

Studi Awal Ketahanan Balistik pada Lembaran Baja

Rusnaldy*, Ismoyo Haryanto, Binar Ade Nugraha, Ahmad Zaedun, Achmad Widodo, dan Berkah Fajar

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275
*E-mail: rusnaldy@undip.ac.id & rusnaldy@yahoo.com

Abstrak

Kualitas alat utama sistem senjata (alutsista) dan pendukungnya sangat dibutuhkan bagi personil Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan Kepolisian Republik Indonesia (Polri). Selama ini pengadaannya masih tergantung pada negara-negara maju. Kemandirian pengadaan alutsista harus ditingkatkan agar tidak menjadi masalah manakala negara-negara maju tersebut melakukan embargo. Untuk itu, kegiatan penelitian dan pengembangan teknologi pembuatan alutsista dan pendukungnya perlu dilakukan. Sebagai langkah menuju kesana maka dilakukan studi awal meneliti ketahanan balistik lembaran baja. Percobaan menggunakan pelat baja tipis dengan tebal 0,2 dan 0,4 mm. Material target tersebut ditembakkan 4 jenis peluru berdiameter 4,5 mm dengan bentuk hidung yang berbeda-beda. Penembakan dilakukan dengan menggunakan jenis senapan angin yang banyak dijual di pasaran. Ketahanan balistik diukur dari keliling, tinggi dan volume *crater* yang terjadi akibat penetrasi peluru, juga besarnya deformasi yang terjadi pada peluru dan kedalaman peluru masuk ke dalam balok kayu yang diletakkan di belakang material target. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari jenis bentuk hidung peluru, kekerasan peluru, tebal pelat, kecepatan dan jarak tembak terhadap ketahanan balistik dari lembaran baja. Hasil ini akan dijadikan sebagai dasar penelitian selanjutnya yang bersifat fundamental untuk dapat mengembangkan, mendesain, dan membuat sendiri pelat baja yang tahan peluru.

Keywords: alutsista, ketahanan balistik, baja, peluru dan penembakan

Pendahuluan

Kebutuhan untuk mengurangi berat kendaraan tempur serta meningkatkan ketahanan balistiknya merupakan tujuan utama kegiatan penelitian mencari baja yang cocok agar tahan peluru saat ini guna mendapatkan *light armoured vehicle* (LAV). Walaupun material komposit yang ringan untuk kebutuhan ini dapat diperoleh, namun baja dengan kekerasan tinggi pada kendaraan tempur masih sering digunakan sebagai material tahan peluru karena harganya yang rendah serta banyak digunakan pada struktur kendaraan [Kilic & Ekici, 2013]. Ada banyak faktor yang mempengaruhi ketahanan balistik baja, yaitu 1) peluru yang digunakan, 2) proses penembakan dan 3) material target penembakan (baja). Dalam hal peluru yang ditembakkan, parameter yang berpengaruh adalah berat peluru, kekerasan peluru, bentuk hidung peluru, dan ukuran peluru. Dalam hal proses penembakan, parameter yang berpengaruh adalah kecepatan penembakan, jarak tembak dan sudut tembak. Sementara dalam hal material target, parameter yang berpengaruh adalah ketebalan, komposisi kimia, struktur mikro dan sifat mekaniknya. Setiap perubahan pada kesemua

parameter tersebut maka secara signifikan akan merubah perilaku balistik dari material targetnya.

Walau pengetahuan tentang semua faktor tersebut terhadap ketahanan balistik telah lama diketahui dan penelitian tentang hal tersebut sudah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti, namun korelasi dari faktor-faktor tersebut terhadap perilaku balistik material target masih belum sepenuhnya dipahami dengan baik. Hal ini berlaku baik untuk material baja yang tipis maupun tebal. Terbukti hingga saat ini penelitian tentang perilaku balistik baja masih terus dilakukan [Mishra dkk, 2012; Kilic & Ekici, 2013; Mishra dkk, 2013; Balakrishnan dkk, 2013; Wang dkk, 2013]. Kenyataan ini juga didukung oleh pernyataan Jena dkk [2010] bahwa karakteristik balistik suatu material merupakan fungsi yang kompleks dari banyak sifat mekaniknya seperti *yield strength*, *tensile strength*, *hardness*, *ductility* dan *charpy impact energy*.

Penelitian yang coba kami angkat untuk dilakukan adalah "Pengembangan Pelat Baja Sebagai Material Tahan Peluru". Tema ini kami angkat karena, (1) teknologi ini cukup vital untuk melindungi personel TNI ketika berada di atas kendaraan tempur saat menjalankan tugas pertahanan dan keamanan nasional; (2) teknologi

pembuatannya relatif mudah dikuasai; (3) sepanjang yang kami ketahui, terutama di Indonesia, masih sedikit publikasi tentang penelitian baja untuk digunakan sebagai material tahan peluru; (4) baja termasuk material yang mudah didapatkan di dalam negeri. Setelah diketahui parameter pengujian apa saja yang dapat membuat baja tahan peluru, maka kegiatan berikutnya adalah mengetahui aspek metalurgi yang mempengaruhi baja sehingga memiliki ketahanan balistik yang baik. Setelah itu dikuasai maka kegiatan penelitian berikutnya adalah bagaimana membuat dan memodifikasi baja hingga memiliki ketahanan balistik yang baik. Harapannya, jika kita telah mampu menguasai teknologi pembuatan pelat baja sebagai material tahan peluru, maka pengembangan pelat baja tahan peluru tersebut untuk diaplikasikan pada sistem persenjataan dan sarana pendukungnya, seperti rompi tahan peluru, helm tahan peluru, serta mobil dan tank anti peluru akan juga dapat dikuasai. Kemudian efek samping dari keberhasilan riset ini tentu saja diharapkan dapat mendorong tumbuhnya industri hankam nasional dan mengurangi ketergantungan negara atas produk hankam dari negara lain. Disamping itu penguasaan teknologi pembuatan baja tahan peluru ini juga diharapkan dapat berdampak pada tumbuhnya pengembangan industri non hankam di Indonesia.

Metode Penelitian

Material Target:

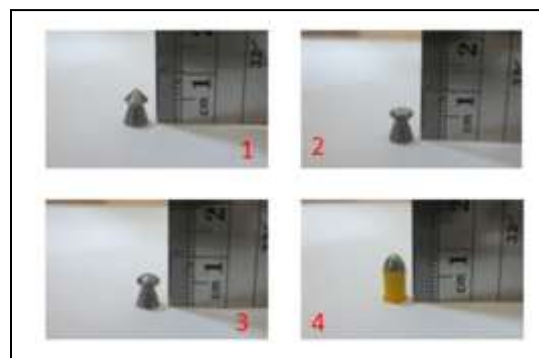
Material target yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran baja karbon dengan ketebalan 0,2 mm dan 0,4 mm. Kekerasan rata-rata dari baja-baja tersebut adalah 482 VHN dan 246 VHN untuk baja dengan tebal 0,2 mm dan 0,4 mm.

Senjata & Projektil:

Senjata yang digunakan adalah dari jenis senapan angin yang banyak digunakan untuk berburu burung liar (lihat gb. 1). Senapan ini dapat di-kokang satu hingga sepuluh kali. Dimana jumlah pengokangan akan menghasilkan kecepatan peluru yang berbeda-beda. Sedangkan projektil yang digunakan memiliki bentuk kepala yang berbeda-beda seperti terlihat pada gb.2.



Gambar 1. Senapan angin yang digunakan untuk penelitian



Gambar 2. Peluru dengan bentuk hidung berbeda-beda yang digunakan untuk penelitian (1) *Conical* (2) *Flat* (3) *Hemispherical* (4) *Ogival*

Kekerasan rata-rata masing-masing peluru adalah sebagai berikut: 5,9 VHN, 5,9 VHN, 6,9 VHN dan 82,6 VHN untuk peluru dengan bentuk hidung secara berturut-turut *conical*, *flat*, *hemispherical* dan *ogival*.

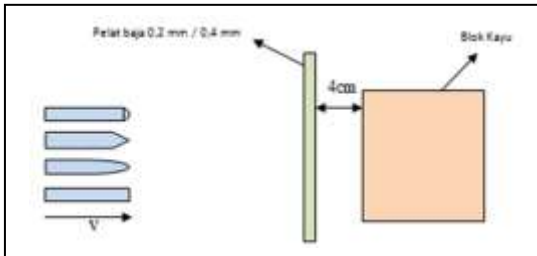
Pelaksanaan Pengujian:

Sketsa dan foto pengujian dapat dilihat pada gb. 3. dan gb. 4. Balok kayu ditempatkan di belakang material target untuk menjaga agar peluru tidak lari kemana-mana jika menembus material target. Disamping itu kedalaman peluru yang masuk ke dalam balok kayu setelah menembus material target dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan balistik baja. Material target tersebut ditembakkan oleh 4 jenis peluru berdiameter 4,5 mm dengan bentuk hidung yang berbeda-beda (gb 2). Kecepatan dan jarak tembak juga divariasikan. Variasi kecepatan diwakili oleh jumlah kokang pada senapan angin yaitu 2, 4, 6, 8 dan 10 kokang. Jarak tembak yang diterapkan pada percobaan ini adalah 1, 2, 3, 4 dan 5 meter. Ketahanan balistik diukur dari keliling, tinggi dan volume *crater* yang terjadi akibat penetrasi peluru, besarnya deformasi yang terjadi pada peluru dan kedalaman peluru masuk ke dalam balok kayu yang diletakkan di belakang material target.

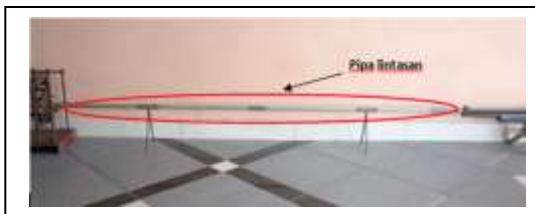
Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 memperlihatkan ketahanan balistik lembaran baja yang ditembakkan peluru dengan berbagai bentuk hidung pada jarak 2 meter dan kecepatan tembak diwakili dengan 8 kali kokang.

Untuk baja tipis ($T/D < 1$; T=tebal pelat, D=diameter proyektil) karakteristik balistik baja akan meningkat dengan meningkatnya kekerasan pelat [Dikshit, 2000]. Namun dari tabel 1 terlihat bahwa walau baja dengan tebal 0,2 mm memiliki kekerasan hampir dua kali dari kekerasan baja dengan tebal 0,4 mm, namun semua jenis peluru mampu menembus baja tersebut.



Gambar 3. Sketsa pengujian ketahanan balistik



Gambar 4. Pelaksanaan pengujian ketahanan balistik

Tabel 1. Ketahanan balistik lembaran baja terhadap bentuk hidung peluru

No	Jenis Peluru	Tebal (mm)	Keterangan
1	Conical nose	0,2	Tembus
2	Flat nose	0,2	Tembus
3	Hemispherical Nose	0,2	Tembus
4	Ogival nose	0,2	Tembus
5	Conical nose	0,4	Tidak
6	Flat nose	0,4	Tidak
7	Hemispherical Nose	0,4	Tidak
8	Ogival nose	0,4	Tembus

Tabel 2. Hasil pengukuran untuk ketahanan balistik pada percobaan 1, 2, 3, 4 dan 8.

Perc . No.	Kel. Crater (mm)	Tinggi Crater (mm)	Vol. Crater (mm)	Kedalaman Peluru Masuk ke Kayu (mm)	Deformasi pada Peluru (%)
1	64	5,1	0,48	0,80	56

2	41	4,6	0,32	3,55	17
3	49	4,3	0,35	4,75	25
4	19	3,0	0,10	9,30	2
8	14	3,4	0,15	8,75	4

Sementara untuk baja dengan tebal 0,4 mm mampu menahan hampir semua bentuk hidung peluru, kecuali untuk peluru dengan bentuk hidung *ogival* yang memiliki kekerasan sekitar 12 - 14 kali kekerasan peluru yang lainnya.

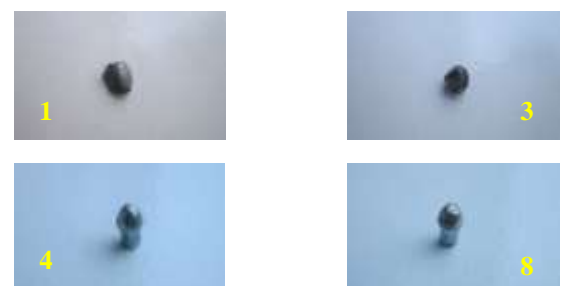
Contoh bentuk kerusakan yang terjadi pada material target dan deformasi pada peluru akibat penetrasi peluru dapat dilihat pada gb. 5, 6 dan 7. *Crater* yang terbentuk kemudian diukur keliling, tinggi dan volumenya. Kedalaman peluru masuk ke dalam kayu dan deformasi yang terjadi pada peluru juga diukur. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 5. Bagian depan material target setelah ditembus peluru pada percobaan 1, 3, 4 dan 8.



Gambar 6. Bagian belakang material target setelah ditembus peluru pada percobaan 1, 3, 4 dan 8.



Gambar 7. Bentuk peluru setelah ditembak pada percobaan 1, 3, 4 dan 8.

Dari gb. 5 dan 6 serta tabel 2 terlihat bahwa kerusakan yang paling besar pada material target terjadi jika lembaran baja ditembak oleh peluru *conical*. Indikasi kerusakan tersebut dapat dilihat pada keliling, tinggi dan volume *crater* yang terjadi lebih besar dibanding dengan jenis peluru yang lain. Deformasi pada proyektil akan terjadi selama peluru melakukan penetrasi jika kekerasannya kurang dari 1,5x dari kekerasan pelat target [Dikshit, 1998]. Dari data kekerasan, seluruh peluru memiliki kekerasan yang jauh lebih kecil dibanding material targetnya, sehingga deformasi diperkirakan akan terjadi pada setiap peluru yang ditembakkan. Pada gb. 7 dan tabel 2 terlihat bahwa peluru jenis *conical*, *flat* dan *hemispherical* mengalami deformasi jauh lebih besar dibanding peluru jenis *ogival*, dimana deformasi terbesar terjadi pada peluru jenis *conical*. Besarnya deformasi yang terjadi menunjukkan besarnya penyerapan energi tumbukan antara peluru dan baja selama proses penetrasi berlangsung. Akibatnya kecepatan sisa peluru akan berkurang setelah menembus baja. Dari tabel 2 terbukti bahwa kedalaman peluru masuk ke dalam kayu akan semakin kecil jika deformasi yang terjadi pada peluru bertambah besar. Kedalamam enis peluru *conical* ketika masuk ke dalam kayu paling dangkal bila dibanding dengan jenis peluru yang lain.

Peluru jenis *ogival* memiliki kekerasan jauh lebih besar dibanding tiga jenis peluru yang lain, namun masih lebih rendah dibanding kekerasan material target. Untuk jenis peluru ini, kerusakan yang ditimbulkan pada material target paling kecil dibanding ketiga jenis peluru yang lain, dimana deformasi pada peluru ini lebih kecil dibanding yang lain, namun kedalaman peluru jenis ini masuk ke dalam kayu lebih dalam. Hal ini mengindikasikan bahwa energi tumbukan selama proses penetrasi tidak banyak diserap sehingga kecepatan peluru masih cukup tinggi setelah menembus material target.

Tabel 3 menunjukkan ketahanan balistik baja yang ditembak peluru jenis *ogival* dengan jarak tembak 2 meter pada berbagai variasi kecepatan. Kecepatan peluru diwakili oleh banyaknya jumlah kokang sebelum peluru ditembakkan. Makin besar jumlah kokang, makin besar pula kecepatan peluru keluar dari senapan angin. Dari tabel tersebut terlihat bahwa untuk pelat setebal 0,2 mm pada semua jumlah kokang peluru mampu menembus material target, sementara pada pelat baja dengan tebal 0,4 mm, baja baru dapat ditembus peluru setelah senapan angin dikokang sebanyak 6x atau lebih. Hal ini menunjukkan bahwa material target

dengan tebal 0,4 mm masih mampu menahan peluru pada penembakan dengan kecepatan rendah.

Pada tabel 5 terlihat bahwa deformasi pada peluru untuk setiap jumlah kokang cukup kecil dan perbedaannya tidaklah terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa energi tumbukan tidak banyak diserap saat peluru melakukan penetrasi ke material target. Demikian pula halnya pada hasil pengukuran tinggi dan volume *crater*. Namun dari hasil pengukuran keliling *crater* terlihat bahwa secara umum makin besar kecepatan peluru akan membuat keliling *crater* menjadi semakin kecil. Kerusakan pada material target akan semakin besar bila tebal material target menjadi semakin tipis.

Dari hasil pengukuran kedalaman peluru yang masuk ke dalam kayu, terlihat bahwa makin banyak jumlah kokang yang diterapkan sebelum peluru ditembakkan membuat peluru makin jauh masuk ke dalam kayu setelah menembus material target, yang mengindikasikan masih besarnya kecepatan sisa peluru.

Tabel 3. Ketahanan balistik lembaran baja terhadap variasi jumlah kokang

No.	Jumlah Kokang	Tebal Plat (mm)	Keterangan
1	2	0,2	Tembus
2	4	0,2	Tembus
3	6	0,2	Tembus
4	8	0,2	Tembus
5	10	0,2	Tembus
6	2	0,4	Tidak
7	4	0,4	Tidak
8	6	0,4	Tembus
9	8	0,4	Tembus
10	10	0,4	Tembus

Tabel 4 menunjukkan ketahanan balistik lembaran baja dengan tebal 0,2 mm yang ditembakkan peluru berjenis *conical* pada kecepatan penembakan yang konstan (diwakili dengan jumlah kokang 8 kali). Dari hasil pengujian terlihat bahwa dengan kecepatan yang cukup tinggi material target akan dapat ditembus oleh peluru pada jarak berapapun pada pengujian ini. Namun demikian besarnya energi tumbukan yang diserap terlihat makin bertambah seiring dengan bertambahnya jarak penembakan. Hal ini terlihat dari makin besarnya deformasi yang terjadi pada peluru setelah melakukan penetrasi pada material target (lihat tabel 6). Sementara itu tingkat kerusakan yang terjadi juga akan bertambah besar jika jarak tembak ditingkatkan. Hal ini dibuktikan dengan membesarkannya keliling pada *crater* yang terbentuk dengan menambah jarak tembak.

Tabel 4. Ketahanan balistik lembaran baja terhadap variasi jarak tembak

No	Jarak Tembak (m)	Keterangan
1	1	Tembus
2	2	Tembus
3	3	Tembus
4	4	Tembus
5	5	Tembus

Tabel 5. Hasil pengukuran untuk ketahanan balistik baja terhadap variasi jumlah kokang.

Per. No.	Kel. Crater (mm)	Tinggi Crater (mm)	Vol. Crater (mm)	Kedalaman Peluru Menembus Kayu (mm)	Def. pada Peluru (%)
1	41	3,6	0,30	0,50	1
2	22	3,5	0,12	7,50	2
3	21	3,5	0,10	9,25	2
4	19	3,4	0,10	9,30	2
5	16	3,3	0,05	11,50	3
8	19	4,0	0,16	2,25	3
9	14	3,5	0,15	3,75	4
10	13	3,4	0,12	6,30	5

Tabel 6. Hasil pengukuran untuk ketahanan balistik baja terhadap variasi jarak tembak.

No	Jarak (m)	Keliling Crater (mm)	Tinggi Crater (mm)	Volume Crater (ml)	Deformasi Peluru (%)
1	1	29	5,2	0,2	29%
2	2	37	4,8	0,28	31%
3	3	38	4,7	0,28	32%
4	4	42	4,5	0,35	33%
5	5	51	4,4	0,38	34%

Kesimpulan

Dari data yang diperoleh pada penelitian ini dapat ditarik berbagai kesimpulan, seperti berikut ini:

1. Ketebalan material target memiliki pengaruh yang lebih besar bila dibandingkan dengan kekerasan material target, dimana makin tebal material target membuatnya makin tahan terhadap penetrasi peluru.
2. Kekerasan peluru memberikan efek yang cukup besar terhadap kerusakan yang ditimbulkan pada material target, dimana makin tinggi nilai kekerasan peluru akan makin mudah peluru melakukan penetrasi dengan kerusakan pada material target yang semakin kecil.
3. Untuk nilai kekerasan yang sama pada peluru, peluru dengan hidung berbentuk *conical*

memberikan efek kerusakan pada material target yang lebih besar bila dibandingkan dengan peluru *flat* dan *hemispherical*.

4. Kecepatan peluru yang ditembakkan semakin besar akan menimbulkan efek kerusakan pada material target yang semakin kecil, namun kecepatan sisa peluru setelah menembus material target semakin besar.
5. Penyerapan energi tumbukan akan semakin besar diserap bila jarak tembak peluru diperbesar.

Penelitian Selanjutnya

Penelitian selanjutnya yang akan dilakukan guna meningkatkan pemahaman akan perilaku balistik lembaran baja adalah sebagai berikut:

1. Melihat pengaruh sudut penembakan, jumlah dan jenis lapisan material target terhadap ketahanan balistik baja
2. Meneliti respon setiap fasa yang ada pada baja jika ditembakkan oleh peluru

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih tim peneliti persembahkan kepada Fakultas Teknik Undip yang telah mendukung kegiatan penelitian ini melalui bantuan Dana DIPA Hibah Penelitian Fakultas Teknik Undip Tahun 2013.

Referensi

Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., Reddy, G.M., "Effect of hardfaced interlayer thickness on ballistic performance of armour steel welds", *Materials and Design* 44, pp. 59-68 (2013).

Jena, P.K., Mishra, B., RameshBabu, M., Babu, A., Singh, A.K., SivaKumar, K., "Effect of heat treatment on mechanical and ballistic properties of a high strength armour steel", *International Journal of Impact Engineering* 37, pp. 242-249 (2010).

Kilic, N., Ekici, B., "Ballistic resistance of high hardness armor steels againsts 7.62 mm armor piercing ammunition", *Materials and Design* 44, pp. 35-48 (2103).

Mishra, B., Jena, P.K., Ramakhrisna, B., Madhu, V., Bhat, T.B., Gupta, N.K., "Effect of tempering temperatur, plate thickness and presence of holes on ballistic impact behavior and AS formation of a high strength steel", *International Journal of Impact Engineering* 44, pp. 17-28 (2012).

Mishra, B., Ramakrishna, B., Jena, P.K., Kumar, K.S., Madhu, V., Gupta, N.K., “Experimental studies on the effect of size and shape of holes on damage and microstructure of high hardness armour steel plates under ballistic impact”, *Materials and Design* 43, pp. 17-24 (2013).

Wang, W., Li, M., He, C., Wei, X., Wang, D., Du, H., “Experimental study on high strain rate behavior of high strength 600 – 1000 MPa dual phase steels and 1200 MPa fully martensitic steels”, *Materials and Design* 47, pp. 510-521 (2013).