

Pengaruh Jumlah Lapisan Material Target Terhadap Ketahanan Balistik Lembaran Baja

Rusnaldy^{1, a*}, Ismoyo Haryanto, Norman Iskandar, Binar Ade Anugra,
dan Ahmad Zaedun

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang
^aemail: rusnaldy@undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini adalah rangkaian dari kegiatan penelitian yang telah dan sedang dilakukan untuk memahami karakteristik ketahanan balistik dari lembaran baja yang ditembakkan oleh peluru. Ada banyak faktor yang mempengaruhi ketahanan balistik suatu material, seperti peluru yang digunakan, material target yang digunakan dan proses penembakan. Untuk material target yang digunakan hal-hal yang berpengaruh adalah jenis material yang digunakan, sifat mekanik dan fisiknya, ketebalan material dan jumlah lapisan material yang digunakan. Di dalam studi ini pengaruh jumlah lapisan material diteliti terhadap ketahanan balistik dari lembaran baja yang dijadikan sebagai material target. Dua jenis baja dengan ketebalan 0,2 dan 0,4 mm digunakan dalam studi ini. Ada tiga macam jumlah lapisan yang digunakan yaitu, lapisan tunggal, ganda dan triple. Diteliti juga pengaruh adanya celah di antara lapisan-lapisan tersebut. Peluru berdiameter 4,5 mm yang digunakan dalam studi ini adalah peluru baja berhidung *ogival* dengan kecepatan tembak yang konstan (184,4 m/s) berjarak tembak 2 m dengan menggunakan senapan angin komersial. Performan balistik diukur dari ukuran *crater* yang dihasilkan (tinggi, keliling dan volume), deformasi yang terjadi pada peluru dan kedalaman peluru menembus balok kayu yang diletakkan di belakang material target. Dari data yang diperoleh terlihat bahwa semakin tebal lapisan yang digunakan akan semakin baik ketahanan balistiknya. Ketahanan balistik untuk lapisan triple akan lebih baik jika baja yang lebih tebal diletakkan di bagian depan sementara yang lebih tipis diletakkan di bagian belakang. Adanya celah di antara lapisan baja juga dapat memperbaiki ketahanan balistiknya

Kata kunci : Ketahanan Balistik, Baja, Peluru, Jumlah Lapisan dan Celah

Latar belakang

Ada banyak faktor yang mempengaruhi ketahanan balistik baja, yaitu 1) peluru yang digunakan, 2) proses penembakan dan 3) material target yang ditembakkan. Khusus dalam hal material target, parameter yang berpengaruh adalah sifat mekanik, struktur mikro, komposisi kimia dan ketebalannya. Ketebalan benda uji akan mempengaruhi hasil uji balistik dari material logam. Makin tebal logam tentunya membuat benda uji menjadi semakin berat. Upaya mengurangi berat banyak diuji dengan membuat benda uji tidak hanya terdiri dari satu pelat, namun melapisi dengan banyak pelat, baik dari material yang sejenis maupun dengan beda jenis. Ketahanan balistik baja dapat ditingkatkan jika ketebalan baja ditambah. Pengaruh ketebalan baja pernah diuji oleh Durmus dkk [1]. Babaei dkk. menguji 4 jenis benda uji dengan lapisan Ganda (double-layered), yaitu baja-baja, baja-aluminium, aluminium-baja dan aluminium-aluminium [2]. Sementara itu Deng dkk meneliti pengaruh jumlah lapisan dan ketebalan lapisan terhadap

ketahanan balistik baja jenis *low carbon steel* Q235 dengan kekuatan luluh 229 MPa ketika ditembakkan peluru berdiameter 12,7 mm yang terbuat dari baja jenis hardened steel 38CrSi [3]. Adanya celah di antara lapisan benda uji dari logam yang ulet dianalisa oleh Ben-Dor dkk [4] serta Nia dan Hoseini [5].

Walau penelitian tentang ketahanan balistik baja telah banyak dilakukan orang, namun sesuai dengan pernyataan Jena dkk bahwa karakteristik balistik suatu material merupakan fungsi yang kompleks dari banyak sifat mekaniknya dan parameter-parameter lainnya [6]. Disamping itu dengan merubah sedikit saja parameter-parameter yang ada juga akan merubah ketahanan balistik dari baja. Sehingga tujuan dari studi ini adalah untuk memahami perilaku balistik dari suatu lembaran baja yang memiliki jumlah lapisan berbeda dan parameter lainnya yang berkaitan dengan proses pelapisannya.

Metodologi

Material Target:

Material target yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran baja karbon (mild steel) dengan ketebalan 0,2 mm dan 0,4 mm dengan kekerasan rata-rata masing-masing 482 VHN dan 246 VHN.

Senjata & Proyektil:

Senjata yang digunakan adalah senapan angin komersial (lihat gambar 1). Senapan ini dapat diatur kecepatannya dari 133,2 m/s hingga 184,4 m/s. Pengukuran kecepatan peluru dilakukan dengan menggunakan *chronograph* digital (lihat gambar 2). Sedangkan proyektil yang digunakan berhidung *ogival* dan memiliki kekerasan 82,6 VHN, seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar1. Senapan angin yang digunakan



Gambar 2. *Chronograph* digital



Gambar 3. Peluru yang digunakan

Pelaksanaan Pengujian:

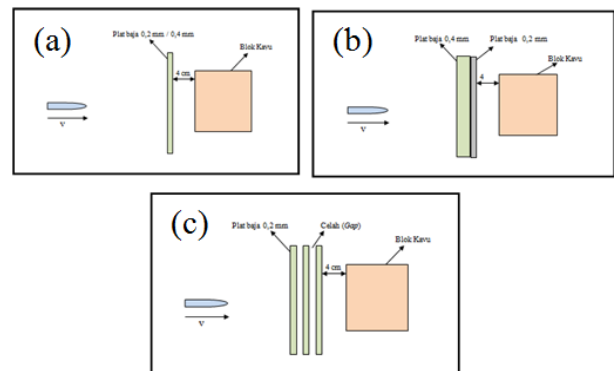
Sketsa pengujian dapat dilihat pada gambar 4. Balok kayu ditempatkan di belakang material target untuk menjaga agar peluru tidak lari kemana-mana jika menembus material target. Disamping itu kedalaman peluru yang masuk ke dalam balok kayu setelah menembus material

target dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan balistik baja. Kecepatan penembakan dibuat konstan yaitu sebesar 184,4 m/s, sementara jarak tembaknya adalah 2 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. Keliling *crater* diukur dengan menggunakan benang halus yang ditempatkan pada *crater* yang terbentuk, kemudian panjang benang yang membentuk keliling *crater* diukur menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm. Tinggi *crater* diukur dengan menggunakan *height gauge* yang memiliki ketelitian 0,02 mm. Sedangkan volume *crater* diukur dengan bantuan plastisin. Plastisin tersebut dimasukkan ke dalam lubang *crater*, jumlah plastisin yang memenuhi lubang *crater* kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur dengan ketelitian 0,01 ml yang berisi air dengan volume tertentu. Besarnya kenaikan volume air pada gelas ukur akibat dimasukkan plastisin merupakan besarnya volume *crater*.

Hasil dan Pembahasan

Lapisan Tunggal

Hasil pengujian atau penembakan untuk lapisan tunggal dapat dilihat pada gambar 5 dan tabel 4. Dari gambar 5 dan tabel 4 tersebut terlihat bahwa kedua jenis baja dengan tebal yang berbeda tidak mampu menahan penetrasi dari peluru.



Gambar 4. Sketsa pengujian untuk (a) *single layer*; (b) *double layers*; dan (c) *triple layers*

Variasi penembakan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 1-3.

Tabel 1. Percobaan untuk lapisan tunggal

| No | Percobaan | Tebal Pelat (mm) |
|----|-----------|------------------|
| 1 | 1 | 0,2 |
| 2 | 2 | 0,4 |

Tabel 2. Percobaan untuk lapisan ganda

| No. | Percobaan | Tebal Plat (mm) |
|-----|-----------|------------------------------|
| 1 | 1 | 0,2+0,2 |
| 2 | 2 | 0,2+celah (<i>gap</i>)+0,2 |
| 3 | 3 | 0,2+0,4 |
| 4 | 4 | 0,4+0,2 |
| 5 | 5 | 0,4+0,4 |

Tabel 3. Percobaan untuk lapisan triple

| No. | Percobaan | Tebal Plat (mm) |
|-----|-----------|--|
| 1 | 1 | 0,2+0,2+0,2 |
| 2 | 2 | 0,2+celah (<i>gap</i>)+0,2+0,2 |
| 3 | 3 | 0,2+celah (<i>gap</i>)+0,2+ celah (<i>gap</i>)+0,2 |
| 4 | 4 | 0,2+0,4+0,2 |
| 5 | 5 | 0,2+0,2+0,4 |
| 6 | 6 | 0,4+0,2+0,2 |

| Percobaan | Plat Depan | Plat Belakang | Peluru |
|-----------|---|---|---|
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |

Gambar 5. Foto Hasil Pengujian pada Lapisan Tunggal

Tabel 4. Hasil Percobaan untuk Lapisan Tunggal

| No. | Percobaan | Hasil |
|-----|-----------|--------|
| 1 | 1 | Tembus |
| 2 | 2 | Tembus |

Kemudian kerusakan berupa *crater* yang dihasilkan diukur kelilingnya, tingginya serta volumenya. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 5. Dari data terlihat bahwa kerusakan *crater* lebih parah terjadi pada percobaan 2, dimana terukur keliling, tinggi dan volume *crater* berturut-turut sebesar 24,00 mm, 3,50 mm dan 0,12 ml.

Tabel 5. Hasil Pengukuran *Crater*

| Percobaan | Keliling <i>Crater</i> (mm) | Tinggi <i>Crater</i> (mm) | Volume <i>Crater</i> (ml) |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 20 | 4 | 0,05 |
| 2 | 24 | 3,5 | 0,12 |

Besarnya kecepatan dan energi sisa dari peluru setelah menembus pelat baja dapat dibandingkan dengan mengukur kedalaman peluru yang masuk ke dalam kayu dan besarnya deformasi plastis yang terjadi pada peluru, seperti terlihat pada gambar 6 dan 7. Hasil pengukuran kedalaman peluru pada kayu dan deformasi plastis yang terjadi pada peluru dapat dilihat pada tabel 6.



Gambar 6. Bekas Peluru yang Masuk ke Dalam Kayu



Gambar 7. Peluru yang Telah Mengalami Deformasi Plastis

Tabel 6. Hasil Percobaan untuk Lapisan Tunggal

| Percobaan | Kedalaman Peluru Masuk Balok (mm) | Deformasi Peluru (%) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------|
| 1 | 11,5 | 1,43 |
| 2 | 6,3 | 3,57 |

Dari tabel 6 terlihat bahwa pelat baja yang lebih tebal (percobaan 2) memiliki kedalaman peluru masuk ke dalam balok kayu lebih kecil dan memiliki nilai deformasi plastis yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa pelat yg lebih tebal mampu menyerap energi tumbukan yang lebih besar.

Lapisan Ganda

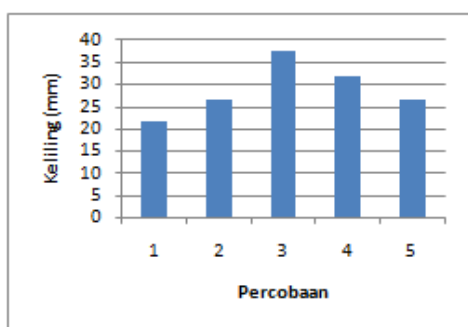
Pelat baja dengan tebal 0,2 mm dan 0,4 mm digunakan pada percobaan ini dan variasi percobaan lapisan ganda dapat dilihat pada tabel 2 dan sketsa pengujian dapat dilihat pada gambar 4b.

Hasil pengujian dengan menggunakan lapisan ganda dapat dilihat pada tabel 7. Dari tabel terlihat bahwa percobaan 5 dengan menggunakan dua pelat baja dengan tebal masing-masing 0,4 mm mampu menahan penetrasi peluru. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa makin tebal pelat yang digunakan akan memiliki kemampuan untuk menahan peluru yang ditembakkan padanya.

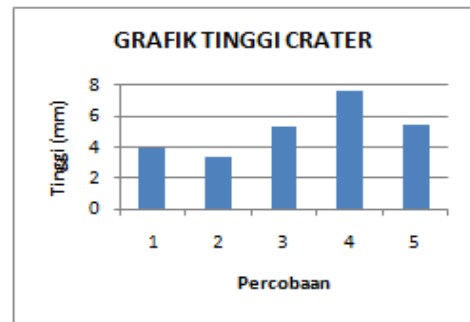
Tabel 7. Hasil Percobaan untuk Lapisan Ganda

| Percobaan | Keterangan |
|-----------|--------------|
| 1 | Tembus |
| 2 | Tembus |
| 3 | Tembus |
| 4 | Tembus |
| 5 | Tidak Tembus |

Tingkat kerusakan yang terjadi pada setiap percobaan dapat diketahui dengan mengukur *crater* yang terbentuk di setiap hasil percobaan dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 8, 9 dan 10. Dari grafik-grafik tersebut terlihat bahwa untuk kombinasi pelat yang dapat ditembus oleh peluru, kombinasi pelat dengan ketebalan yang lebih kecil memiliki tingkat kerusakan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kombinasi pelat yang lebih tebal.

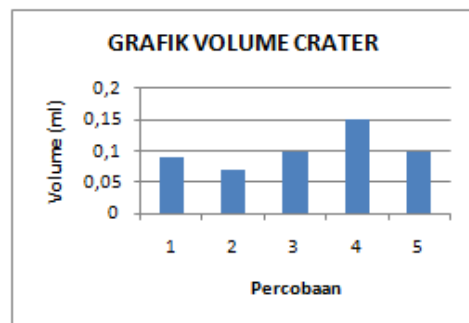


Gambar 8. Hasil Pengukuran Keliling *Crater*

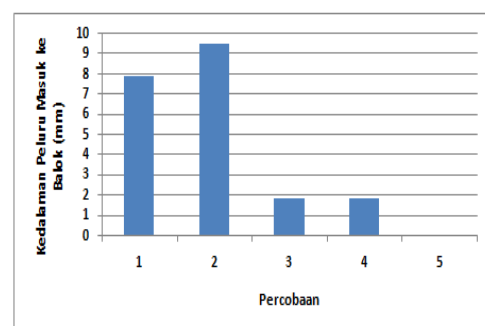


Gambar 9. Hasil Pengukuran Tinggi *Crater*

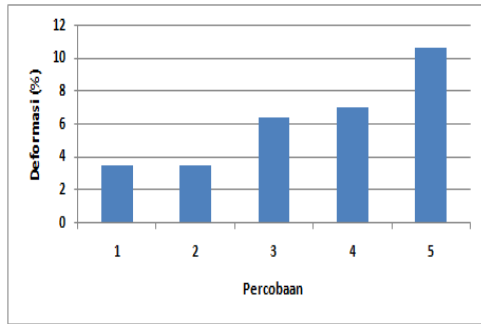
Besarnya energi yang diserap untuk setiap kombinasi pelat dapat diketahui melalui besarnya kedalaman peluru yang masuk ke dalam balok kayu dan besarnya deformasi yang terjadi pada peluru (lihat gambar 11 dan 12). Dari gambar 11 terlihat bahwa kombinasi pelat yang lebih tebal membuat peluru yang telah menembus pelat masuk ke dalam balok kayu lebih dangkal dibanding kombinasi pelat yang lebih tipis, karena kecepatan peluru yang tersisa setelah menembus pelat lebih kecil. Sementara dari gambar 12 terlihat bahwa pelat yang lebih tebal menyebabkan deformasi plastis yang terjadi pada peluru lebih besar bila dibanding pada pelat yang lebih tipis. Kedua hal ini menunjukkan bahwa pelat yang lebih tebal memiliki kemampuan menyerap energi tumbukan yang lebih besar dibanding pelat yang lebih tipis.



Gambar 10. Hasil Pengukuran Volume *Crater*



Gambar 11. Hasil Pengukuran Peluru Masuk Ke Dalam Balok Kayu



Gambar 12. Deformasi Plastis yang Terjadi pada Peluru di Lapisan Ganda

Lapisan Triple

Variasi percobaan lapisan triple dapat dilihat pada tabel 3 dan sketsa pengujian dapat dilihat pada gambar 4c. Dan hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Percobaan untuk Lapisan Triple

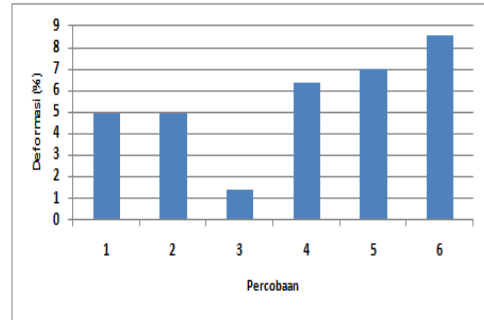
| Percobaan | Keterangan |
|-----------|----------------------------------|
| 1 | Tembus (1-2-3) |
| 2 | Tembus (1-2-3) |
| 3 | Tembus (1-2) Tidak Tembus (3) |
| 4 | Tembus (1-2-3) |
| 5 | Tembus (1-2) Tidak Tembus (3) |
| 6 | Tidak Tembus |

Pada percobaan 1 – 3 ketiga pelat baja yang digunakan memiliki ketebalan yang sama, yaitu 0,2 mm. Hanya pada percobaan 2 antara pelat 1 dan 2 diberi celah sebesar 1 mm, dan pada percobaan 3 antara pelat 1 dan 2 serta pelat 2 dan 3 masing-masing diberi celah yang sama besarnya. Dari ketiga percobaan tersebut, ketiga pelat pada percobaan 1 dan 2 berhasil ditembus oleh peluru. Sementara pada percobaan 3, peluru berhasil menembus pelat 1 dan 2, namun tidak berhasil menembus pelat 3.

Pada percobaan 4 – 6, dua pelat memiliki ketebalan 0, 2 mm dan satu pelat memiliki ketebalan 0,4 mm. Total ketebalan ketiga pelat pada percobaan-percobaan tersebut adalah 0,8 mm. Pada percobaan 4, dimana pelat dengan tebal 0,4 mm berada di antara dua pelat dengan tebal 0,2 mm berhasil ditembus oleh peluru. Pada percobaan 5, dimana pelat 0,4 mm berada di lapisan ketiga, hanya pelat 1 dan 2 yang berhasil ditembus, sementara pelat 3 tidak berhasil ditembus oleh peluru. Pada percobaan 6, dimana pelat dengan tebal 0,4 mm berada di lapisan

pertama, peluru tidak berhasil menembus ketiga lapisan tersebut.

Pada percobaan dengan menggunakan tiga lapisan hanya besarnya deformasi peluru yang akan diukur untuk melihat besarnya energi tumbukan yang diserap. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Deformasi Plastis yang Terjadi pada Peluru di Lapisan Triple

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa lapisan dengan jumlah ketebalan lebih besar akan menyebabkan deformasi pada peluru yang juga besar. Deformasi terbesar terjadi pada peluru yang tidak mampu menembus ketiga pelat. Pada kombinasi tiga pelat dengan ketebalan yang lebih tipis, adanya celah menyebabkan deformasi peluru menjadi lebih kecil, yang artinya kemampuan lapisan tersebut menyerap energi menjadi berkurang.

Kesimpulan

Ketahanan balistik baja pada lapisan tunggal akan berkurang jika ketebalannya semakin kecil/tipis. Semakin besar total ketebalan lapisan pelat yang digunakan akan semakin bagus ketahanan balistik baja tersebut. Akan tetapi pada jenis tiga lapisan, dengan adanya celah udara diantara lapisan material target, diketahui semakin banyak celah atau *gap* maka semakin bagus ketahanan balistik bajanya terutama pada lapisan ketiga. Pada jenis tiga lapisan, ketahanan balistik terbaik adalah dengan menempatkan pelat yang paling tebal pada lapisan pertama.

Referensi

- [1] A. Durmus, M. Gulden, B. Gulcimen, S. Ulku, Experimental Investigation on the Ballistic Impact Performances of Cold Rolled Sheet Metals, *Materials and Design* 29 (2011) 1356-1366.
- [2] B. Babaei, M.M. Shokrieh, K. Daneshjou, The Ballistic Resistance of Multi-layered Targets Impacted by Rigid Projectiles, *Materials Science and Engineering A* 530 (2011) 208-217.
- [3] Y. Deng, W. Zhang, Z. Cao, Experimental Investigation on The Ballistic Resistance of Monolithic and Multi-layered Plates Against Hemispherical-nosed Projectiles Impact, *Materials and Design* 41 (2012) 266-281
- [4] G. Ben-dor, A. Dubinsky, T. Elperin, Effect of Air Gaps on Ballistic Resistance of Targets for Conical Impactors, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 30 (1998) 243-249.
- [5] A.A. Nia, G.R. Hosseini, Experimental Study of Perforation of Multi-layered Targets by Hemispherical-nosed Projectiles, *Materials and Design* 32 (2011) 1057-1065.
- [6] P.K. Jena, B. Mishra, M. Rameshbabu, A. Babu, A.K. Singh, K. Sivakumar, Effect of Heat Treatment on Mechanical and Ballistic Properties of a High Strength Armour Steel, *International Journal of Impact Engineering* 37 (2010) 242-249.