya untuk digunakan pada kendaraan militer. Peningkatan ketahanan balistik dilakukan meliputi rekayasa material baru maupun manufakturnya. Penemuan dan rekayasa material baru maupun manufaktur ditulis dalam artikel ini. Telah dilakukan rekayasa material melalui perlakuan panas pada logam dan pembuatan komposit dengan material keramik maupun material polimer. Dampak balistik pada sampel panel memperlihatkan karakteristik yang berbeda pada setiap jenis material dan manufakturnya.

Ballistic resistance is the ability to impact loads that result from the projectile rate. Research and development of ballistic resistant materials has been widely applied with the aim of improving ballistic resistance as well as reducing the area density for use on military vehicles. Improved ballistic resistance involves engineering of new materials and manufacturing. The discovery and engineering of new materials as well as manufactures is written in this article. Material development has been done through heat treatment on metals and composite making with ceramic materials and polymer materials. The ballistic impact on panel samples shows different characteristics on each type of material and its manufacturing

Kata kunci : material, manufaktur, tahan balistik

1 PENDAHULUAN

Ketahanan balistik adalah kemampuan beban yang diakibatkan oleh beban dampak. Beban dampak biasanya bersumber dari laju proyektil atau pecahannya. Material tahan balistik adalah material yang mampu menahan laju proyektil. Laju proyektil dengan kecepatan super tinggi sehingga mempunyai gaya dampak yang besar harus mampu diserap dan ditahan oleh material tahan balistik. Sedangkan pengembangan material sebagai bahan proyektil adalah sebaliknya, yaitu pemilihan material yang mampu menembus material tahan balistik.

Material tahan balistik banyak diaplikasikan pada peralatan militer [1] seperti pada kendaraan lapis baja, kendaraan tempur dan kendaraan taktis lainnya serta pakaian atau rompi tahan peluru. Kendaraan militer digunakan sebagai kendaraan serang dan kendaraan pertahanan. Ketahanan balistik, mobilitas dan kelincahan serta efisiensi menjadi faktor dalam perancangannya [2]. Pengembangan material baja sebagai konstruksi kendaraan tempur telah banyak ditemukan, tetapi baja masih menjadi bahan utama dalam konstruksi kendaraan tempur [3]. Baja mudah di manufaktur dan dipadukan maupun dikombinasi dengan material lain sebagai komposit/komposit berlapis. Fungsi utama material armor adalah sebagai proteksi dan konstruksi [4].

Kemampuan material tahan balistik tidak hanya pada sifat kekerasannya saja, sifat yang lain seperti kekuatan dan ketangguhan harus dipadukan [5]. Ketebalan material juga berpengaruh terhadap ketahanan balistik. Semakin tebal maka ketahanan balistik semakin naik. Ketebalan akan berpengaruh terhadap berat kontuksi. Semakin tebal maka berat kontruksi juga menjadi semakin besar karena luasan densitinya meningkat. Sehingga berpengaruh terhadap mobilisasi jika digunakan sebagai rompi maupun kendaraan militer. Keberhasilan misi militer adalah mampu menyerang, melindungi dan mampu melarikan diri dengan aman jika dalam keadaan terdesak dalam pertempuran [6]

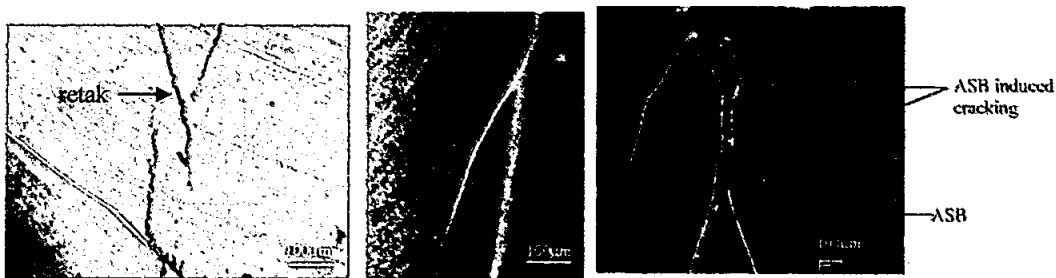
Pengembangan material tahan balistik meliputi pengembangan material baru melalui rekayasa pemaduan, perlakuan panas pada baja, dan manufakturnya dengan ketahanan balistiknya meningkat dan luasan densitinya menurun. Artikel ini bertujuan merangkum dan mengulas hasil penelitian pengembangan material tahan balistik melalui melalui rekayasa material dan manufakturnya untuk meningkatkan ketahanan balistiknya yang ditinjau dari dampak proyektil pada material tahan balistik.

2 REKAYASA MATERIAL TAHAN BALISTIK

Rekayasa material telah banyak dilakukan dan diteliti dampak akibat proyektil yang terjadi pada material. Material yang telah banyak diaplikasikan sebagai material tahan balistik seperti baja, aluminium, keramik, komposit dengan penguat serat kaca, komposit berlapis [1] dan lain sebagainya.

Perlakuan pengerasan dengan celup dan dilanjutkan temper pada berbagai variasi suhu menghasilkan dampak yang berbeda. Temper suhu rendah mampu meningkatkan ketahanan balistik [5]. Struktur martensit hasil celup masih terlihat pada temper suhu rendah. Temper pada suhu yang rendah mempertahankan kekerasannya. Kekerasan yang tinggi mampu menurunkan kedalaman penetrasi ujung proyektil pada sampel uji. Penggunaan logam ringan tidak lebih baik dibandingkan dengan baja ditinjau dari luasan densitinya [7]. Aluminium 7017 dalam bentuk plat tebal yang telah dirol belum mampu menahan laju proyektil pada luasan density yang sama pada baja yang distemper suhu rendah. Perlakuan panas pada baja SCr 440 meningkatkan ketahanan balistik akibat kenaikan kekerasannya [8].

Austenisasi pada suhu 910°C , dilanjutkan proses temper dan rol menghasilkan formasi ASB (*Adiabatic Shear Band*) pada daerah disekitar lubang balistik [9]. Pita adiabatic ini muncul panas akibat gaya geser tidak sempat dipindahkan kesekelilingnya [10] yang terjadi pada daerah yang sempit [11]. Munculnya pita ini dapat menyebabkan kerusakan pada plat baja [12] akibat pembentukan mekanik [13]. Lubang yang terbentuk akibat tumbukan proyektil merupakan mekanisme penyebaran retak yang terjadi pada material [14]. Pembentukan pita adiabatic dan retak seperti terlihat pada Gambar 1.



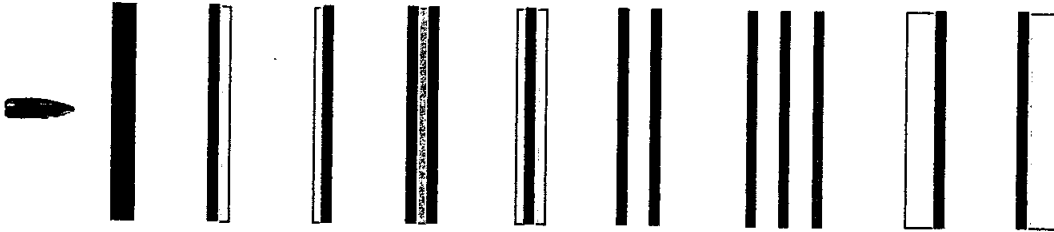
GAMBAR 1. Pita adiabatic dan retak pada plat baja setelah dilakukan uji balistik [9]

Penggunaan baja dengan kandungan Nikel (Ni), Chrom (Cr) dan Molibdenum (Mo) banyak diaplikasikan pada kendaraan lapis baja [14] Adanya kandungan unsur tersebut mampu meningkatkan kekerasan dan ketahanan karat seperti pada baja perkakas. Penambahan karbida silicon pada aluminium mampu meningkatkan ketahanan balistik dan mengurangi luasan densitas [15]. Penambahan 10 % silicon karbida menghasilkan kinerja balistik yang lebih unggul dibanding komposit Al-Zn-6Mg dengan unsur paduan 5 wt.% Zn.

Rekayasa material dilakukan untuk meningkatkan kekerasan. Material tahan balistik secara umum meningkat seiring dengan naiknya nilai kekerasan. Pada titik optimal kekerasannya, ketahanan balistik menurun. Hal ini disebabkan kegagalan pergeseran [16]. Hal yang sama juga berlaku pada kedalaman penetrasi proyektil, kekerasan optimal dibutuhkan untuk ketahanan balistik yang optimal juga [5].

3 MANUFAKTUR MATERIAL TAHAN BALISTIK

Manufaktur dalam konstruksi juga dapat berpengaruh terhadap ketahanan balistik. Karakter balistik dipengaruhi oleh kekerasan untuk memecah ujung proyektil dan ketangguhan untuk menyerap energy benturan [17]. Manufaktur untuk meningkatkan ketahanan balistik dapat dilakukan dengan sistem lapisan, baik ganda maupun multi lapis (*multi layered*). Bentuk manufaktur berlapis atau juga disebut sandwich dilakukan pada material yang sama maupun pada material yang berbeda sehingga dapat juga disebut komposit berlapis. Telah banyak penelitian yang dikembangkan baik secara simulasi maupun eksperimen laboratorium. Gambar skema pembuatan plat berlapis seperti terlihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Sekema susunan pembuatan plat tunggal dan berlapis [17, 18, 19, 20]

Penggunaan software yang berbasis elemen hingga dilakukan untuk mensimulasi kinerja plat tahan balistik. Penggunaan plat baja tunggal mempunyai kinerja balistik yang lebih baik dibandingkan plat baja dan aluminium dengan ketebalan yang sama [18] dengan menggunakan simulasi LS-DYNA. Simulasi dan eksperimen dengan membuat lapisan tipis karet, teflon dan busa aluminium pada keramik. Lapisan karet tidak mampu memperlambat tegangan dibandingkan dengan lapisan teflon dan busa aluminium. Tetapi kerusakan keramik menjadi minimal dibandingkan dengan lapisan teflon dan busa aluminium [19]. Walaupun karet tidak signifikan menurunkan ketahanan balistik tetapi mampu meredam dan menurunkan kerusakan keramik akibat benturan proyektil. Kerusakan arah radial terjadi pada keramik dengan tambahan teflon dan busa aluminium.

Penambahan elastomer pada logam berpengaruh terhadap ketahanan balistik peluru tumpul [20]. Fase viskoelastik menyebabkan berkurangnya tekanan balistik. Lapisan elastomer pada menyebabkan distribusi energy menyebar rata pada permukaan plat. Penggunaan jenis elastomer yang berbeda berpengaruh terhadap kinerja balistik, karena setiap jenis elastomer mempunyai viskoelastik yang berbeda. Sehingga daya serap energinyapun berbeda [21].

Penggunaan proyektil dengan ujung tumpul pada plat tunggal dan berlapis serta diberikan celah diantara plat dilakukan untuk mengetahui kinerja balistiknya [22]. Semakin tebal plat ketahanan balistiknya semakin baik, pemberian celah antara kedua plat dapat meningkatkan ketahanan balistiknya, semakin lebar celah maka ketahanan balistiknya semakin baik. Susunan plat yang lebih tebal pada bagian muka juga menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan plat yang tipis dengan total tebal yang sama. Hasil percobaan juga menunjukkan plat tunggal lebih baik dibandingkan dengan plat tipis berlapis.

Pembuatan plat berlapis ganda hingga enam lapisan telah dilaporkan [23]. Ujung proretil hemispherical ditembakkan untuk mengetahui balistik limitnya. Balistik limit meningkat seiring dengan jumlah lapisan plat. Penambahan celah udara antar plat sedikit berpengaruh terhadap ketahanan balistik. Pemilihan plat tebal pada bagian depan mempunyai kinerja balistik yang lebih baik dibandingkan plat tipis pada bagian depan. Plat berlapis dengan jenis plat yang berbeda juga berpengaruh terhadap kinerja balistik. Plat dengan kekuatan tinggi pada yang diletakkan pada sisi depan memiliki ketahanan balistik yang lebih baik dibandingkan dengan susunan sebaliknya [24] Manufaktur plat monolitik menghasilkan balistik *limit velocity* lebih tinggi dibandingkan dengan plat yang dibuat berlapis [25].

Analisa kecepatan sisa dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi berbasis elemen hingga. Lapisan dengan kombinasi aluminium-poliurea menunjukkan hasil yang bahwa penambahan poliurea menunjukan pengurangan kecepatan sisi proyektil [17]. Penambahan poliurea pada plat aluminium mampu menyerap energi laju proyektil [26]. Penyerapan energi dihitung dengan sisa kecepatan proyektil setelah menembus panel balistik. Penambahan poliurea juga dapat menurunkan luasan densiti. penambahan poliurea pada sisi belakang mempunyai ketahanan balistik yang lebih unggul dibandingkan dengan pada sisi belakang.

Penambahan karet diantara plat tahan karat dan komposit hibrida dilakukan untuk mengetahui ketahanan balistik dari berbagai sudut serang [27]. Penambahan karet secara umum mampu meningkatkan ketahanan balistik. Sedangkan perbedaan sudut serang berakibat pada pembentukan deformasi pada plat. Penambahan keramik alumina pada plat UHMPE yang diantara lapisan tersebut diberikan material yang divariasikan Ti_6Al_4V , *carbon fiber plate*, paduan aluminium [28] Lapisan Ti_6Al_4V memperlihatkan kinerja balistik yang paling baik dibandingkan dengan pemilihan material lainnya. Lapisan ini meningkatkan keseimbangan energi pada lapisan tengah yaitu plat UHMPE.

4 KESIMPULAN

Material tahan balistik terus dikembangkan baik dari pemaduannya, melalui perlakuan panas, pemilihan material baru maupun proses manufakturnya. Dampak balistik beberapa rekayasa material dan manufaktur memperlihatkan karakteristik balistik yang terlihat dan terukur pada sampel. Upaya yang dilakukan dalam pengembangan plat tahan balistik adalah peningkatan ketahanan balistik dan pengurangan luasan densitinya.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui Program Hibah Disertasi Doktor dengan nomor kontrak 025/K6/SP2H/PENELITIAN/2017. Diucapkan terimakasih kepada Bapak Menteri beserta jajarannya.

REFERENSI

1. Karagoz, S., Atapek, H. & Yilmaz, A. 2008. A. Microstructural Characterization And Effects On Mechanical Properties Of Boron Adde Armour Steel. *13th International Conference On Applied mechanics And Mechanical Engineering*. Cairo.
2. Montgomery, S. & Chin, E. 2004. Protecting a Future Force- A New Generation of Metallic Armors Leads The Way. *AMPTIAC Quarterly*. 6.
3. Kılıç, N. & Ekici, B. 2013. Ballistic Resistance Of High Hardness Armor Steels Against 7.62 Mm Armor Piercing Ammunition. *Materials and Design*. 44: 35–48.
4. Rahmalina, D.. 2012. Pengembangan Komposit Matrik Aluminium Sebagai Material Armour dengan Keunggulan Karakteristik Balistik. *Disertasi Program Doktor* (tidak dipublikasikan) Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik. Jakarta : Universitas Indonesia.
5. Jena, P.K., Mishra B.I., Ramesh. B.M., Babu, A., Singh, A.K. & Siva Kumar, K. 2010. Effect Of Heat Treatment on Mechanical And Ballistic Properties Of A High Strength Armour Steel. *International Journal of Impact Engineering*. 37: 242–249.
6. Brinson, L.C, Allison, J., Julie Chen, Clarke, D.R., Cowles, B., George, T., Greene, E., Harris, W.L. , Mehta, M., Olson, G.B., Saff, C., Tenney, D.R., Zok, F.W., (Committee On Benchmarking The Technology And Application of Lightweighting). 2012. *Application of Lightweighting Technology to Military Aircraft, Vessels, And Vehicle*. Washington DC: National Academy Press : 93
7. Jena, P.K, Mishra, B.I, Siva Kumar, K. & Bhat, T.B. 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
8. Bandanadjaja, B., Basuki, A. & Siswosuwarno, M. 2008. Perilaku Balistik Baja Komersial SCr 440 dengan Kekerasan Berlapis (dual hardness) dalam Simulasi dan Eksperimen, *Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Mesin*. A 31 – A 36. Yogyakarta : UII
9. Mishra, B., Jena, P.K., Ramakrishna, B., Madhu, V., Bhat, T.B. & Gupta, N.K. 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.
10. Kim, D.K., Lee, S. & Baek, W.H. 1998. Microstructural Study Of Adiabatic Shear Bands Formed by High-Speed Impact In A Tungsten Heavy Alloy Penetrator. *Materials Science and Engineering A*. 249: 197–205

Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) X 2017
8 November 2017

11. Molinari, A., Musquar, C. & Sutter, G. 2002. Adiabatic Shear Banding In High Speed Machining of Ti-6Al-4V: Experiments and Modeling. *International Journal of Plasticity*. 18: 443-459
12. Cho, K., Chi, Y.C. & Duffy, J. 1990. Microscopic Observations of Adiabatic Shear Bands In Three Different Steels. *Metallurgical Transactions A*. 21 (4): 1161-1175
13. Duffy, J. 1991. Experimental Studies Of Shear Band Formation Through Temperature Measurements And High Speed Photography. *Journal de Physique III*. 1: C3-645- C3-652.
14. Siradj, E.S. , Priyono, E., Mulyono, Ahyani, M. & Rakhmawati, D. 2010. Pengaruh Manufaktur Terhadap Performance Material Armour untuk Ranpur. *Laporan Akhir Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa*. Kementerian Riset dan Teknologi. Jakarta. diakses melalui <http://km.ristek.go.id/index.php/klasifikasi/detail/21505/> . diakses tanggal 12 Februari 2014.
15. Djamil, S., Siradj, E.S., Andhika & Hendro, L. 2011. Sifat Balistik Komposit Matrik Logam Yang Diperkuat Serat Kawat Baja Dengan Menggunakan 2 Tipe Anyaman. *Symposium Nasional RAPI X FT UMS: M-13 – M-18*. Surakarta: FT UMS.
16. Dikshit, S.N., Kutumba Rao, V.V. & Sundararajan G. 1995. The influence of plate hardness on the ballistic penetration of thick steel plates. *Int J Impact Eng*:16: 293-320.
17. Mohotti, D., Ngo, T., Raman, S., N. & Mendis, P. 2015. Analytical and Numerical Investigation Of Polyurea Layered Aluminium Plates Subjected To High Velocity Projectile Impact. *Materials and Design*. 82: 1-17
18. Flores-Johnson, E.A., Saleh, M. & Edwards, L. 2011. Ballistic Performance of Multi-Layered Metallic Plates Impacted by a 7.62 mm APM2 projectile, *International Journal of Impact Engineering*. 38 (12): 1022-1032.
19. Tasmirci, A., Tunusoglu, G. & Guden, M. 2012. The Effect of The Interlayer on The Ballistic Performance of Ceramic/Composite Armors: Experimental And Numerical Study. *International Journal of Impact Engineering*. 44: 1-9.
20. Roland, C.M., Fragiadakis, D., Gamache, R.M. & Casalini, R. 2013. Factors Influencing The Ballistic Impact Resistance Of Elastomer-Coated Metal Substrates. *Philosophical Magazine*. 93 (5): 468-477.
21. Roland, C.M., Fragiadakis, D., Gamache R.M. 2010. Elastomer-steel laminate armor. *Composite Structures*. 92: 1059-1064.
22. Wei, Z., Yunfei, D. Sheng, C.Z., Gang, W. 2012. Experimental investigation on the ballistic performance of monolithic and layered metal plates subjected to impact by blunt rigid projectiles. *International Journal of Impact Engineering*. 49: 115 – 129
23. Yunfei, D., Zhang, W. & Cao, Z. 2012. Experimental investigation on the ballistic resistance of monolithic and multi-layered plates against hemispherical-nosed projectiles impact. *Materials and Design*. 41: 266-281
24. Yunfei, D., Wei, Z., Yonggang, Y. & Gang, W. 2014b. The ballistic performance of metal plates subjected to impact by projectiles of different strength. *Materials and Design*. 58: 305-315
25. Yunfei, D., Wei, Z., Yonggang, Y., Lizhong, S. & Gang, W. 2014a. Experimental investigation on the ballistic performance of double-layered plates subjected to impact by projectile of high strength. *International Journal of Impact Engineering*. 70: 38-49
26. Mohotti, D., Ngo, T., Mendis, P. & Raman, S., N. 2013. Polyurea Coated Composite Aluminium Plates Subjected To High Velocity Projectile Impact. *Materials and Design*. 52: 1-16
27. Sarlin, E., Lindroos, M., Apostol, M., Kuokkala, V.T., Vuorinen, J., Lepistö, T. & Vippola, M. 2014. The effect of test parameters on the impact resistance of a stainless steel/rubber/composite hybrid structure. *Composite Structures* 113: 469 – 475
28. Liu, W., Chen, Z., Cheng, X., Wang, Y., Amankwa, A. R. & Xu, J. 2016. Design and Ballistic Penetration of The Ceramic Composite Armor. *Composites Part B*. 84: 33-40