

# **ANALISA UJI IMPAK KOMPOSIT MATRIKS *EPOXY*-KARET 30%, 40%, 50% PENGUAT SERAT KARBON, RAMI, DAN KAPAS SEBAGAI *BODY ARMOR***

Kadek Dwi Suarjana<sup>1</sup>, I Komang Astana Widi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Mesin S-1 ITN Malang, <sup>2</sup>Dosen Teknik Mesin S-1 ITN Malang  
Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri Malang  
Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur  
e-mail : dwisuarjana14@gmail.com

## **ABSTRAK**

Penelitian ini merancang material komposit dengan menggunakan serat karbon kevlar, serat rami, dan serat kapas yang diikat dengan matriks campuran *epoxy* dan karet silikon sebanyak 30%, 40%, dan 50% sebagai produk *Body Armor*/Panel Rompi Anti Peluru.

Setelah penulis membuat spesimen dengan persentase karet 30%, 40%, dan 50% lalu dilakukan pengujian impact dan mendapatkan hasil uji impact tertinggi pada campuran karet silikon 30% yaitu sebesar 0.0209 Joule/mm<sup>2</sup>. Setelah material yang tepat sudah diketahui, maka penulis membuat produk panel rompi anti peluru dari material komposit laminasi serat karbon kevlar setebal 5 mm, serat rami setebal 5 mm, dan serat kapas setebal 5 mm yang diikat dengan matriks campuran *epoxy* 70% dan karet silikon 30% dengan ketebalan total 15 mm sesuai dengan produk panel rompi anti peluru level IIIA standar NIJ 0101.04 yang dijual dipasaran. Selesaiannya dibuat produk panel rompi anti peluru ini akan diuji tembak di Pusat Pendidikan ARHANUD Kota Batu. Pengujian tembak menggunakan senjata pistol G2 Elite Pindad dengan kaliber 9 mm setara dengan peluru standar NIJ 0101.04. level IIIA.

Hasil pengujian tembak produk panel rompi anti peluru yang dibuat belum mampu untuk menahan tembakan peluru pistol G2 Elite Pindad (tembus). Kerusakan dari tembakan peluru pada produk dianalisa kondisi yang terjadi pada material komposit melalui foto makro dan foto SEM. Hasil pengamatan foto tersebut dapat dijelaskan pada material komposit yang terkena tembakan mengalami kerusakan berserat yang menandakan material komposit tidak getas serta ikatan antar serat dengan matriks melekat dengan baik dan dapat dilihat juga terjadinya untuk cacat yang terjadi adalah cacat rongga dan celah antar matriks.

**Kata kunci:** Variasi karet silikon, uji impact, *body armor*.

## **1. PENDAHULUAN**

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material baru yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Material komposit yang diperkuat dengan serat merupakan bahan teknik yang banyak digunakan karena kekuatan dan kekakuan spesifik yang bisa jauh diatas bahan teknik pada umumnya<sup>[5]</sup>. Material komposit dapat didisain mendekati kebutuhan tergantung pada jenis atau komposisi matriks dan serat yang digunakan. Penerapan material komposit paling banyak salah satunya dibidang pertahanan kemiliteran, contohnya seperti helm anti peluru, rompi, bodi kendaraan, dan lain sebagainya.

---

Maka dari itu penulis ingin mengembangkan salah satu produk militer yaitu *body armor* atau panel rompi anti peluru dengan material komposit yang memiliki sifat ketangguhan tinggi dengan menambahkan campuran karet pada *epoxy* sebagai matriksnya. Karet silikon pada campuran matriks ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan peredaman energi impak dari material komposit, karena mengingat kemampuan karet silikon salah satunya adalah sifat ulet dan tahan guncangan yang baik<sup>[7]</sup>. Campuran karet silikon pada matriks akan diteliti terlebih dahulu oleh penulis untuk mengetahui berapa persentase campuran karet pada matriks *epoxy* yang terbaik dalam menahan energi impak. Dalam jurnal<sup>[10]</sup> menjelaskan bahwa dari persentase 10%, 20%, dan 30% karet dalam matriks *epoxy* memiliki nilai ketahanan kekuatan impak Semakin meningkat dengan meningkatnya persentase karet, akan tetapi jika campuran karet lebih dari 30% belum diketahui ketahanan kekuatan impak komposit menjadi meningkat atau menurun.

Sebelum penulis membuat produk panel rompi anti peluru, penulis meneliti terlebih dahulu kekuatan impak variasi campuran karet silikon 30%, 40%, dan 50% untuk mengetahui material komposit dengan kekuatan impak optimal. Penelitian mengembangkan komposit jenis serat laminasi. Serat yang digunakan adalah serat karbon kevlar, serat rami dan serat kapas. Beberapa serat ini dipilih karena pada serat karbon ini memiliki kekuatan mekanik yang sangat baik menurut jurnal<sup>[9]</sup>, serat rami juga dipilih karena memiliki kelebihan yaitu kekuatan mekanik yang baik diantara serat alami lainnya, ramah lingkungan, penyerapan cairan yang baik, dan mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun<sup>[4]</sup>. Serat kapas juga dipilih karena memiliki massa serat yang ringan diantara serat lainnya, daya serap cairan yang sangat baik, dan ramah lingkungan<sup>[3]</sup>.

Urutan lapisan serat yang digunakan pada material komposit ini yang terdepan yaitu serat kapas, lapisan kedua serat rami, dan lapisan ketiga serat karbon kevlar dengan metode pembuatan *hand lay-up* agar lebih mudah dan ekonomis. Urutan serat ini digunakan karena menurut peneliti sebelumnya mengenai komposit anti peluru<sup>[1]</sup> membuat material komposit dengan serat alami berada di urutan depan yaitu serat agave ketebalan 6 mm, sedangkan serat sintesis karbon di urutan belakang dengan tebal 10 mm. Pada panel rompi yang akan dibuat oleh penulis menggunakan 3 lapisan serat dengan mengurangi jumlah serat karbon dan menambahkan jenis serat alami lainnya dengan ketebalan masing-masing 5 mm dengan harapan berat material komposit lebih ringan karena serat karbon memiliki massa jenis yang lebih tinggi daripada serat alami.

Dalam penelitian ini spesimen material komposit yang dibuat akan dilakukan beberapa pengujian yaitu yang pertama uji kekuatan impak untuk mengetahui kekuatan persentase campuran karet optimal pada material komposit karena pengujian impak yang paling cocok dengan pengujian tembak, yang kedua uji tembak peluru untuk mengetahui ketahanan material komposit secara nyata dalam menahan laju peluru tembak standar NIJ 1010.04. level IIIA. Setelah dilakukan pengujian tembak peluru pada produk panel rompi anti peluru maka dilakukan analisa kondisi material dengan foto makro dan foto *SEM (Scanning Elektron Microscope)* untuk mengetahui struktur kerusakan dari material yang telah diuji tembak.

---

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

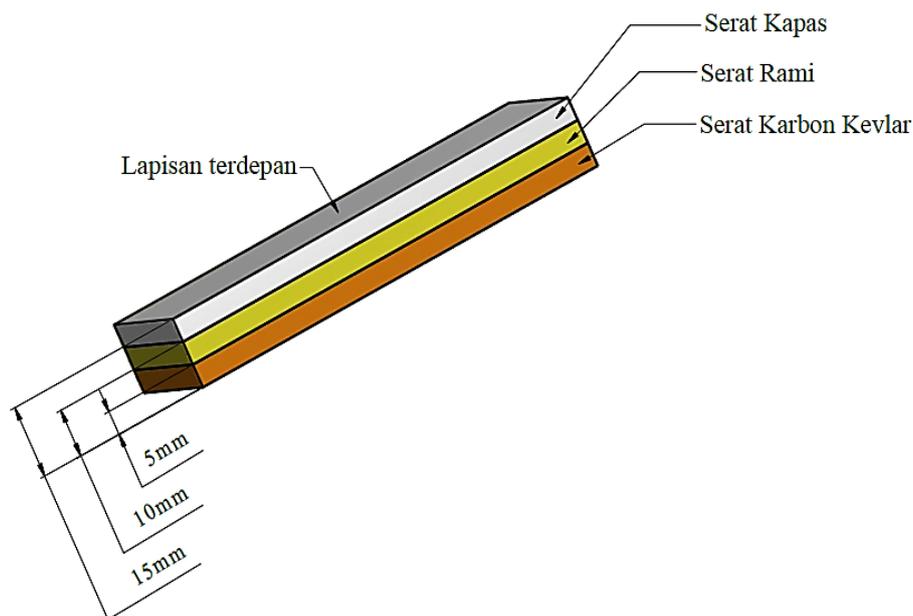
Pada buku skripsi<sup>[1]</sup> menjelaskan rompi anti peluru merupakan baju pelindung yang digunakan di dalam dunia militer. Rompi tersebut digunakan untuk melindungi badan bagian dada, perut, dan punggung. Organ-organ vital manusia terletak diantara punggung dan dada seperti jantung, hati, paru-paru, organ-organ pencernaan dan ginjal dimana organ-organ tersebut apabila terjadi kerusakan dapat berakibat dan fatal dan bahkan mengalami kehilangan nyawa seketika.

*Body armor* ada 2 macam yaitu:

- a. *Soft body armor*
- b. *Hard body armor*

Pada penelitian ini akan membahas tentang material komposit untuk *Hard body armor* yang dilakukan pengujian impact terlebih dahulu untuk mengetahui nilai impact optimal pada komposit matriks variasi campuran karet silikon 30%, 40%, dan 50% dengan *epoxy* berpenguat serat karbon kevlar, serat rami, dan serat kapas.

Pengujian impact dilakukan dengan tipe *charpy* yaitu spesimen uji diletakan pada alat uji dengan posisi horizontal yang ditumbuk oleh bandul alat uji impact dari arah belakang takik. Standar yang digunakan ASTM D 256-00 dengan urutan lapisan serat dari teratas ke yang terbawah yaitu serat kapas, rami, dan karbon kevlar seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Urutan lapisan serat spesimen uji impact dan produk panel rompi anti peluru

Pada pengujian impact bahan komposit serat, sebelum dilepas bandul alat uji diayunkan membentuk sudut  $\alpha$  (alfa)  $45^\circ$  dari sumbu tegak lurus dan setelah mematahkan spesimen, bandul akan membentuk sudut sisa tenaga ayunan bandul  $\beta$  (beta) dari sumbu tegak lurus<sup>[6]</sup>. Berikut di bawah ini persamaan yang digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dan harga impact:

Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dapat dihitung dengan rumus:

$$E = W \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots(1)$$

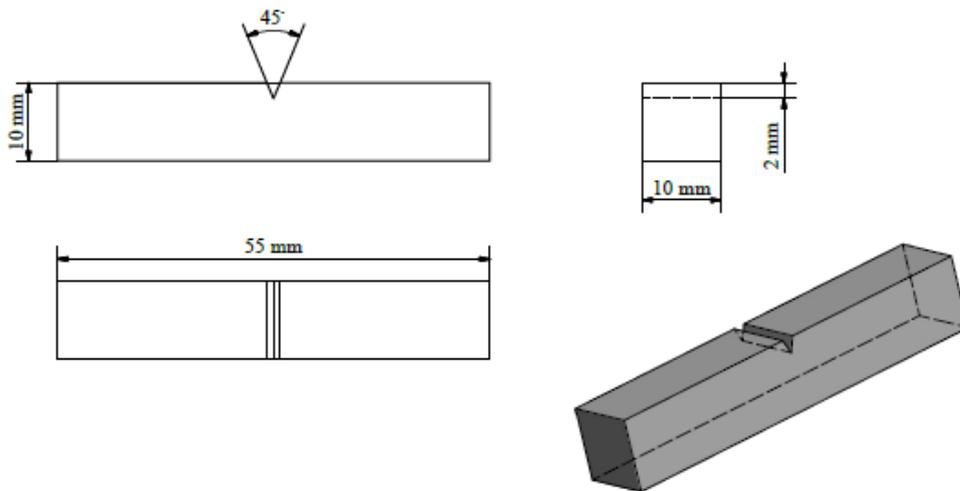
- Keterangan: E : Energi impak (Joule)  
 W : Berat hammer (kg)  
 R : Panjang lengan bandul (m)  
 $\alpha$  : Sudut awal bandul ( $^{\circ}$ )  
 $\beta$  : Sudut akhir bandul ( $^{\circ}$ )

Harga impak dapat dihitung dengan rumus:

$$HI = \frac{E}{A^{\circ}} \dots\dots\dots(2)$$

- Keterangan: HI : Harga Impak (Joule/mm<sup>2</sup>)  
 E : Energi impak (Joule)  
 A<sup>o</sup> : Luas penampang di bawah takik (mm<sup>2</sup>)

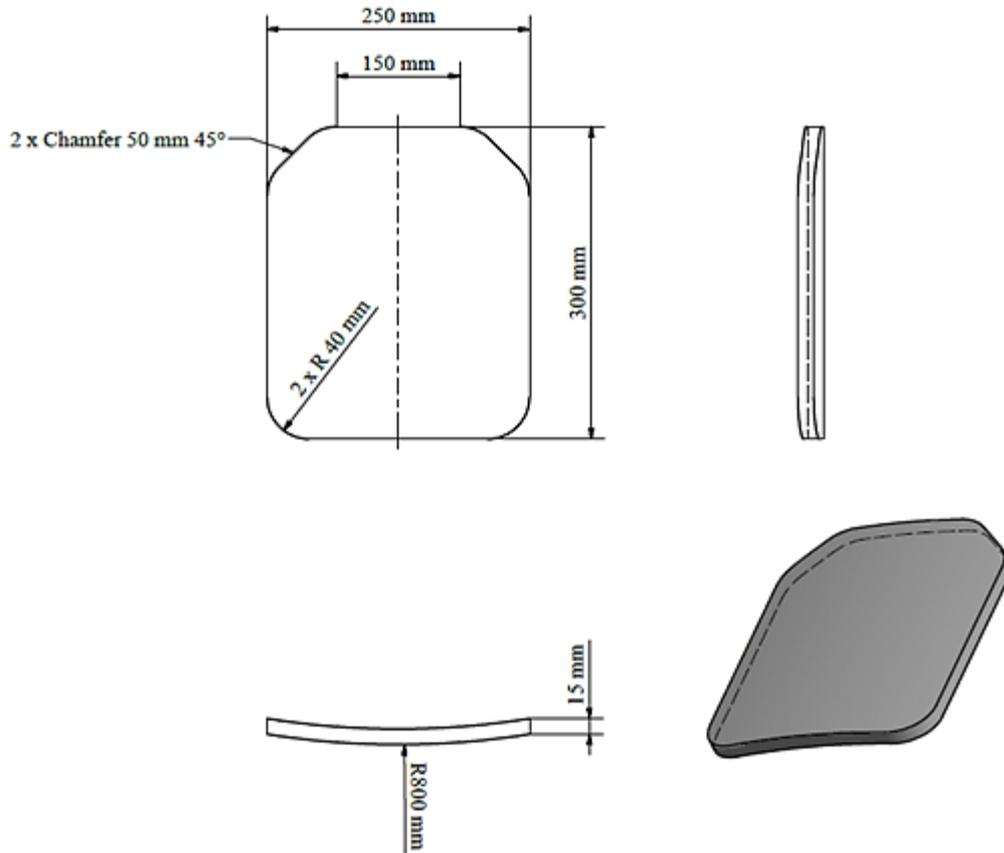
Fraksi volume yang digunakan adalah volume serat 90% dan volume matriks 10%. Berikut pada Gambar 2 disain spesimen uji impak yang dibuat:



**Gambar 2.** Disain spesimen uji impak

Setelah dilakukan pengujian kekuatan impak dan mendapatkan materian komposit dengan kekuatan impak optimal, maka dibuat produk panel rompi anti peluru dengan ketebalan total 15 mm dan ketebalan 5 mm pada setiap jenis serat dengan urutan lapisan serat dari teratas ke yang terbawah yaitu serat kapas, rami, dan karbon kevlar. Fraksi volume yang digunakan adalah volume serat 90% dan volume matriks 10%.

Berikut pada Gambar 3, disain rompi anti peluru yang dibuat mengacu pada standar NIJ 0101.04 dan produk yang banyak dijual dipasaran.



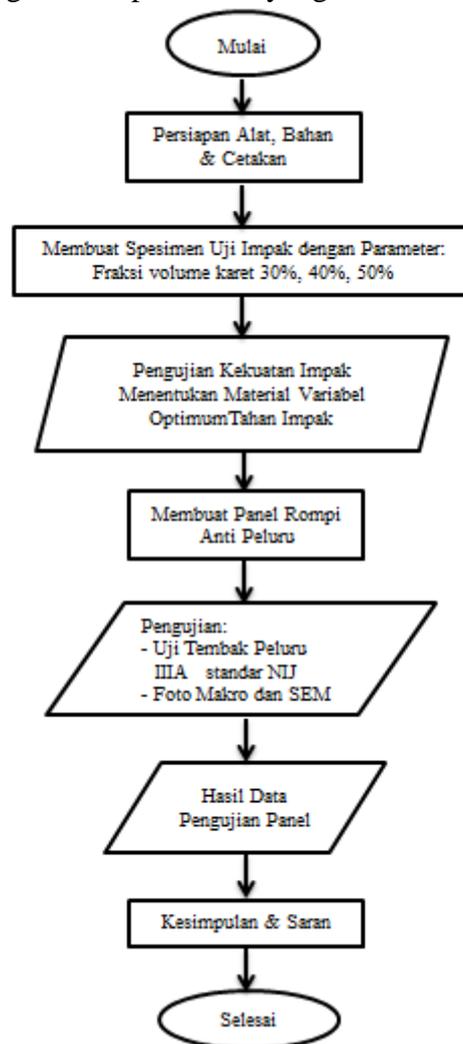
**Gambar 3.** Disain panel rompi anti peluru

Produk rompi anti peluru yang akan diuji sesuai standar pengujian yang digunakan yaitu menggunakan tipe III-A, NIJ 0101.04 dengan tipe peluru yaitu 44 Magnum Lead SWC dan 9 mm FMJ, nominal massa peluru sebesar 8,1 g, minimum kecepatan peluru sebesar 426 m/s. Langkah pertama saat pengujian yaitu meletakkan spesimen uji dengan jarak sesuai standar yang ditentukan yaitu 15 meter dari senjata penembak.

Setelah dilakukan pengujian impak dan pengujian tembak maka dilakukan analisa material menggunakan foto makro dan foto SEM untuk mengetahui karakteristik kerusakan material setelah diuji.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut Gambar 4, diagram alir penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 4. Diagram alir skripsi

#### 3.1 Alat dan bahan penelitian

Alat penelitian

1. Mesin bor
  2. Mesin gerinda
  3. Gergaji kasar
  4. Gergaji halus
  5. Kunci kombinasi pas ring
  6. Gunting
  7. Kikir segi tiga
  8. Alat pres cetakan
  9. Cetakan
  10. Rol cat
  11. Kuas
  12. Gelas takar
  13. Amplas
  14. Spet
  15. Sarung tangan
  16. Lap kain
  17. Gelas tempat mencampur
  18. Sendok
  19. Timbangan gram digital
  20. Jangka sorong
  21. Mistar baja
-

Bahan yang digunakan

1. Wax
2. *Cling wrap*
3. Serat Penguat
  - a. Serat karbon kevlar
  - b. Serat rami
  - c. Serat kapas
4. Matriks
  - a. Polimer *epoxy*
  - b. Karet silikon

### 3.2 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dilakukan dari bulan Oktober 2019 sampai Januari 2020. Pengujian impact dilaksanakan di Lab. Material Jurusan Teknik Mesin kampus ITN Malang, pengujian tembak dilaksanakan di Pusat Pendidikan ARHANUD kota Batu, kabupaten Jawa Timur, dan foto SEM dilaksanakan di Lab. LSIH, Universitas Brawijaya, Kota Malang, Jawa Timur.

## 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan data hasil uji impact

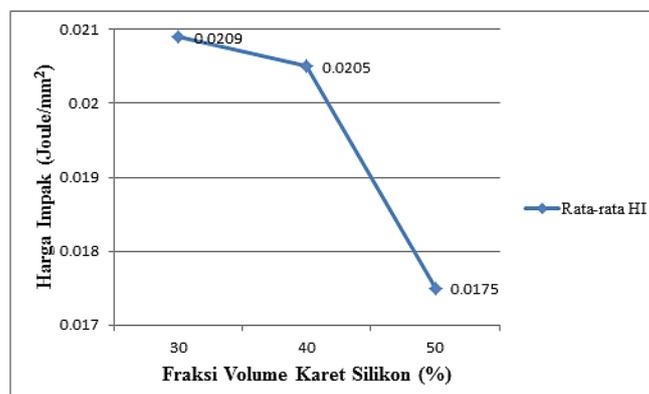
Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui harga impact dari material komposit serat karbon kevlar, serat rami, dan serat kapas dengan matriks campuran karet silikon 30%, 40%, dan 50% pada *epoxy* dengan standar ASTM D 256-00. Berikut dapat dilihat pada Tabel 1 hasil pengujian impact.

Tabel 1. Data hasil pengujian impact

Variasi persentase karet	Nomor spesimen	(A <sup>2</sup> ) (mm <sup>2</sup> )	(α) (°)	(β) (°)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm <sup>2</sup> )
30%	1	80	45	36	1,736	0,0217
	2	80	45	37	1,548	0,0193
	3	80	45	36	1,736	0,0217
	Rata-rata					0,0209
40%	1	80	45	36	1,736	0,0217
	2	80	45	36,5	1,633	0,0204
	3	80	45	37	1,548	0,0193
	Rata-rata					0,0205
50%	1	80	45	38	1,378	0,0172
	2	80	45	37,5	1,463	0,0182
	3	80	45	38	1,378	0,0172
	Rata-rata					0,0175

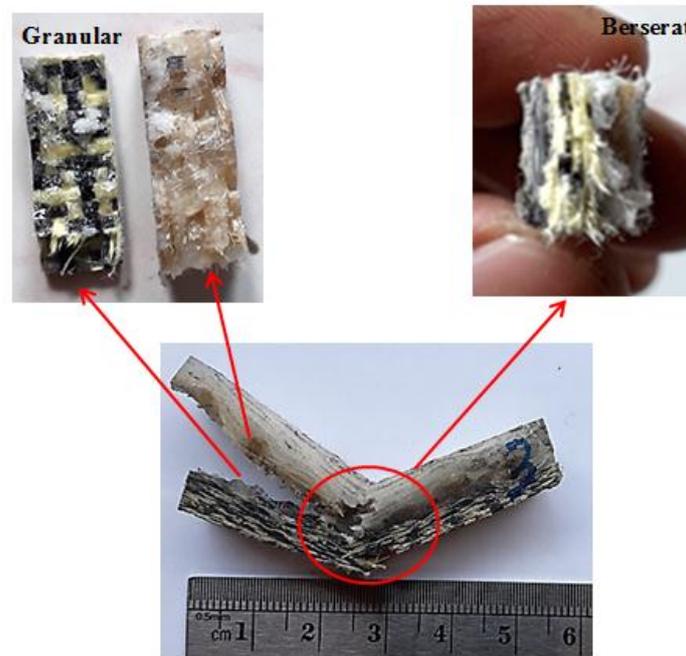
Dari Tabel 4.1 dapat dibuat Grafik 4.1 untuk memudahkan dalam pembacaan hasil pengujian impact.

Grafik 1. Data hasil pengujian impact



Hasil pengujian impact material komposit serat yang bermatriks *epoxy* dicampur dengan karet silikon sebanyak 30%, 40%, dan 50% memiliki kekuatan impact rata-rata tertinggi pada campuran 30% karet silikon dan kekuatan impact menurun saat campuran karet silikon ditambah menjadi 40% yang kekuatan impactnya menurun sebesar 2% dan pada 50% karet silikon kekuatan impact menurun drastis sebesar 15%. Hal ini disebabkan karena semakin banyak campuran karet silikon pada material komposit menyebabkan material menjadi semakin ulet gaya impact tidak tersalurkan dengan baik dari matriks kesetiap serat penguat material komposit. Pernyataan ini dapat dibuktikan oleh beberapa foto bentuk kerusakan yang terjadi pada spesimen uji setelah pengujian impact pada Gambar 5, 6, dan 7.

- a. Foto kerusakan spesimen 30% karet silikon seperti Gambar 5.



**Gambar 5.** Spesimen hasil uji impact 30% karet silikon

Pada Gambar 5 dapat dilihat kerusakan yang terjadi pada spesimen dengan campuran matriks 30% karet silikon adalah kerusakan patah campuran yaitu patahan berserat terjadi pada patahan serat karbon kevlar, seperti yang di jelaskan dalam buku skripsi<sup>[6]</sup>. Hal ini terjadi karena komposisi yang sedikit karet silikon mengakibatkan material menjadi lebih kaku dan gaya impact dari bandul alat uji dapat diteruskan dengan baik oleh matriks keserat penguat hingga serat putus menyebabkan nilai harga impact tinggi. Sedangkan terjadinya pecahan granular pada lepasnya ikatan antar serat karbon dengan serat rami yang disebabkan oleh pergeseran antar lapisan serat saat menahan beban impact sehingga antar lapisan serat terpisah.

b. Foto kerusakan spesimen 40% karet silikon seperti Gambar 6.



**Gambar 6.** Spesimen hasil uji impact 40% karet silikon

Pada Gambar 6 dapat dilihat kerusakan yang terjadi pada spesimen dengan campuran matriks 40% karet silikon tidak ada serat yang putus, tetapi hanya terjadi pecahan granular seperti yang di jelaskan dalam buku skripsi<sup>[6]</sup>. Hal ini karena material semakin ulet oleh campuran karet silikon yang meningkat menyebabkan material matriks pada spesimen tidak mampu meneruskan gaya impact dari bandul alat uji dengan baik keserat penguat hingga serat tidak putus. Inilah yang menyebabkan nilai harga impact menurun. Sedangkan terjadinya pecahan granular pada lepasnya ikatan antar serat karbon yang disebabkan oleh pergeseran antar lapisan serat saat menahan beban impact sehingga antar lapisan serat terpisah.

c. Foto kerusakan spesimen 50% karet silikon seperti Gambar 7.



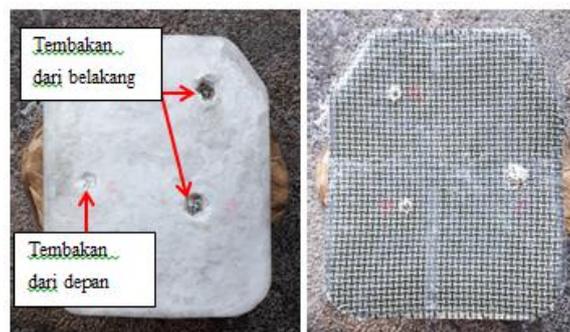
**Gambar 7.** Spesimen hasil uji impact 50% karet silikon

Pada Gambar 7 dapat dilihat kerusakan yang terjadi pada spesimen dengan campuran matriks 50% karet silikon tidak ada serat yang putus, tetapi hanya terjadi pecahan granular seperti yang di jelaskan dalam buku skripsi<sup>[6]</sup>. dan pecahan granular yang terjadi lebih sedikit dari pada spesimen 40% karet silikon. Hal ini menandakan material semakin ulet oleh campuran karet silikon yang meningkat dan gaya impak dari bandul alat uji tidak dapat diteruskan dengan baik oleh matriks keserat penguat hingga serat tidak putus. Inilah yang menyebabkan nilai harga impak menurun drastis, sedangkan terjadinya pecahan granular pada lepasnya ikatan antar serat karbon yang disebabkan oleh pergeseran antar lapisan serat saat menahan beban impak dan banyaknya campuran karet silikon membuat ikatan antar lapisan serat semakin lemah, terbukti dari terlihat banyaknya karet silikon pada dalam pecahan granular pada pembesaran Gambar 7.

## 4.2 Pengolahan data pengujian tembak

### 4.2.1 Penetrasi peluru

Penetrasi peluru hasil pengujian tembak yaitu dari 3 tembakan, 1 tembakan dari arah depan produk dan 2 tembakan dari arah belakang produk dan hasilnya produk tertembus oleh ketiga tembakan tersebut. maka penetrasi yang terjadi pada produk tidak dapat disebutkan karena peluru menembus produk. Pada Gambar 8, dapat dilihat produk pelindung dada anti peluru yang telah tembus diuji tembak.



Gambar 8. Panel rompi anti peluru setelah diuji

### 4.2.2 Timbulan kerusakan akibat tembakan

Tabel 2. Timbulan kerusakan setelah uji tembak

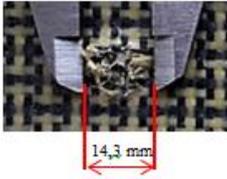
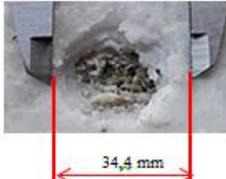
Urutan serat dari arah tembakan	Timbulan Depan	Timbulan Belakang
Kapas-Rami-Karbon		
Karbon-Rami-Kapas		

Dilihat dari Tabel 2, timbunan kerusakan depan pada arah tembakan dari urutan serat kapas-rami-karbon merata atau tidak ada timbunan serat yang keluar, sedangkan timbunan kerusakan depan pada arah tembakan dari urutan serat karbon-rami-kapas memiliki tinggi timbunan serat setinggi 6 mm. Begitu juga pada timbunan kerusakan belakang pada arah tembakan dari urutan serat kapas-rami-karbon memiliki tinggi timbunan serat setinggi 9 mm, sedangkan timbunan kerusakan belakang pada arah tembakan dari urutan serat karbon-rami-kapas merata atau tidak ada timbunan serat yang keluar.

Perbedaan timbunan serat ini disebabkan karena serat kapas memiliki sifat yang getas saat dicampur cairan matriks dibandingkan dengan serat karbon yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi berdasarkan Tabel 2.4 dan tidak segetas serat kapas jika dicampur cairan matriks, maka dari itu saat menahan laju peluru tembak pecahan material komposit kapas hancur tanpa timbunan sedangkan material komposit serat karbon masih terikat dengan serat karbon disekitarnya.

### 4.2.3 Diameter kerusakan akibat tembakan

**Tabel 3.** Diameter kerusakan setelah uji tembak

Urutan serat dari arah tembakan	Diameter Depan	Diameter Belakang
Kapas-Rami-Karbon		
Karbon-Rami-Kapas		

Dilihat dari Tabel 3 diameter kerusakan depan produk pada arah tembakan dari urutan serat kapas-rami-karbon sebesar 23,5 mm dan diameter kerusakan belakang produk sebesar 33,8 mm, maka selisih besar diameter sebesar 10,3 mm. Sedangkan diameter kerusakan depan produk pada arah tembakan dari urutan serat karbon-rami-kapas sebesar 14,3 mm dan diameter kerusakan belakang produk sebesar 34,4 mm, maka selisih besar diameter sebesar 20,1 mm.

Hasil tembakan tersebut didapat perbedaan besar diameter kerusakan antara depan dan belakang produk berdasarkan arah datangnya peluru tembak. Kerusakan depan tembakan selalu lebih kecil diameternya dibandingkan kerusakan belakangnya, sesuai dengan teori yang dijelaskan pada jurnal<sup>[11]</sup> yang mengatakan kerusakan akan dampak dari tumbukan proyektil struktur kerusakan material menghasilkan pengembangan pulsa tekanan di bagian belakang sampel.

Hal ini menyebabkan permukaan belakang mengalami deformasi di wilayah yang dipengaruhi oleh proyektil yang terfragmentasi. Hal ini terjadi karena pada awal peluru

tembak menyentuh produk masih memiliki putaran yang tinggi dan ujung peluru yang lancip menyebabkan peluru lebih mudah menerobos masuk ke dalam material produk, dan saat ujung peluru menumpul karena tabrakan dengan material maka kerusakan bagian belakang menjadi lebih besar. Sejalan dengan selisih diameter kerusakan belakang antara tembakan urutan serat karbon, rami, kapas yang lebih besar 9,8 mm daripada urutan serat kapas, rami, karbon karena semakin tumpulnya ujung peluru mengakibatkan peluru tidak mudah menerobos material komposit yang menyebabkan kerusakan material komposit yang lebih luas.

#### 4.2.4 Foto makro dan SEM produk komposit panel rompi anti peluru

##### a. Foto makro

Berikut Gambar 9 dan 10 merupakan foto lapisan serat dan kerusakan bagian dalam material komposit panel rompi anti peluru hasil pengujian tembak dari arah serat kapas-rami-karbon dan dari arah serat karbon-rami-kapas:



**Gambar 9.** Hasil tembakan dari arah serat kapas-rami-karbon

Berdasarkan dari Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa kerusakan tembakan peluru dari arah serat kapas-rami-karbon pada serat kapas dan serat rami tidak terlalu besar daripada tembakan dari arah serat karbon-rami-kapas. Hal ini menunjukkan bahwa peluru masih lancip saat awal mengenai permukaan material komposit yaitu serat kapas, sehingga tekanan oleh energi impact peluru yang diserap oleh material lebih rendah.



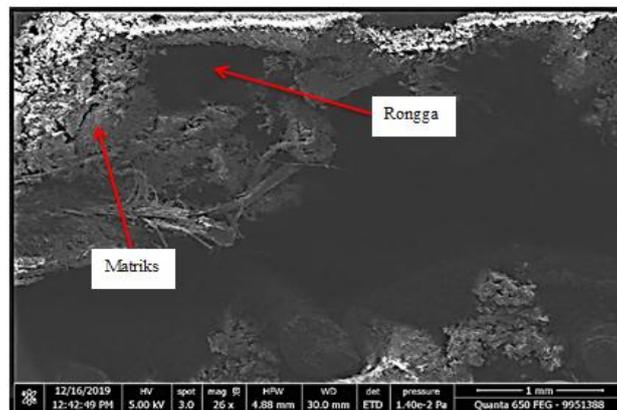
**Gambar 10.** Hasil tembakan dari arah serat karbon-rami-kapas

Berdasarkan dari Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa kerusakan tembakan peluru dari arah serat karbon-rami-kapas pada serat kapas dan serat rami lebih besar daripada tembakan dari arah serat kapas-rami-karbon, ini menunjukkan bahwa ujung peluru lebih tumpul dibandingkan hasil tembakan pada Gambar 4.5 sehingga energi impak yang diserap oleh material lebih besar.

Pernyataan ini diperkuat oleh jurnal<sup>[11]</sup> yang menyatakan kecepatan peluru berbanding lurus dengan besar energi dan kerusakan yang terjadi pada material komposit. Saat kecepatan peluru menurun, maka peluru berubah bentuk menyebabkan material komposit retak secara radial mengalir diatas permukaan komposit yang tertumbuk mendorong lapisan permukaan belakang komposit dengan kekuatan yang cukup untuk menyebabkan kegagalan.

#### b. Foto SEM

Berikut dari Gambar 11 dan 12 foto SEM cacat yang terjadi pada material komposit yang mempengaruhi kemampuan produk panel rompi anti peluru:



**Gambar 11.** Foto SEM cacat rongga pada material komposit (pembesaran 26x)

Pada foto SEM Gambar 11 dapat dilihat terjadinya rongga pada material komposit yang disebabkan oleh tidak meratanya matriks masuk kedalam celah serat, sehingga rongga terjadi. Rongga ini sangat berpengaruh pada kekuatan material komposit, karena jika tanpa matriks maka keuletan dari material komposit berkurang dan peluru mudah untuk menembus serat yang tanpa matriks. Cacat ini diakibatkan oleh kurang banyak matriks yang di tuang saat mencetak material komposit, terutama saat produk di pres matriks harus tergenang di cetakan sampai matriks mengeras.



**Gambar 12.** Foto SEM cacat celah pada material komposit (pembesaran 26x)

Pada foto SEM Gambar 12 dapat dilihat bahwa terjadinya celah diantara 2 matriks yang berbeda pada material komposit yaitu matriks *epoxy* dan karet silikon. Kedua matriks ini dapat dibedakan berdasarkan teori penelitian tentang polimer *epoxy*<sup>[8]</sup> dan penelitian tentang karet silikon<sup>[2]</sup>. Terjadinya celah ini disebabkan karena kurang meratanya campuran matriks karet silikon dan *epoxy* atau menggumpalnya salah satu penyusun matriks yang menyebabkan matriks mengering secara terpisah. Dilihat dari cacat celah ini sangat mempengaruhi kekuatan dari material komposit dalam menahan laju peluru karena ikatan antar matriks kurang baik yang dapat diminimalkan jika proses pengadukan cairan matriks *epoxy* dengan karet silikon lebih lama dan merata.

## **5. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang penulis lakukan yaitu tentang analisa kemampuan komposit matriks *epoxy*-karet berpenguat serat karbon kevlar, rami, dan kapas pada produk panel rompi anti peluru dapat disimpulkan hasilnya sebagai berikut:

- a. Hasil pengujian kekuatan impak menunjukkan harga impak terbesar adalah pada variasi campuran karet silikon 30% yaitu sebesar 0.0209 Joule/mm<sup>2</sup> dengan kondisi material komposit yang kaku, sedangkan harga impak terendah pada campuran 50% karet silikon yaitu sebesar 0,0175 Joule/mm<sup>2</sup> dengan kondisi material komposit yang ulet.
- b. Produk panel rompi anti peluru dari material komposit laminasi matriks campuran karet silikon optimal 30% dan *epoxy* 70% berserat karbon kevlar 20 lapis, anyaman serat rami 1 lapis, dan serat kapas 4 lapis dengan ketebalan total 15 mm belum mampu menahan laju peluru tembak Pistol G2 Elite Pindad yang setara dengan standar NIJ 0101.04 level IIIA.
- c. Data foto makro material komposit hasil pengujian tembak dapat disimpulkan bahwa urutan lapisan serat yang baik menahan laju peluru tembak berdasarkan perbedaan arah tembak pada produk yaitu urutan serat karbon kevlar, rami, kapas.
- d. Berdasarkan foto SEM material komposit yang dibuat dapat dilihat bahwa masih banyak terjadi cacat pada material komposit seperti cacat rongga dan cacat celah diantara matriks.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang penulis lakukan yaitu tentang analisa kemampuan komposit matriks *epoxy*-karet berpenguat serat karbon kevlar, rami, dan kapas pada produk panel rompi anti peluru didapat saran sebagai berikut:

- a. Sesuaikanlah campuran matriks *epoxy* dengan karet silikon agar mendapatkan karakteristik material yang sesuai dengan kebutuhan.
  - b. Dalam pembuatan material komposit produk panel rompi anti peluru sebaiknya menggunakan ketebalan produk lebih dari 15 mm untuk meningkatkan kemampuan material dalam menahan laju peluru tembak pistol cal. 9 mm standar NIJ 0101.04 level IIIA.
  - c. Memastikan urutan serat yang akan diterapkan sesuai dengan kebutuhan karena sangat berpengaruh terhadap kemampuan yang dimiliki oleh material komposit.
-

- d. Meminimalisirkan terbentuknya cacat rongga dan cacat celah dengan lebih teliti saat menuangkan matrik keserat dan saat mengaduk campuran matriks agar merata, sehingga produk kekuatannya meningkat untuk menahan laju peluru.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anhar Pulungan Muhammad. 2017. Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru Yang Terbuat Dari Komposit HGM-Epoxy Dan Serat Karbon Dalam Menyerap Energi Akibat Impact Peluru. *Jurnal Energi dan Manufactur*, No.(1): 1-95.
  2. Anna Strakowska. 2012. *Silsesquioxanes as Modifying Agents of Methylvinyl Silicone Rubber*. *Materials Science Forum Vol. 714 (2012) pp 183-189*© (2012) *Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.714.183*.
  3. Bahan Kain, 2019. Mengenal Sifat-sifat Serat Kapas. <https://www.bahankain.com/2019/07/04/mengenal-sifat-sifat-serat-kapas>. Diakses tanggal 16 Januari 2020.
  4. Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan. 2015. Potensi Serat Rami (Boehmeria Nivea S. Gaud) Sebagai Bahan Baku Industri Tekstil Dan Produk Tekstil Dan Teknik. *Arena Tekstil Vol. 30 No. 2, Desember 2015: 113-122*
  5. Hendy Rianto, 2017. Komposit (definisi, klasifikasi, dan aplikasi), <https://hendyriyanto1992.blogspot.com/2017/09/komposit-definisi-klasifikasi-dan.html>. Diakses tanggal 10 oktober 2019.
  6. Hidayat Achmad. 2019. *Analisa Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit Matrik Polyester Berpenguat Campuran Karbon dan Kapas*. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional, Malang.
  7. Santo Rubber, 2019. Karet Silikon/silikon rubber, <https://www.industrikaret.com/karet-silikon.html>, Diakses tanggal 16 oktober 2019.
  8. Seoyoon Yu, Wonjoo Lee, Bongkuk Seo, dan Chung-Sun Lim. 2018. *Synthesis of Benzene Tetracarboxamide Polyamine and Its Effect on Epoxy Resin Properties*. *Journal Polymers 2018, 10, 782; doi:10.3390/polym10070782*.
  9. Septyawan Dwi. 2010. Kevlar Komposit. <http://dwi-septyawan.blogspot.com/2010/01/kevlar-composite.html>, diakses tanggal 18 oktober 2019.
  10. Sujana Wyn dan Astana Widi I Km. 2013. Pemanfaatan Silicon Rubber Untuk Meningkatkan Ketangguhan Produk Otomotif Buatan Lokal. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6, No.(1): 1-94*.
  11. Virginia. 2014. Ballistic Impact Mechanisms Of Materials. <https://www2.virginia.edu/ms/research/wadley/ballistic-impact.html>. Diakses tanggal 24 Januari 2020.
-