

Studi awal material komposit berpenguat serat bambu dengan matriks resin epoksi/hardener sebagai material antipeluru

Harmiansyah¹, Burmawi², Risky Arman², Rustam Efendi³

¹Program Studi Teknik Biosistem, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia, 35365

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta
Jl. Gajah Mada No. 19 Olo Nanggal Padang, Sumatera Barat 25143

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara
Jl. Kapten Piere Tendean No. 109 A, Baruga, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia, 93563
Email korespondensi: harmibm@gmail.com

Abstrak

Material antipeluru digunakan sebagai material rompi antipeluru yang berfungsi melindungi tubuh manusia dari ancaman serangan fisik, terutama serangan yang berasal dari senjata api. Material antipeluru berfungsi mereduksi energi kinetik dari proyektil, sehingga tidak mengenai pengguna rompi antipeluru. Material utama dalam pembuatan material antipeluru adalah baja dengan massa jenis yang tinggi, sehingga bobot dari material antipeluru tinggi yang menyebabkan pengguna tidak dapat bergerak dengan leluasa. Komposit merupakan material yang terdiri dari dua unsur atau lebih yang memiliki sifat mekanik yang baik serta densitas yang rendah, sehingga dapat dijadikan alternatif pengganti baja untuk material antipeluru. Material antipeluru yang digunakan berpenguat serat bambu betung dengan matriks campuran resin epoksi/hardener dan penambahan butiran keramik 20, 25 dan 30 ml, material komposit dilakukan pengujian balistik yang menggunakan variasi parameter jarak tembak 2; 2,5; dan 3 m. Berdasarkan hasil uji balistik, semua variasi penambahan butiran keramik mampu mereduksi energi proyektil dengan kedalaman penetrasi < 1 mm, di mana energi kinetik dari proyektil sebesar 209,83 joule. Berdasarkan analisis foto makro jejak proyektil pada material antipeluru, retakan yang terjadi pada material antipeluru adalah retakan ulet karena terjadi penyebaran retakan ke area lain pada permukaan material antipeluru.

Kata kunci: serat bambu, material antipeluru, butiran keramik, komposit, resin epoksi/hardener.

Abstract

Bulletproof material is used as a bulletproof vest material that functions to protect the human body from the threat of physical attack, especially attacks from firearms. Bulletproof material serves to reduce the kinetic energy of the projectile so it does not hit the bulletproof vest user. The main material in the manufacture of bulletproof material is steel with a high density so that the weight of the bulletproof material is high which causes the user to be unable to move freely. Composite is a material consisting of two or more elements that have good mechanical properties and low density so that it can be used as an alternative to steel for bulletproof materials. The bulletproof material used was reinforced with bamboo fiber with a matrix of epoxy resin/hardener mixture and the addition of 20, 25, and 30 ml ceramic granules, the composite material was tested for ballistics using a variation of the firing range parameter 2; 2.5; and 3 m. Based on the results of ballistic tests, all variations of the addition of ceramic granules were able to reduce the energy of the projectile with a penetration depth of < 1 mm where the kinetic energy of the projectile was 209.83 joule. Based on the macro photo analysis of projectile traces on the bulletproof material, the cracks that occur in the bulletproof material are ductile cracks due to the spread of the cracks to other areas on the surface of the bulletproof material.

Keywords: bamboo fiber, bullet-proof material, ceramic granules, composite, epoxy/hardener resin.

1. Pendahuluan

Komposit merupakan campuran dari dua unsur material atau lebih dengan sifat mekanik yang berbeda, kombinasi dari pencampuran material bertujuan untuk mendapatkan material baru yang memiliki sifat makro-mekanis yang lebih baik. Sifat mekanik yang ditingkatkan dalam pembuatan material komposit antara lain kekuatan, kekakuan, ketahanan aus, ketahanan korosi, *fatigue life*, ketahanan *thermal* dan densitas rendah [1].

Penggunaan komposit untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya [2], perkembangan komposit saat ini begitu cepat dan semakin berpotensi menjadi material alternatif pengganti logam. Bahan komposit memiliki keunggulan kuat, ringan, tahan korosi yang baik, dengan karakteristik dan kekuatan mekanis yang sangat tinggi [3].

Komposit yang terdiri dari unsur penguat serat alami bambu memiliki sifat kuat tarik yang baik yaitu

sebesar 384 MPa [4], matriks penyusun yang memiliki densitas rendah serta sifat mekanik yang baik salah satunya adalah resin epoksi/*hardener* [5, 6, 7], penerapan komposit dengan matriks penyusun resin epoksi/*hardener* sebagai material antipeluru pada pengujian balistik mampu menahan penetrasi balistik, balistik hanya mampu berpenetrasi sampai kedalaman 2,53 mm [4]. Komposit dengan penyusun penguat serat bambu bermatriks epoksi memiliki densitas rendah serta biaya yang lebih ekonomis sebagai penerapan material baju antipeluru [8].

Pengembangan baju antipeluru sudah dilakukan sejak lama, baju antipeluru diperlukan sebagai pelindung tubuh manusia dari ancaman serangan fisik seperti serangan senjata api. Fungsi utama dari baju antipeluru adalah agar dapat menahan atau mereduksi laju dari proyektil yang ditembakkan dengan kecepatan tinggi sampai berhenti. Selama ini baju tahan peluru dibuat dari bahan dasar baja dengan tingkat kekerasan yang tinggi tetapi baja memiliki berat jenis yang besar, sehingga baju antipeluru yang terbuat dari baja memiliki berat yang tinggi menyebabkan mobilitas dari pemakai baju antipeluru menjadi lambat [5, 9]. Prinsip kerja baju antipeluru adalah mengurangi energi kinetik secara maksimal sampai balistik terhenti sebelum menembus baju antipeluru dan mengenai pengguna baju antipeluru, batas maksimal penekanan tidak boleh lebih dari 4,4 cm (44 mm) agar tidak membahayakan keselamatan jiwa [10]. Saat ini tingkat kriminalitas yang cukup tinggi, sehingga penggunaan rompi antipeluru ketika keluar di malam hari sangat dibutuhkan sebagai pengaman diri dari berbagai tindak kejahatan, salah satu yang sering digunakan oleh pelaku kriminal adalah senjata api. Begitu pun bagi aparat, praktis dapat digunakan ketika melakukan patroli di malam hari.

Tujuan dari kajian ini adalah menganalisis kemampuan material komposit antipeluru berpenguat serat bambu betung dengan matriks campuran epoksi/*hardener* dan tanah liat/keramik.

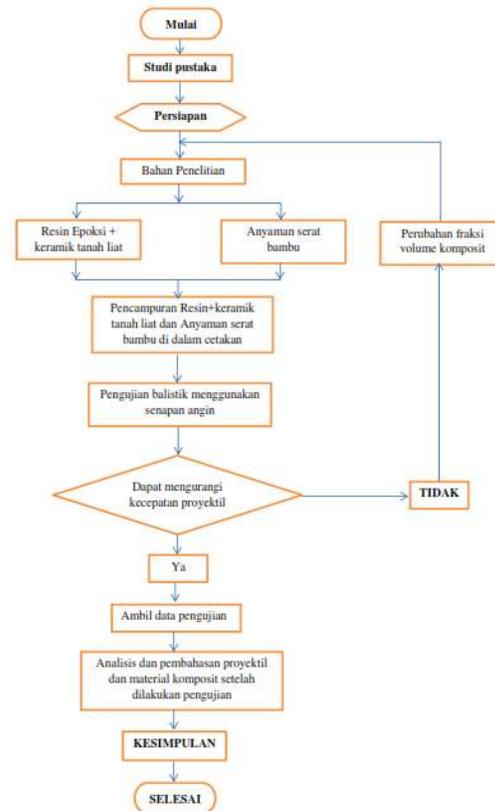
2. Metode

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada kajian ini meliputi gelas ukur, lumpang yang digunakan sebagai wadah untuk mengurangi ukuran butiran tanah liat/keramik, saringan digunakan untuk menyaring ukuran tanah liat, seragam, pisau *cutter*, cetakan terbuat dari plat kaca dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 100 mm serta tinggi 10 mm. Alat uji balistik yang digunakan adalah senapan dengan spesifikasi kaliber 4.5 (0,177"), tenaga angin pompa, mekanisme *bolt action* (gerendel tarik), panjang total 97,6 cm (38,4"), panjang laras 60,8 cm (23,9"), berat 3,2 kg serta kecepatan maksimal 318 m/s.

Bahan yang digunakan pada kajian ini terdiri dari matriks dan penguat, matriks yang digunakan adalah

resin epoksi/*hardener* dengan perbandingan 1:1 kemudian ditambahkan dengan tanah liat/keramik yang sudah dihancurkan masing-masing dengan penambahan 20 ml, 25 ml dan 30 ml. Penguat yang digunakan adalah anyaman bambu dengan jenis betung yang didapatkan dari daerah Kurai Taji, Padang Pariaman, dengan kategori umur bambu kurang lebih 3-5 tahun. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir.

Anyaman Bambu

Proses anyaman bambu dimulai dengan memisahkan serat bambu dengan kulit bagian luar bambu, kemudian bambu dibelah menggunakan pisau *cutter* menjadi dimensi kurang lebih 1 mm/serat. Serat bambu dengan ukuran 1 mm direbus menggunakan akuades kurang lebih 1 jam yang bertujuan menghilangkan getah yang terdapat pada bambu, setelah itu bambu danyam dengan dimensi panjang 200 mm dan lebar 100 mm.

Pembuatan Material Komposit

Pembuatan material komposit antipeluru mempersiapkan cetakan plat kaca, kemudian mencampurkan resin epoksi dengan *hardener* dengan perbandingan 1:1, sebelum matriks resin epoksi dimasukkan ke dalam cetakan terlebih dahulu memasukkan butiran tanah liat/keramik sebanyak 20 ml sebagai lapisan pertama dari material komposit, setelah itu memasukkan sebagian resin epoksi/*hardener*. Anyaman bambu dimasukkan ke

dalam cetakan dan letakkan di tengah-tengah lapisan komposit, kemudian memasukkan sisa dari bagian resin epoksi/hardener hingga cetakan terisi dengan sempurna. Lakukan hal yang sama sebanyak dua kali, variasi volume tanah liat yang dimasukkan pada pembuatan komposit kedua adalah 25 ml dan 30 ml untuk komposit terakhir.

Prosedur Pengujian Balistik

Pengujian balistik dilakukan dengan menggunakan parameter jarak tembak, jarak tembak yang digunakan pada pengujian ini adalah 2 m, 2,5 m dan 3 m. setiap spesimen akan dilakukan uji balistik dengan perlakuan jarak, sehingga terdapat 3 jejak balistik pada setiap spesimen. Jejak balistik akan dianalisis dari segi kedalaman dan area jejaknya.

Perhitungan Energi Kinetik

Persamaan yang digunakan dalam menghitung energi kinetik proyektil adalah Persamaan 1 berikut.

$$EK = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

EK = Energi Kinetik (Joule)

m = Massa (kg)

v = Kecepatan (m/s)

3. Hasil dan Pembahasan

Komposit Antipeluru

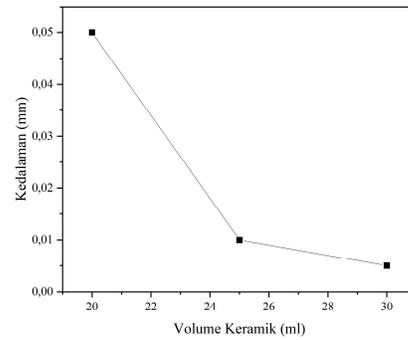
Berdasarkan data dimensi pada Tabel 1, dapat dihitung berat jenis material komposit antipeluru, massa jenis komposit antipeluru spesimen 1 adalah 1,3035 gr/cm³, 1,285 gr/cm³ untuk spesimen 2 dan 1,3135 gr/cm³ untuk massa jenis spesimen 3, sehingga didapatkan rata-rata massa jenis untuk ketiga spesimen adalah 1,3006 gr/cm³. Penambahan keramik pada material komposit antipeluru mengakibatkan meningkatnya massa jenis, maka didapatkan penambahan 30 ml keramik memiliki nilai massa jenis atau nilai kerapatan terbaik karena ikatan yang terbentuk antara serat bambu dengan campuran matrik epoksi/hardener dan keramik terbentuk dengan baik.

Tabel 1. Dimensi komposit antipeluru.

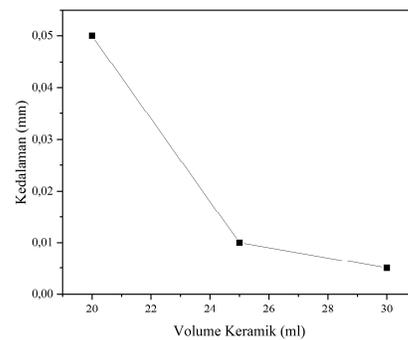
Spesimen	Berat (gram)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
Spesimen 1	260,7	20	10	1
Spesimen 2	257	20	10	1
Spesimen 3	262,7	20	10	1

Hasil Uji Balistik

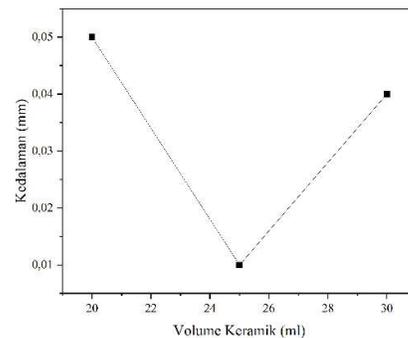
Hasil pengujian balistik dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4. Pengujian dilakukan dengan parameter jarak tembak yaitu 2 m, 2,5 m dan 3 m.



Gambar 2. Pengaruh variasi volume terhadap kedalaman pada jarak uji 2 m.



Gambar 3. Pengaruh variasi volume terhadap kedalaman pada jarak uji 2,5 m.



Gambar 4. Pengaruh variasi volume terhadap kedalaman pada jarak uji 3 m.

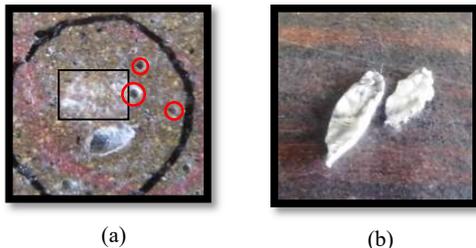
Berdasarkan standar NIJ 01.01.06, penetrasi balistik senjata yang terjadi pada rompi antipeluru tidak boleh melebihi dari ketebalan material antipeluru [3], dari Gambar 2, 3, dan 4 dapat diketahui bahwa balistik senjata yang digunakan pada pengujian balistik dengan variasi jarak uji yang berbeda tidak mampu menembus material komposit antipeluru, balistik hanya mampu penetrasi sedalam < 1 mm. Gambar 4 menunjukkan kedalaman penetrasi balistik untuk penambahan keramik 30 ml yaitu 0,04 mm, fenomena ini terjadi karena permukaan area yang terkena balistik banyak terdapat void (kekosongan) pada

permukaan biokomposit hal ini dapat dilihat pada Gambar 13 bagian (a).

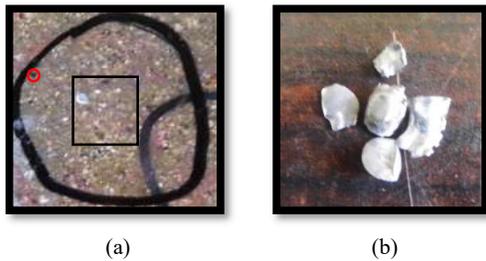
Analisis Foto Makro

Analisis foto makro merupakan pengamatan berdasarkan hasil foto makro yang tampak secara penglihatan manusia. Pada kajian ini, material komposit antipeluru yang terbentuk berdasarkan Gambar 5, 6 dan 7 masih banyak *void* (kekosongan) yang terbentuk, hal ini dapat dilihat dari lingkaran merah pada foto makro yang menandakan *void* yang terbentuk pada permukaan biokomposit. *Void* yang terjadi pada matriks memiliki dampak yang signifikan terhadap kemampuan komposit karena pada bagian tersebut *fiber* tidak didukung oleh matriks, sedangkan *fiber* selalu akan mentransfer tegangan ke matriks. Hal seperti ini menjadi penyebab munculnya *crack*, sehingga komposit akan gagal lebih awal [11].

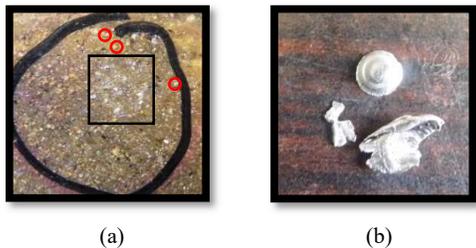
Spesimen 1



Gambar 5. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 2 m.



Gambar 6. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 2,5 m.



Gambar 7. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 3 m.

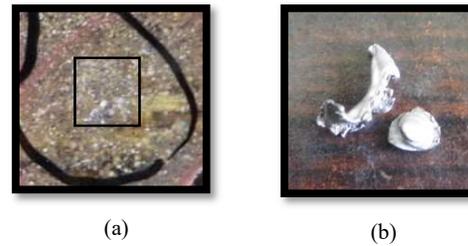
Berdasarkan hasil uji balistik untuk penambahan keramik 20 ml dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4, untuk parameter jarak tembak tidak terlalu

berpengaruh kepada spesimen, hal ini dapat dianalisis berdasarkan jejak tembak pada spesimen untuk ketiga jarak tembak memiliki hasil sama, di mana kedalaman penetrasi balistik < 0,1 mm dan terhenti pada lapisan matriks epoksi/*hardener* dengan keramik.

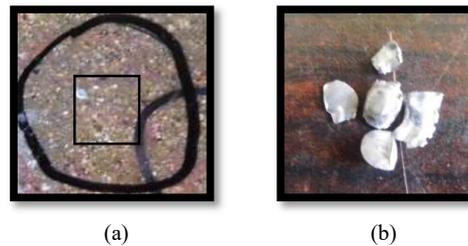
Pada Gambar 5, 6 dan 7 dapat dilihat untuk spesimen 1 yaitu variasi penambahan tanah liat/keramik sebesar 20 ml mampu mereduksi balistik dengan jarak tembak yang bervariasi, pada bagian B bentuk proyektil setelah mengenai komposit material antipeluru terdeformasi serta menjadi beberapa bagian, matrik epoksi/*hardener* dengan keramik memiliki permukaan yang keras, sehingga balistik dari senapan tidak mampu penetrasi lebih dalam menuju lapisan anyaman bambu betung, hal ini sejalan dengan kajian yang dilakukan oleh Ashari bahwa resin epoksi mampu mereduksi penetrasi balistik [1].

Spesimen 2

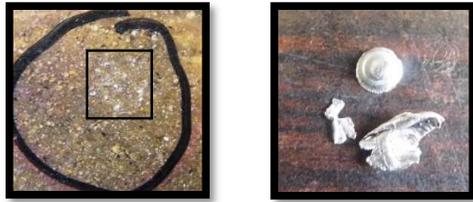
Berdasarkan Gambar 8, 9 dan 10, untuk penambahan keramik 25 ml penetrasi balistik terhadap material komposit tidak menyebabkan keretakan yang menjalar ke area lain, dapat dilihat pada kotak di dalam gambar, keretakan yang terjadi hanya pada area yang terkena proyektil sehingga jenis keretakan yang terjadi pada hasil pengujian balistik adalah kemungkinan retakan ulet.



Gambar 8. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 2 m.



Gambar 9. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 2,5 m.



(a) (b)
Gambar 10. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 3 m.



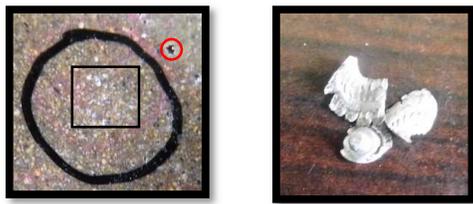
(a) (b)
Gambar 13. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 3 m.

Spesimen 3

Berdasarkan hasil uji balistik pada penambahan keramik 30 ml, dapat dilihat pada Gambar 11, 12 dan 13, jejak proyektil pada material komposit memiliki keretakan ulet karena keretakan hanya terjadi pada area permukaan komposit yang terkena proyektil, rambatan retakan tidak terjadi pada ketiga jarak pengujian yang dilakukan, hal ini menggambarkan bahwa material penyusun komposit mampu mereduksi energi kinetik dengan maksimal. Area retakan dapat dilihat pada kotak pada Gambar 11, 12 dan 13 serta rekatan memiliki pola terpusat, sehingga dapat diprediksi kemungkinan retakan yang terjadi adalah retakan ulet.



(a) (b)
Gambar 11. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 2 m.



(a) (b)
Gambar 12. a) Jejak proyektil pada spesimen, dan b) bentuk proyektil setelah mengenai spesimen pada jarak 2,5 m.

Energi Kinetik

Energi yang bekerja pada pengujian balistik terhadap material komposit antipeluru adalah energi kinetik, nilai energi kinetik didapatkan berdasarkan perhitungan yaitu dengan nilai 209,83 Joule, dengan hasil uji balistik untuk semua penambahan keramik 20 ml, 25 ml dan 30 ml mampu mereduksi energi kinetik sebesar 209,83 joule dengan kedalaman penetrasi balistik < 1 mm, hal ini sesuai dengan standar NIJ 01.01.06, di mana kedalaman dari penetrasi balistik tidak boleh lebih dari ketebalan material komposit antipeluru atau tembus, sehingga dapat balistik mengenai bagian tubuh dari pengguna rompi antipeluru.

4. Kesimpulan

Komposit antipeluru berpenguat serat bambu betung dengan matriks epoksi/hardener dengan campuran penambahan keramik 20, 25 dan 30 ml, material komposit mampu mereduksi balistik yang memiliki energi kinetik sebesar 209,83 Joule dengan kedalaman penetrasi balistik < 1 mm, hasil pengujian balistik sudah memenuhi standar NIJ 01.01.06 perihal kedalaman penetrasi balistik terhadap material komposit, tetapi komposit yang dihasilkan masih terdapat *void-void* udara. Jenis keretakan yang terjadi pada seluruh sampel adalah retakan ulet tanpa adanya rambatan retakan ke area lain pada permukaan material komposit. Saran pada kajian selanjutnya adalah melakukan analisis sifat mekanis terhadap komposit antipeluru agar dapat mengetahui nilai karakteristik dari material komposit antipeluru. Melakukan uji balistik menggunakan spesifikasi senjata yang lebih tinggi, karena pada uji balistik kajian ini dampak pengujian kurang terlihat besar karena jejak proyektil yang terdapat pada material komposit memiliki kedalaman < 0,1 mm.

Kajian ini perlu dikembangkan dari pengujian yang dilakukan seperti pengujian porositas, uji mekanik dan uji SEM untuk menganalisis secara menyeluruh kemampuan biokomposit terhadap uji balistik serta ikatan yang terjadi antara matriks dengan penguat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada beasiswa bidikmisi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi.

Daftar Pustaka

- [1] Ashari W. Aplikasi Kemampuan Rompi Antipeluru Terbuat Dari Epoxy–HGM–Carbon Fiber Dalam Menahan Back Face Signature Dan Energi Impact Akibat Proyektil [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2017.
- [2] Pulungan MA, Sutikno S. Pengaruh Ketebalan Terhadap Daya Serap Energi Impak pada Rompi Antipeluru yang Terbuat dari Komposit Hgm-Epoxy Dan Serat Karbon. *Jurnal Inotera*. 2017;2(2):81-4.
- [3] Basharudin A. Analisa Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Karbon, Agave, Rami Dengan Metode SEM Dan XRD [Skripsi]. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang; 2019.
- [4] Refiadi G, Bayu N, Judawisastra H, Mardiyati, editors. Karakterisasi Serat Bambu Petung Untuk Bahan Komposit Hijau Polimer Epoksi. Seminar Nasional Jurusan Pendidikan Teknik Mesin; 2017.
- [5] Andaru AA. Pengaruh Komposisi Epoksi Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Termal Pada Komposit Serat Kaca/Vinyl Ester/Epoksi Sebagai Kandidat Material Antipeluru (Body Armor) [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2017.
- [6] Gultom AWJ. Analisis Komposit Epoxy-HGM-Serat Sisal Woven Sebagai Bahan Alternatif Rompi Antipeluru [Skripsi]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November; 2019.
- [7] Wiradhana I. Studi Karakteristik Komposit Balistik Berbahan Filler Serat Rami Dan Serat Abaka Dengan Matriks Resin Epoksi [Skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya; 2018.
- [8] Cruz RBd, Lima Junior EP, Monteiro SN, Louro LHL. Giant bamboo fiber reinforced epoxy composite in multilayered ballistic armor. *Materials Research*. 2015;18:70-5.
- [9] Übeyli M, Yıldırım RO, Ögel B. On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors. *Materials & Design*. 2007;28(4):1257-62.
- [10] Egres Jr R, Halbach C, Decker M, Wetzel E, Wagner N, editors. Stab performance of shear thickening fluid (STF)–fabric composites for body armor applications. *Proceedings of SAMPE 2005: New Horizons for Materials and Processing Technologies*; 2005 1-5 May 2005; Long Beach, CA.
- [11] Purwanto EH. Sifat fisis dan mekanis fraksi volume 5%, 10%, 15%, 20%, 25% core arang bambu apus pada komposit sandwich dengan cara tuang [Skripsi]. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta; 2009.