# BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

# 4.1 Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Uji Impak

### 4.1.1 Pengolahan data hasil uji impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui harga impak 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 4.1 dimensi setiap spesimen pengujian impak.

Tabel 4.1 Dimensi dari setiap spesimen uji impak

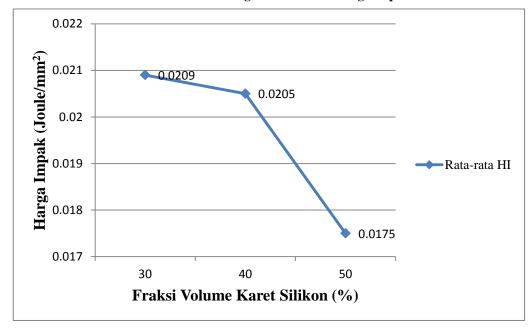
Variasi persentase karet	Nomor spesimen	(p) (mm)	(l) (mm)	(t) (mm)	(h) (mm)	(A°) (mm²)
30%	1	55	10	10	8	80
	2	55	10	10	8	80
	3	55	10	10	8	80
40%	1	55	10	10	8	80
	2	55	10	10	8	80
	3	55	10	10	8	80
50%	1	55	10	10	8	80
	2	55	10	10	8	80
	3	55	10	10	8	80

Dari hasil perhitungan yang terlampir pada Lampiran 2 didapat energi impak dan harga impak dari material komposit yang telah diuji, lalu dibuatkan tabel dan grafik hasil pengujian untuk memudahkan membaca hasil pengujian impak. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Grafik 4.1 hasil perhitungan nilai pengujian impak:

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan energi impak dan harga impak

Variasi persentase karet	Nomor spesimen	(A°) (mm²)	(α) (°)	( <b>β</b> ) (°)	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
		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
		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

Grafik 4.1 Data grafik rata-rata harga impak

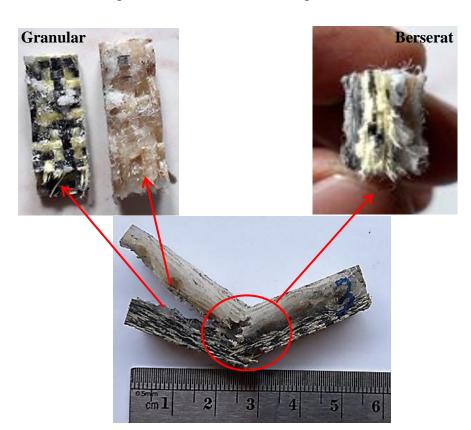


Hasil pengolahan data uji impak material komposit serat karbon kevlar, serat rami, dan serat kapas dengan variasi campuran karet silikon 30%, 40%, dan 50% pada matriks *epoxy*, didapat grafik pebandingan dari rata-rata harga impak seperti pada Tabel 4.2. Harga impak rata-rata pada variasi campuran karet silikon 30% sebesar 0,0209 Joule/mm² dengan kondisi material komposit yang kaku, variasi campuran karet silikon 40% sebesar 0,0205 Joule/mm² dengan kondisi material komposit yang ulet, dan variasi campuran karet silikon 50% sebesar 0,0175 Joule/mm² dengan kondisi material komposit yang lebih ulet dari campuran karet silikon 40%.

Jadi harga impak terbesar adalah pada variasi campuran karet silikon 30% yaitu sebesar 0.0209 Joule/mm², sedangkan harga impak terendah pada campuran 50% karet silikon yaitu sebesar 0,0175 Joule/mm². Maka campuran karet silikon yang baik digunakan pada matriks *epoxy* material komposit serat karbon kevlar, serat rami, dan serat kapas sebagai produk panel rompi anti peluru adalah 30%.

#### 4.1.2 Pembahasan hasil uji impak

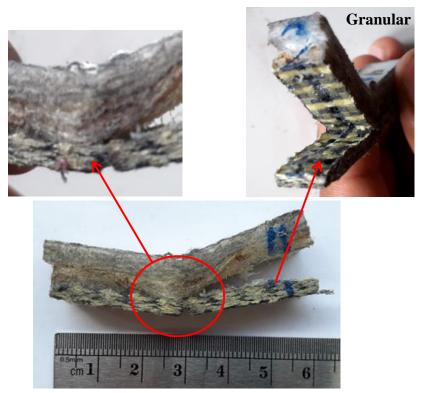
Dari hasil pengujian impak material komposit serat yang bermatriks *epoxy* dicampur dengan karet silikon sebanyak 30%, 40%, dan 50% memiliki kekuatan impak rata-rata tertinggi pada campuran 30% karet silikon dan kekuatan impak menurun saat campuran karet silikon ditambah menjadi 40% yang kekuatan impaknya menurun sebesar 2% dan pada 50% karet silikon kekuatan impak menurun drastis sebesar 15%. Hal ini disebabkan karena semakin banyak campuran karet silikon pada material komposit menyebabkan material menjadi semakin ulet gaya impak 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 impak pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.



## 1. Foto kerusakan spesimen 30% karet silikon seperti Gambar 4.1.

Gambar 4.1 Spesimen hasil uji impak 30% karet silikon

Dilihat dari Gambar 4.1 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 Hidayat Achmad (2019). Hal ini terjadi karena komposisi yang sedikit karet silikon mengakibatkan material menjadi lebih kaku dan gaya impak dari bandul alat uji dapat diteruskan dengan baik oleh matriks keserat penguat hingga serat putus menyebabkan nilai harga impak tinggi. Sedangkan terjadinya pecahan granular pada lepasnya ikatan antar serat karbon dengan serat rami yang disebabkan oleh pergeseran antar lapisan serat saat menahan beban impak sehingga antar lapisan serat terpisah.



# 2. Foto kerusakan spesimen 40% karet silikon seperti Gambar 4.2.

Gambar 4.2 Spesimen hasil uji impak 40% karet silikon

Dilihat dari Gambar 4.2 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 Hidayat Achmad (2019). Hal ini karena material semakin ulet oleh campuran karet silikon yang meningkat menyebabkan material matriks pada spesimen tidak mampu meneruskan gaya impak dari bandul alat uji dengan baik keserat penguat hingga serat tidak putus. Inilah yang menyebabkan nilai harga impak menurun. Sedangkan terjadinya pecahan granular pada lepasnya ikatan antar serat karbon yang disebabkan oleh pergeseran antar lapisan serat saat menahan beban impak sehingga antar lapisan serat terpisah.



# 3. Foto kerusakan spesimen 50% karet silikon seperti Gambar 4.3.

Gambar 4.3 Spesimen hasil uji impak 50% karet silikon

Dilihat dari Gambar 4.3 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 Hidayat Achmad (2019). 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 dalan pecahan granular pada pembesaran Gambar 4.3.

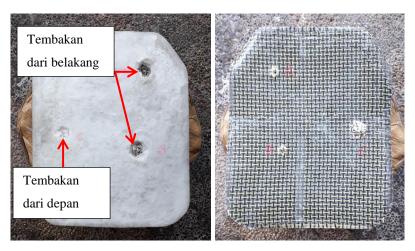
### 4.2 Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Uji Tembak

Pengujian balistik dilaksanakan mengikuti standar NIJ 0101.04 LEVEL IIIA dan dilakukan di Pusat Pendidikan Arhanud, Kota Batu, Jawa Timur, pada tanggal 12 November 2019. Pengujian menggunakan senjata Pistol G2 Elite Pindad Cal.9 mm. Pengujian balistik menggunakan jarak tembak sejauh 15 meter. Hasil pengujian didapatkan data berupa penetrasi peluru, timbulan kerusakan depan & belakang, dan diameter kerusakan depan & belakang akibat tembakan. Berikut di bawah ini penjelasan mengenai hasil pengujian tembak.

# 4.2.1 Pengolahan data hasil pengujian tembak

# 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. Dari Gambar 4.4 dapat dilihat produk pelindung dada anti peluru yang telah tembus diuji tembak.



Gambar 4.4 Penampakan produk setelah uji tembak

#### 2. Timbulan kerusakan akibat tembakan

Tabel 4.3 Timbulan kerusakan material produk setelah uji tembak

Urutan serat dari arah tembakan	Timbulan Depan	Timbulan Belakang	
Kapas-Rami-Karbon	19 20	8 2 2	
Karbon-Rami-Kapas	19 2	9 20	

Dilihat dari Tabel 4.3 timbulan kerusakan depan pada arah tembakan dari urutan serat kapas-rami-karbon merata atau tidak ada timbulan serat yang keluar, sedangkan timbulan kerusakan depan pada arah tembakan dari urutan serat karbon-rami-kapas memiliki tinggi timbulan serat setinggi 6 mm. Begitu juga pada timbulan kerusakan belakang pada arah tembakan dari urutan serat kapas-rami-karbon memiliki tinggi timbulan serat setinggi 9 mm, sedangkan timbulan kerusakan belakang pada arah tembakan dari urutan serat karbon-rami-kapas merata atau tidak ada timbulan serat yang keluar.

Perbedaan timbulan 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

timbulan sedangkan material komposit serat karbon masih terikat dengan serat karbon disekitarnya.

#### 3. Diameter kerusakan akibat tembakan

Tabel 4.4 Diameter kerusakan material produk setelah uji tembak

Urutan serat dari arah tembakan	Diameter Depan	Diameter Belakang	
Kapas-Rami-Karbon	23,5 mm	33,8 mm	
Karbon-Rami-Kapas	14,3 mm	34,4 mm	

Dilihat dari Tabel 4.4 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.

Dari hasil tembakan tersebut didapat perbedaan besar diameter kerusakan antara depan dan belakang produk berdasarkan arah datangnya peluru tembak. Kerusahan depan tembakan selalu lebih kecil diameternya dibandingkan kerusakan belakangnya, sesuai dengan teori yang dijelaskan oleh Virginia (2014) 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. Foto makro dan SEM produk komposit panel rompi anti peluru

#### a. Foto makro

Berikut Gambar 4.5, 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 4.5 Hasil tembakan dari arah serat kapas-rami-karbon

Berdasarkan dari Gambar 4.5 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 menunjukan bahwa peluru masih lancip saat awal mengenai permukan material komposit yaitu serat kapas, sehingga tekanan oleh energi impak peluru yang diserap oleh material lebih rendah.

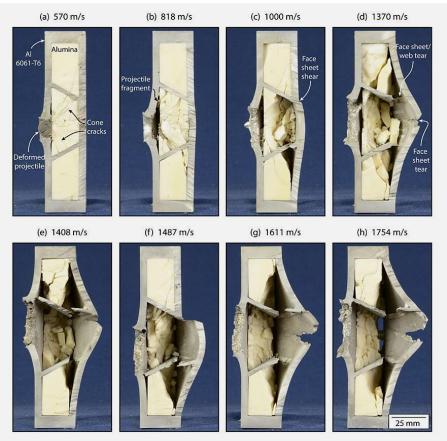


Gambar 4.6 Hasil tembakan dari arah serat karbon-rami-kapas

Berdasarkan dari Gambar 4.6 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 menunjukan 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 Virginia (2014) 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

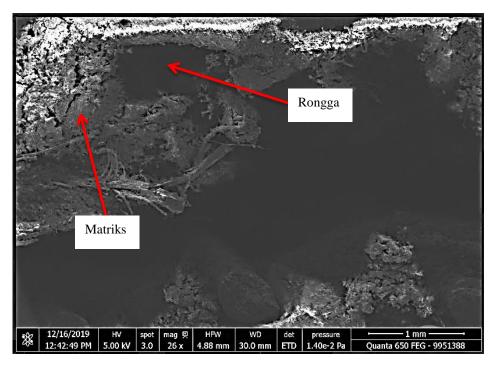
cukup untuk menyebabkan kegagalan, seperti pada hasil penelitiannya pada Gambar 4.7 berikut.



**Gambar 4.7 Hasil pengujian koposit variasi kecepatan proyektil** Sumber: Virginia (2014)

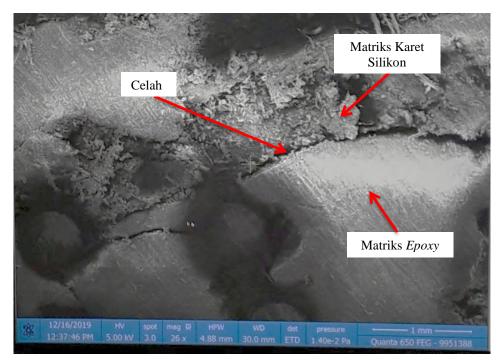
# b. Foto SEM

Berikut dari Gambar 4.8 dan 4.9 foto SEM cacat yang terjadi pada material komposit yang mempengaruhi kemampuan produk panel rompi anti peluru.



Gambar 4.8 Foto SEM cacat rongga pada material komposit (pembesaran 26x)

Pada foto SEM Gambar 4.8 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 dalam menahan laju peluru tembak karena jika tampa 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 sehingga cacat rongga bisa diminimalkan.



Gambar 4.9 Foto SEM terjadinya celah antar matriks (pembesaran 26x)

Dari foto SEM Gambar 4.9 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* pada jurnal Seoyoon Yu, Wonjoo Lee, Bongkuk Seo, dan Chung-Sun Lim, (2018) dan penelitian tentang karet silikon pada jurnal Anna Strąkowska, (2012). 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. Dari cacat celah ini sangat mempengaruhi kekuatan dari material komposit dalam menahan laju peluru karena ikatan antar matrik kurang baik yang dapat diminimalkan jika proses pengadukan cairan matriks *epoxy* dengan karet silikon lebih lama dan merata.

#### 4.2.2 Pembahasan hasil pengujian tembak

Hasil pengujian tembak produk panel rompi anti peluru dengan ketebalan 15 mm berbahan komposit serat karbon kevlar, serat rami, dan serat kapas dengan campuran 30% karet silikon pada matriks *epoxy* yang dibuat oleh penulis dengan

metode pembuatan *hand lay-up* ternyata tidak mampu menahan laju peluru tembakan pistol G2 elite pindad yang setara dengan standar NIJ 0101.04. Dilakukannya 1 tembakan dari arah depan produk dan 2 tembakan dari arah belakang produk yang ketiganya tembus.

Perbedaan arah tembak tersebut menghasilkan besar kerusakan yang berbeda pula yaitu kerusakan bagian belakang tembakan. Tembakan dari arah depan produk memiliki kerusakan bagian belakang yang lebih kecil daripada kerusakan belakang yang ditembak dari arah belakang produk, hal ini disebabkan karena serat karbon yang memiliki kekuatan nilai tarik yang lebih besar daripada kekuatan tarik serat kapas sehingga pecahan akibat tembakan pada lapisan serat kapas lebih besar, luas, dan rapuh. Sedangkan tembakan dari arah belakang produk memiliki timbulan kerusakan depan yang lebih tinggi karena serat karbon kevlar memiliki kekuatan yang tinggi untuk menahan laju peluru yang berputar daripada serat lainnya maka dari itu serat mengalami peregangan dan putusnya serat karbon kevlar juga tidak hancur rapuh seperti serat kapas akan tetapi hanya putus disatu sisi dan serat karbon kevlar menjadi tidak mampu masuk kembali keposisi awal serat.