

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Umum

Berikut di bawah ini teori umum yang terdapat dalam skripsi yang dibuat penulis:

2.1.1 Rompi anti peluru

Anhar Pulungan Muhammad. (2017) 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 fatal dan bahkan mengalami kehilangan nyawa seketika.

Pada abad pertengahan, Jepang menggunakan rompi anti peluru berbahan sutra. Tahun 1960 *National Institute of Justice* mengembangkan rompi anti peluru dengan bahan serat kevlar. Army's Edgewood Arsenal. (1973) juga mengembangkan rompi anti peluru dengan serat kevlar berlapis yaitu sebanyak tujuh lapis, namun rompi tersebut mengalami penurunan daya tahan ketika basah, dicuci berulang ataupun terpapar sinar matahari. Pada penelitian yang dilakukan Tasdemirci, dkk., (2011) menunjukkan bahwa energi yang mampu diserap oleh rompi anti peluru yang terbuat dari kevlar paling tinggi adalah sebesar 27 Joule dengan model yang tidak disisipi apapun. Berikut rompi anti peluru dibedakan menjadi dua adalah:

A. *Soft body armor*.

Soft body armor umumnya terbuat dari serat *aromatic polyamide* (aramid). Aramid memiliki struktur yang kuat, alot (*tough*), memiliki sifat peredam yang bagus (*vibration damping*), tahan terhadap asam (*acid*) dan basa (*leach*), serta dapat menahan panas hingga temperatur 370°C. Aramid biasa juga disebut Kevlar. Satu lapisan kevlar memiliki ketebalan 0.25 mm, umumnya standar

rompi terdiri hingga 32 lapisan dengan berat mencapai 10 kg. Rompi ini cenderung lebih ringan sehingga menguntungkan untuk digunakan dalam tugas-tugas penyamaran, atau pengamanan bagi personel intelijen. Gambar 2.1 menunjukkan model rompi *Soft Body Armor*.



Gambar 2.1 *Soft body armor*

Sumber: <https://www.anharpulunganmuhammad.com> (2017)

B. Hard body armor

Dengan menambahkan *soft body armor* dengan lapisan tertentu, dapat dihasilkan *hard body armor* seperti Gambar 2.2. Umumnya lapisan terbuat dari keramik (Al_2O_3 "Alumina"), lempengan logam atau komposit. Bentuknya yang tebal dan berat menjadikannya tidak nyaman, hingga jarang dikenakan dalam tugas keseharian. Rompi anti peluru ini sering digunakan dalam tugas khusus yang beresiko tinggi, seperti operasi militer.



Gambar 2.2 *Hard body armor* dan panel

Sumber: <https://www.anharpulunganmuhammad.com> (2017)

Setiap peralatan militer pasti memiliki standar penggunaan yang harus diterapkan untuk mengetahui seberapa kemampuan minimal dan maksimal dari peralatan tersebut, seperti standar uji ballistik Tabel 2.1.

Tabel 2.1 NIJ Standard–0101.04 P-BFS performance test summary

Test Variables					Performance Requirements						
Armor Type	Test Round	Test Bullet	Bullet Weight	Reference Velocity (± 30 ft/s)	Hits Per Armor Part at 0° Angle of Incidence	BFS Depth Maximum	Hits Per Armor Part at 30° Angle of Incidence	Shots Per Panel	Shots Per Sample	Shots Per Threat	Total Shots Req'd
I	1	.22 caliber LR LRN	2.6 g 40 gr.	329 m/s (1080 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	.380 ACP FMJ RN	6.2 g 95 gr.	322 m/s (1055 ft/s)	4	44mm (1.73 in)	2	6	12	24	
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 g 124 gr.	341 m/s (1120 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	40 S&W FMJ	11.7 g 180 gr.	322 m/s (1055 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 g 124 gr.	367 m/s (1205 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	357 Mag JSP	10.2 g 158 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
IIIA	1	9 mm FMJ RN	8.2 g 124 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	48
	2	44 Mag SJHP	15.6 g 240 gr.	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	12	24	
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9.6 g 148 gr.	847 m/s (2780 ft/s)	6	44 mm (1.73 in)	0	6	12	12	12
IV	1	.30 caliber M2 AP	10.8 g 166 gr.	878 m/s (2880 ft/s)	1	44 mm (1.73 in)	0	1	2	2	2
Special	*	*	*	*	*	44 mm (1.73 in)	*	*	*	*	*

*User Specified

Panel = Front or back component of typical armor sample.

Sample = Full armor garment, including all component panels (F & B).

Threat = Test ammunition round by caliber.

Sumber: *Ballistic Resistance of Personal Body Armor* NIJ Standard–0101.04

2.1.2 Peluru

Anhar Pulungan Muhammad, (2017). menjelaskan peluru merupakan objek proyektil yang ditembakkan dengan senjata api. Pada zaman dulu peluru terbuat dari tanah liat yang digunakan sebagai amunisi ketapel untuk berburu. Tahun 1500-1800 peluru berubah sedikit dimana bentuknya menjadi lebih bundar. Tahun 1847 Claude-Etienne Minie menemukan peluru dengan bentuk kerucut berlubang. Dimana lubang tersebut diisi dengan smokeless powder ammunition. Ujung peluru dapat meleleh ketika bergesekan dengan bore senjata api ataupun terkena gas panas dari belakang akibat pembakaran *powder ammunition*. Pada saat ini peluru terbuat dari paduan timah dan tin yang memiliki kecepatan tinggi. Gambar 2.3 menunjukkan jenis peluru kaliber 9 mm × 19 mm.



Gambar 2.3 Peluru kaliber 9 mm × 19 mm
Sumber: Anhar Pulungan Muhammad (2017)

Standar peluru ballistik yang paling banyak digunakan adalah standar NIJ (*National Institute of Justice*) Amerika. Berdasarkan standar ini, peluru ballistik dibagi menjadi beberapa tingkatan (level), yaitu level I, II-A, II, III-A, III, dan IV. Level I adalah tingkatan yang terendah. Lengkapnya lihat Tabel 2.2.

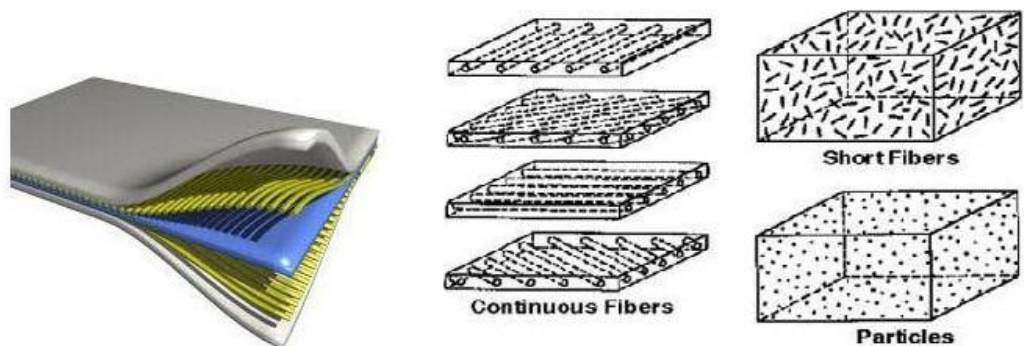
Tabel 2.2 Keterangan level caliber standar NIJ

level	Caliber		NIJ Standard 0101.04 Velocities
Level IIA	9mm 124 gr. FMJ RN .40 Caliber 180 gr. FMJ		1120 ft/s 1055 ft/s
Level II	9mm 124 gr. FMJ RN .357 Magnum 158 gr. JSP		1205 ft/s 1430 ft/s
Level IIIA	9mm 124 gr. FMJ RN .44 Magnum 240 gr. JHP		1430 ft/s 1430 ft/s
Level III	7.62mm NATO 148 gr. (.308 Caliber) FMJ		2780 ft/s
Level IV	30.06 166 gr. (.30 Caliber) M2AP Armor Piercing		2680 ft/s

Sumber: Septyawan Dwi (2010)

2.1.3 Komposit

Komposit merupakan material multi fase yang didapatkan dari kombinasi material yang berbeda untuk mendapatkan material dengan sifat mekanik yang baru (Anhar Pulungan Muhammad, 2017). Komponen-komponen penyusun komposit tetap bisa dibedakan secara makro. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan material konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik. Sifat komposit bervariasi tergantung dari berbagai macam faktor di antaranya jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen. Beberapa jenis komposit dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Beberapa gambar jenis komposit

Sumber: Anhar Pulungan Muhammad (2017)

Komposit pada umumnya terdiri dari 2 fasa:

a. Matriks

Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan mengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matriks, sehingga matriks dan serat saling berhubungan (Fitriansyah, 2013).

b. Penguat

Penguat (reinforcement), yang mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat, dalam laporan ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat sintetis dan serat alam.

Material komposit dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Klasifikasi komposit

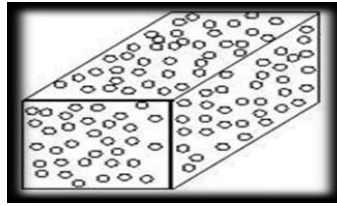
A. Klasifikasi berdasarkan matriks menurut Hendy Rianto (2017)

- a. MMC : *Metal Matriks Composite* (menggunakan matriks logam)
- b. CMC : *Ceramic Matriks Composite* (menggunakan matriks keramik)
- c. PMC : *Polymer Matriks Composite* (menggunakan matriks polymer)

Matriks yang paling umum digunakan pada material komposit, karena memiliki sifat yang lebih tahan karat, korosi dan lebih ringan. Matriks polymer terbagi 2 yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaan polymer termoset tidak dapat didaur ulang sedangkan termoplastik dapat didaur ulang sehingga lebih banyak digunakan belakangan ini. Jenis termoplastik yang biasa digunakan : *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyethylene* (PE), dll

B. Klasifikasi berdasarkan struktur

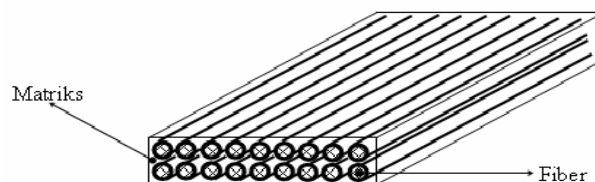
Particulate Composite Materials (komposit partikel) merupakan jenis Komposit yang menggunakan partikel/butiran sebagai *filler* (pengisi). Partikel berupa logam atau non logam dapat digunakan sebagai *filler*. Gambar komposit partikel dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Komposit partikel

Sumber: Hendy Rianto (2017)

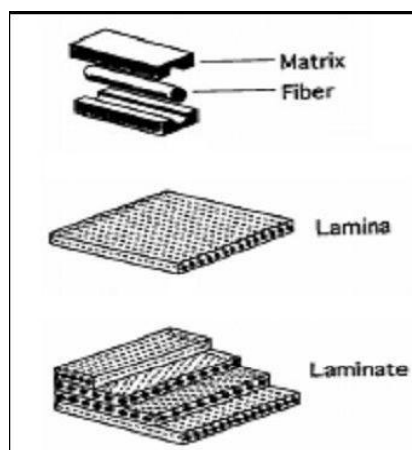
Fibrous Composite Materials (komposit serat) terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat. Gambar komposit serat dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Komposit serat

Sumber: Hendy Rianto (2017)

Structural Composite Materials (komposit berlapis) terdiri dari sekurang-kurangnya dua material berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses pelapisan dilakukan dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing-masing lapisan untuk memperoleh bahan yang berguna. Gambar komposit berlapis dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Komposit berlapis

Sumber: Hendy Rianto (2017)

2. Tipe Arah Serat Pada Material Komposit

Untuk memperoleh komposit yang kuat harus dapat memanfaatkan serat dengan benar. Berdasarkan penempatannya, ada beberapa tipe arah serat pada komposit (Romadhona Ilham, 2018):

A. *Continuous fiber composit*

Continuous fiber composit mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis arah serat ini paling sering digunakan. Tipe ini mempunyai kelemahan pada pemisahan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

B. *Woven fiber composit*

Arah serat komposit tipe ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan akan melemah.

C. *Discontinuous fiber composit*

Discontinuous fiber composite adalah tipe komposit dengan serat pendek. Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3 (Gibson, 1994, dalam Romadhona Ilham, 2018):

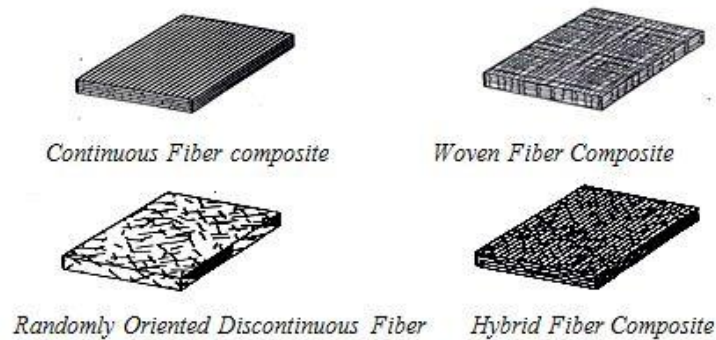
- a. *Aligned discontinuos fiber*
- b. *Off-axis aligned discontinuous fiber*
- c. *Randomly oriented discontinuos fiber*

Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biayamanufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

D. *Hybrid fiber composit*

Tipe arah serat komposit ini merupakan gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Cara ini digunakan untuk mengantisipasi kekurangan dari

kedua tipe arah serat tersebut. Gambar komposit tipe arah serat komposit dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Macam arah serat komposit

Sumber: Romadhona Ilham (2018)

Menurut Anhar Pulungan Muhammad (2017) ada beberapa kelebihan dan kekurangan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional antara lain:

A. Kelebihan material komposit:

- a. Material komposit mampu berperan sebagai terintegrasi sifat, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.
- b. Komposit memiliki berat jenis rasio yang baik. Rasionya $\frac{1}{5}$ dari baja dan $\frac{1}{2}$ aluminium.
- c. Komposit memiliki *strength-to-density* rasio yang baik. Kelebihan ini apabila digunakan sebagai bahan konstruksi pesawat atau kendaraan bermotor bisa lebih efisien dalam hal bisa bergerak lebih cepat, bahan bakar yang lebih irit karena material lebih ringan dibandingkan dengan logam. Kekuatan spesifiknya komposit ini hingga 3:5 lebih baik jika dibandingkan dengan baja.
- d. Tahan lelah (*fatigue strength*) dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja tahan lelah berada pada 50% dari nilai *static strength*, Sementara untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari *static strength* (Prabhakaran dkk., 2012 dalam Anhar Pulungan Muhammad, 2017).

B. Kekurangan material komposit

- a. Banyak komposit yang bersifat anisotropic, di mana terjadi perbedaan sifat yang tergantung pada arah komposit diukur.
- b. Banyak komposit berbasis polimer yang menjadi subjek serangan bahan kimia atau bahan pelarut, polimer rentan terkena serangan bahan kimia.
- c. Secara umum material komposit itu mahal.
- d. Proses pembuatan dan pembentukan material komposit lambat.

2.1.4 Epoxy

Anhar Pulungan Muhammad (2017) menerangkan *epoxy* didapatkan dengan proses curing (*cross-linking*) secara kimiawi dengan amina, anhidrida, fenol, asam karboksilik, dan alkohol. *Epoxy* merupakan resin cair yang mengandung beberapa group epoksida seperti *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) yang memiliki dua grup epoksida. Proses curing dilakukan dengan cara menambahkan *curing agent*, misalnya *diethylene triamine* (DETA). Selama proses curing molekul-molekul DGEBA akan membentuk ikatan cross-link. Ikatan ini akan menghasilkan bentuk tiga dimensi yang disebut network dan akhirnya membentuk *epoxy* padat.

Epoxy merupakan salah satu polimer termoset yang merupakan material serba guna yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Epoxy* banyak digunakan dalam industri penerbangan maupun digunakan untuk peralatan olahraga. Ada berbagai jenis dan grade, sehingga bisa disesuaikan untuk aplikasinya. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* antara lain:

- a. Penyusutan material rendah.
- b. Sifat adhesif material baik.
- c. Ketahanan kimia material yang baik.
- d. Material memiliki sifat mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- e. *Epoxy* dapat diformulasikan dengan material lain maupun *epoxy* jenis lain untuk mendapatkan sifat sesuai keinginan. Tabel 2.3 berikut menunjukkan sifat material termoset.

Tabel 2.3 Sifat material termoset

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus GPa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Epoxy	1.2-1.4	2.5-5.0 (0.36-0.72)	50-110 (7.2-16)
Phenolic	1.2-1.4	2.7-4.1 (0.4-0.6)	35-60 (5-9)
Polyester	1.2-1.4	1.6-4.1 (0.23-0.6)	35-95 (5.0-13.8)

Sumber : Anhar Pulungan Muhammad (2017)

2.1.5 Karet silikon/*silicon rubber*

Santo Rubber (2019) menerangkan karet silikon/*silicon rubber* dengan unsur kimia Si adalah jenis polymer sintetik yang memiliki fungsi dan kelebihan yang sangat istimewa, hal ini disebabkan karena karet silikon memiliki beberapa sifat fisik yang tidak ditemukan pada jenis polimer sintetik/karet sintetik lainnya. Berikut dapat dilihat karet silikon seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Karet silikon/*silicon rubber*

Sumber: Santo Rubber (2019)

Beberapa keunggulan dari bahan baku karet silikon adalah sebagai berikut (Santo Rubber, 2019):

- Tahan terhadap penuaan (*aging*)
- Tahan terhadap suhu panas hingga 250°C dan juga tahan terhadap suhu dingin.
- Produk yang terbuat dari karet silikon memiliki tahan goncangan/lentur dan tahan terhadap air hujan serta tidak terpengaruh oleh perendaman dalam air laut.

- d. Produk dari karet silikon dapat diformulasikan menjadi produk yang bersifat elektrik insulative atau konduktif, hal ini membuat produk dari bahan karet silikon cocok untuk dipergunakan peralatan listrik seperti pembungkus kabel.
- e. Produk dari karet silikon tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme, tidak berbau dan tidak berasa, tidak menyebabkan perubahan warna, korosi dan sangat ideal untuk dipergunakan untuk perangkat medis, produk ini bisa pula dikategorikan sebagai produk *food grade*.

2.1.6 Serat

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. (Hanan Spenyosi, 2016). Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

1. Serat Alami

Serat alami adalah serat yang didapatkan dari alam khususnya serat bagian dari hewan: serat rambut, bulu, dan kepompong. Serat tumbuhan seperti bagian daun, akar, dan batang yang diolah menjadi serat. Serat ini banyak dikembangkan karena limbahnya lebih ramah lingkungan. Beberapa serat alami dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Beberapa serat alami

Sumber: Hanan Spenyosi (2016)

2. Serat Sintetis

Serat sintetis adalah serat buatan/hasil olahan manusia yang bukan dari alam. Gambar serat alami dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Beberapa serat sintetis karbon biasa dan nylon
Sumber: Hanan Spenyosi (2016)

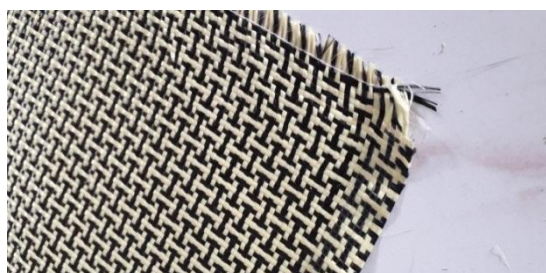
Dari berbagai serat yang ada dalam skripsi ini, penulis menggunakan serat sintetis yang terbaik yaitu serat karbon kevlar dan serat alami yaitu serat rami serta serat kapas. Berikut ini penjelasan detail mengenai ketiga serat tersebut:

A. Karbon Kevlar

Serat karbon adalah serat sintetis yang dibuat oleh manusia yang bukan dari alam. Jenis material yang satu ini punya beberapa karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah alur atau arah serat karbon, yang membuat serat karbon maupun beragam jenis material komposit lainnya disebut pula dengan istilah material anisotropik. Artinya, arah dan bentuk serat penyusunnya sangat memengaruhi karakteristik material (Fachur Sad, 2019). Dari pengembangan serat karbon tersebut didapat serat baru yang sifatnya lebih baik, yaitu serat Karbon Kevlar. Dalam Septyawan Dwi (2010) menerangkan serat kevlar adalah merek dagang yang inovatif dari DuPont. Aramid (Kevlar) adalah suatu Material yang ditemukan tahun 1964, oleh Stephanie Kwolek, seorang ahli kimia berkebangsaan Amerika, yang bekerja sebagai peneliti pada perusahaan DuPont.

Aramid adalah kependekan dari kata *aromatic polyamide*. Aramid memiliki struktur yang kuat, alot (*tough*), memiliki sifat peredam yang bagus (*vibration damping*), tahan terhadap asam (*acid*) dan basa (*leach*), dan selain itu dapat menahan panas hingga 370°C, sehingga tidak mudah terbakar. Karena

sifatnya yang demikian, aramid juga digunakan di bidang pesawat terbang, tank, dan antariksa (roket). Produk yang dipasarkan dikenal dengan nama Kevlar. Kevlar memiliki berat yang ringan, tapi 5 kali lebih kuat dibandingkan besi. Gambar serat karbon kevlar dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Karbon kevlar

Satu lapisan Kevlar tebalnya kisaran 0.25 mm. Mengapa Kevlar tidak digunakan di seluruh bahan komposit? Karna penggunaan serat Kevlar dalam komposit adalah bahan yang lebih mahal dibandingkan dengan serat lainnya seperti kaca.

Dibandingkan dengan serat karbon biasa, serat kevlar termasuk kelompok serat poliarnida yang mempunyai berat jenis 1,44 gr/cc dan mempunyai kekuatan tarik (*tensile strength*) kurang lebih 3620 MPa. Polimer Kevlar mempunyai gugus amida dan oksigen secara beraturan sehingga dapat menciptakan ikatan-ikatan hidrogen yang teratur. Data sifat fisik serat karbon kevlar dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi serat karbon kevlar

Physical Properties	Metric	English
Density	1.44 gr/cc	0.0031 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	3620 MPa	524900 psi
Elongation at Break	1.7%	1.7%
Modulus of Elasticity	186 GPa	26970 ksi

Sumber: Septyawan Dwi (2010)

B. Serat Rami

Serat rami atau yang dikenal dengan sebutan China grass tergolong ke dalam kelompok serat selulosa/serat alam. Serat rami ini berasal dari batang tanaman rami/*boehmeria nivea* yang menghasilkan serat dari kulit kayunya. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama halnya seperti kapas, linen, hemp dan lain-lain. Rami memiliki sejumlah keunggulan yang membedakannya dengan serat batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan seluruh jenis serat baik serat alam maupun sintetis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun (Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan, 2015). Berikut Gambar 2.13 menunjukkan pohon dan serat rami.



Gambar 2.13 Pohon rami dan serat rami

Sumber: Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan (2015)

Nilai kekuatan tarik serat rami berada pada kisaran 95 kg/mm^2 atau setara dengan 931 MPa dan spesifikasi serat rami secara detail dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik serat rami

Karakteristik	Rami
<i>Average ultimate fibre length (mm)</i>	120-150
<i>Average ultimate fibre diameter (μ)</i>	40-60
<i>Tensile strength (kg/mm^2)</i>	95
<i>Moisture regain (%)</i>	12
<i>Cellulose</i>	72-97*
<i>Lignin</i>	1-0
<i>Hemicellulose, pektin, etc</i>	27-3

Sumber: Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan (2015)

C. Serat kapas/katun

Kapas adalah serat halus yang menyelubungi biji beberapa jenis *Gossypium* biasa disebut pohon/tanaman kapas, tumbuhan semak yang berasal dari daerah tropika dan subtropika. Serat kapas menjadi bahan penting dalam industri tekstil. Serat itu dapat dipintal menjadi benang dan ditenun menjadi kain. Produk tekstil dari serat kapas biasa disebut sebagai katun, benang maupun kainnya (Bahan Kain, 2019). Gambar pohon dan serat kapas dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Pohon kapas dan serat kapas

Sumber: Bahan Kain (2019)

Selulosa ini tersusun sedemikian rupa sehingga memberikan kapas kekuatan, daya tahan (*durabilitas*), dan daya serap yang baik, dan ringan. Data sifat fisik perbandingan serat kapas dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Sifat mekanis serat selulosa

Fiber	Density (g cm ⁻³)	Diameter (μm)	Fiber aspect ratio (Average)	E-Modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Specific strength (kN m kg ⁻¹)
MFs	0.892	33.8 ± 5.6	101*	17.4 ± 3.9	452 ± 47	507
MFs treated NaOH 5%	—	27.1 ± 4	—	20.9 ± 4.3	497 ± 17	—
Cotton	1.5–1.6	12–38	1919	5.5–12.6	287–597	179–398
Flax	1.5	40–600	1000	27.6	345–1035	230–690
Rice straw	1.36	4–16	74	26	450	331
Wheat straw	0.909	76 ± 3	75	7.9 ± 2	146.5 ± 53	331
Jute	1.3	26.0	100	91.9	1316	1012
Sisal	1.45	50–200	150	9.4–22	530–630	382
Sea grass	1–1.5	5	—	1	573 ± 120	458
Sansevieria	0.915	50–100	—	7	658	719
Coir	1.15–1.46	100–460	—	4–6	131–220	169
Alfa grass	0.89	113	92	22	565	634
Baggase	0.341	20	85	4.5	89.9	264

Sumber: Bahan Kain (2019)

2.2 Fraksi Volume

Dalam fraksi volume jika jumlah serat semakin sedikit menimbulkan potensi menurunnya kekuatan komposit. Fenomena tersebut disebabkan semakin sedikit fraksi volume serat akan meningkatkan rongga atau pori-pori pada komposit. Semakin meningkat jumlah rongga yang dihasilkan maka kekuatan komposit akan semakin menurun (Achmad Nurhidayat dan Wijoyo, 2014). Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matriks dan penguat atau serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (v_f) atau fraksi massa serat (w_f). Namun formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Jadi semakin besar fraksi folumenya semakin besar pula kekuatannya. Berikut adalah persamaan dalam menghitung fraksi volume serat (Romadhona Ilham, 2018):

$$v_c = v_f + v_m = \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} \dots \dots \dots (1)$$

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

$$W_f = \frac{m_f}{m_c} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

v_c = Volume Komposit (cm^3)

v_f = Volume Serat (cm^3)

v_m = Volume Matriks (cm^3)

m_f = Massa Serat (g)

ρ_f = Berat Jenis Serat (g/cm^3)

ρ_m = Berat Jenis Matrik (g/cm^3)

V_f = Fraksi Volume Serat (%)

W_f = Fraksi Berat Serat (%)

2.3 Sifat Mekanis Bahan/Material

Dalam pemilihan bahan untuk produk , perancang harus memperhatikan sifat-sifat logam seperti kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*) atau kekuatan luluh (*fatigue strength*).

Sifat mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban (Taufik Yoriwe Kenbae, 2013).

a. *Strength* (kekuatan)

Sifat bahan yang ditentukan oleh tegangan paling besar material mampu renggang sebelum rusak (*failure*). Ini dapat didefinisikan oleh batas proporsional, titik mulur atau tegangan maksimum. Tidak ada satu nilai yang cukup bisa untuk mendefinisikan kekuatan, karena perilaku bahan berbeda terhadap beban dan sifat pembebanan.

b. *Stiffness* (kekakuan)

Sifat bahan yang mampu renggang pada tegangan tinggi tanpa diikuti regangan yang besar. Ini merupakan ketahanan terhadap deformasi. Kekakuan bahan merupakan fungsi dari Modulus elastisitas E. Sebuah material yang mempunyai nilai E tinggi seperti baja, $E = 207.000 \text{ Mpa}$, akan berdeformasi

lebih kecil terhadap beban (sehingga kekuatannya lebih tinggi) daripada material dengan nilai E lebih rendah, misalnya kayu dengan $E = 7000 \text{ Mpa}$ atau kurang.

c. Bahan liat (*ductile*) dan bahan rapuh (*brittle*)

Bahan-bahan logam biasanya diklasifikasikan sebagai bahan liat (*ductile*) atau bahan rapuh (*brittle*). Bahan liat mempunyai gaya regangan (*tensile strain*) relatif besar sampai dengan titik kerusakan (misal baja atau aluminium) sedangkan bahan rapuh mempunyai gaya regangan yang relatif kecil sampai dengan titik yang sama. Besi cor dan beton merupakan contoh bahan rapuh.

d. Modulus kekerasan (*modulus of toughness*)

Kerja yang dilakukan suatu unit volume bahan, seperti misalnya gaya tarikan yang dinaikkan dari nol sampai suatu nilai yang menyebabkan keruntuhan didefinisikan sebagai modulus kekerasan. Ini dapat dihitung sebagai luasan dibawah kurva tegangan-regangan dari origin sampai titik keruntuhan. Kekerasan bahan adalah kemampuan untuk menyerap energi pada selang plastis dari bahan

e. *Elasticity* (elastisitas)

Sifat material yang dapat kembali ke dimensi awal setelah beban dihilangkan. Sangat sulit menentukan nilai tepat elastisitas. Yang bisa dilakukan adalah menentukan rentang elastisitas atau batas elastisitas.

f. *Malleability* (kelunakan)

Sifat bahan yang mengalami deformasi plastis terhadap beban tekan yang bekerja sebelum benar-benar patah. Kebanyakan material yang sangat liat adalah juga cukup lunak.

g. *Resilience* (kelenturan)

Sifat material yang mampu menerima beban impact tinggi tanpa menimbulkan tegangan lebih pada batas elastis. Ini menunjukkan bahwa energi

yang diserap selama pembebanan disimpan dan dikeluarkan jika material tidak dibebani. Pengukuran kelenturan sama dengan pengukuran ketangguhan.

h. Batas luluh bahan

Sebenarnya sifat elastis masih terjadi sedikit di atas batas proporsional, namun hubungan antara tegangan dan regangan tidak linear dan pada umumnya batas daerah elastis dan daerah plastis sulit untuk ditentukan. Karena itu, maka didefinisikan kekuatan luluh (*yield point*). Kekuatan luluh adalah harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Pada gambar tegangan-regangan, memperlihatkan titik luluh atas dan titik luluh bawah yang ditandai oleh pengurangan beban mendadak, diikuti dengan perpanjangan yang meningkat dan peningkatan beban yang mendadak lagi. Gejala ini disebut meluluhnya bahan, yang ditandai dengan perubahan bentuk yang plastis dan naik turunnya beban.

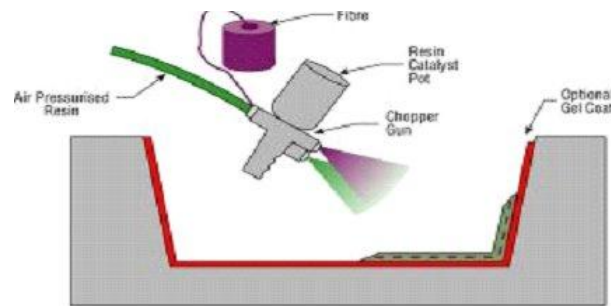
2.4 Proses Percetakan Komposit

Beberapa metode dalam pembuatan produk menggunakan material komposit menurut (Hadenholics, 2008):

2.4.1 Pencetakan semprot (*spray lay-up*)

Prosesnya ini adalah memotong serat yang akan digunakan sebagai penguat, kemudian diumpankan kedalam penyemprot resin berkatalis secara langsung pada permukaan cetakan. Membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar.

Aplikasi: panel-panel, bodi karavan, bak mandi, sampan. Gambar proses pembuatan komposit dengan percetakan semprot dapat dilihat pada Gambar 2.15.



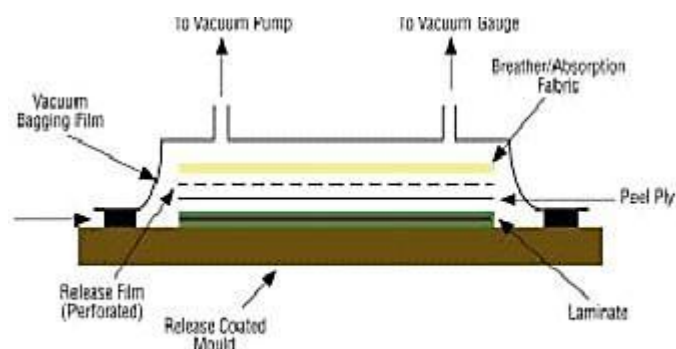
Gambar 2.15 Proses pencetakan semprot

Sumber: Hadenholics (2008)

2.4.2 Pengemasan vakum (*vacuum bagging*)

Cara yang digunakan yaitu dengan menutupi lapisan pencetakan basah dengan film plastik, udara di bawah kemasan dikeluarkan dengan pompa vakum bertekanan. Gambar proses pembuatan komposit dengan pengemasan vacuum dapat dilihat pada Gambar 2.16.

Aplikasi: pembuatan kapal pesiar, komponen mobil balap.



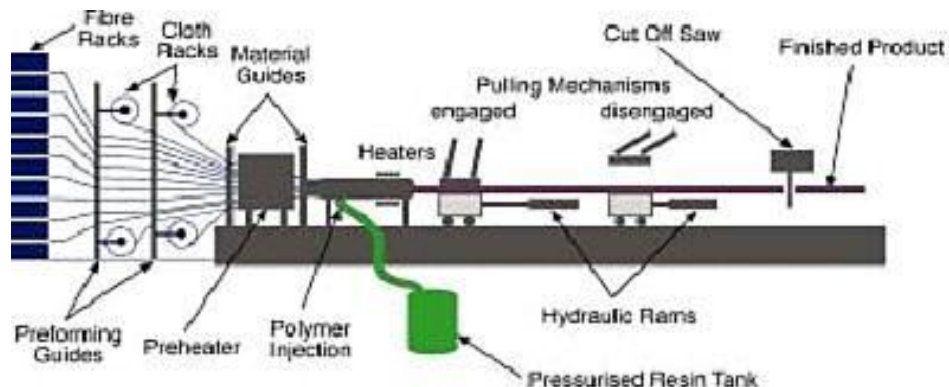
Gambar 2.16 Proses pencetakan vakum

Sumber: Hadenholics (2008)

2.4.3 Proses *pultrusion*

Cara ini dilakukan dengan penarikan serat dari suatu jaring atau creel melalui bak resin, kemudian dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut ialah mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengerasakan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan. Gambar proses pembuatan komposit dengan proses *pultrusion* dapat dilihat pada Gambar 2.17.

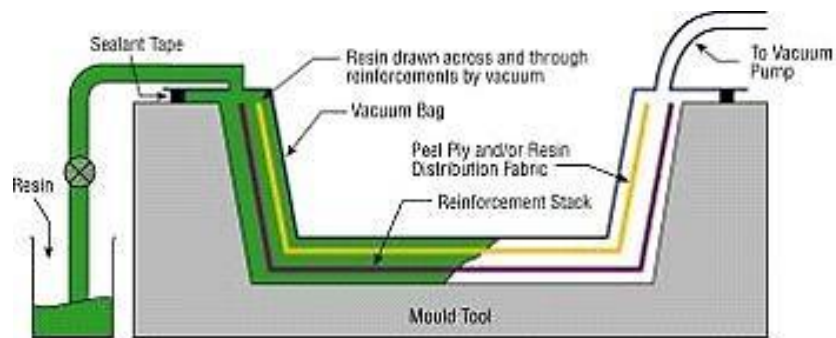
Aplikasi : Batang digunakan pada struktur atap, jembatan.



Gambar 2.17 Proses pencetakan pultrusion
 Sumber: Hadenholics (2008)

2.4.4 Cetakan pemindah resin (*resin transfer moulding*)

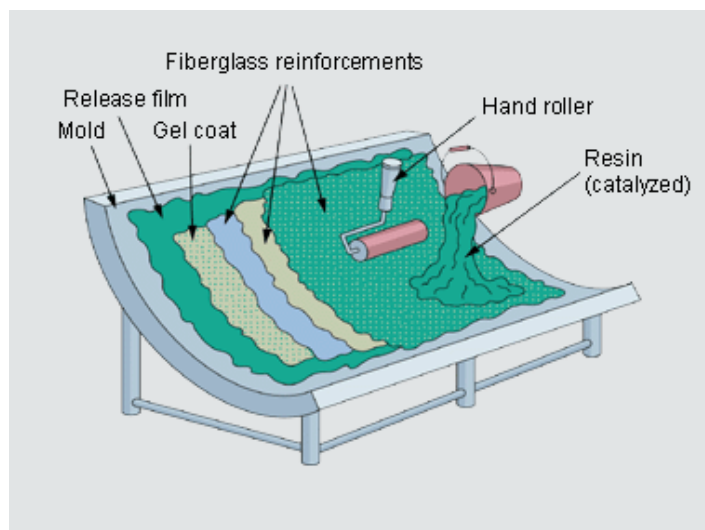
Proses ini memerlukan penyesuaian dalam pencetakan. Dengan cara, serat penguat dipotong dan dibentuk sedemikian rupa sesuai dengan bentuk yang diinginkan kedalam cetakan. Cetakan ditutup lalu resin dan katalis disemprotkan melalui pompa ke dalamnya. Ketika cetakan sudah terisi penuh dengan resin dan katalis pemompaan dihentikan, dan produk telah terbentuk. Gambar proses pembuatan komposit dengan cetakan pemindah resin dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Proses pencetakan pemindah resin
 Sumber: Hadenholics (2008)

2.4.5 Pencetakan tangan (*hand lay-up*)

Proses ini dilakukan dengan cara menuang resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajuan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar. Jenis resin yang biasa digunakan pada metode *hand lay-up* ada dua, yakni resin poliester dan resin *epoxy*. Metode *hand lay-up* merupakan metode yang masih banyak dilakukan di negeri kita tercinta, Indonesia karena metode ini kemudahan dan biayanya yang sangat murah. berikut ini Gambar 2.19 menunjukkan proses pencetakan *hand lay-up*.



Gambar 2.19 Proses pencetakan tangan
Sumber: Hadenholics (2008)

Hadenholics (2008) menerangkan walaupun metode *hand lay-up* memiliki kelemahan seperti ketebalan yang tidak konsisten, distribusi resin yang tidak merata, lebih boros resin, kekuatan mekanik yang tidak sebaik proses closed mould. Tetapi kekurangan dari proses *hand lay-up* ini dapat diminimalisir dengan cara menekan rol perata resin lebih keras dan menggerakkan rol maju-mundur dengan waktu yang lebih lama hingga material penguat menyerap resin secara keseluruhan dan sekaligus ketebalan dari material komposit akan lebih merata, lakukan hal yang sama pada setiap lapisan serat.

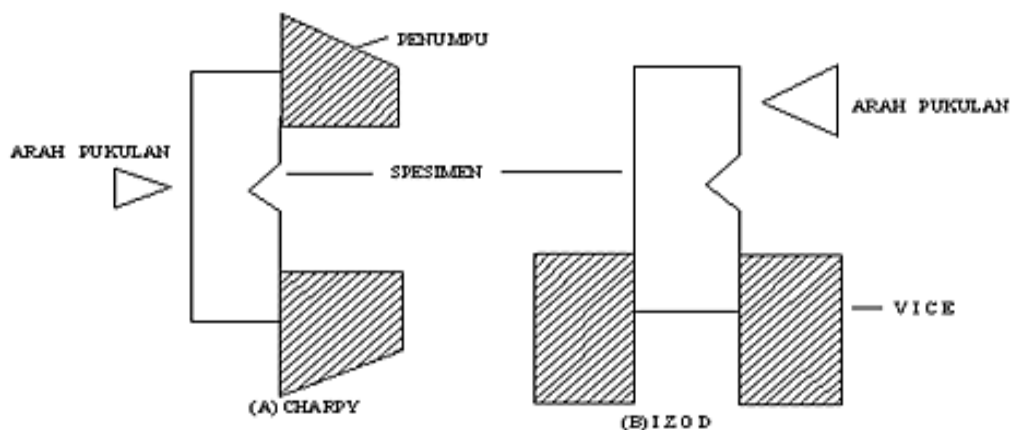
Aplikasi: pembuatan kapal, bodi kendaraan. Gambar proses pembuatan komposit dengan pencetakan tangan dapat dilihat pada Gambar 2.19.

2.5 Pengujian

Pengujian adalah proses yang bertujuan untuk memastikan apakah sesuatu yang dikerjakan sudah sesuai dengan rencana atau tidak. Dalam pembuatan skripsi produk panel rompi anti peluru dari material komposit ini memiliki 2 tahap pengujian yaitu yang pertama pengujian impak untuk mengetahui kekuatan persentase campuran karet silikon yang terbaik pada material komposit serat karbon, serat rami, dan serat kapas. Pengujian yang kedua yaitu pengujian tembak untuk mengetahui kemampuan produk panel rompi antipeluru dalam pengujian tembak, dan pengujian pendukung yaitu pengujian ikatan serat dengan matriks. Berikut dibawah ini penjelasan secara detail tentang pengujian:

2.5.1 Pengujian impak

Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (Hidayat Achmad, 2019). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap beban kejut, mengingat penerapan material komposit pada skripsi ini sebagai panel rompi anti peluru yang akan menahan beban impak dari tembakan peluru. Berikut Gambar 2.20 merupakan macam metode pengujian impak.



Gambar 2.20 Posisi kedudukan spesimen uji impak
Sumber: Hidayat Achmad (2019)

Dalam Hidayat Achmad (2019) menjelaskan secara umum metode pengujian impak terdiri dari 2 jenis yaitu:

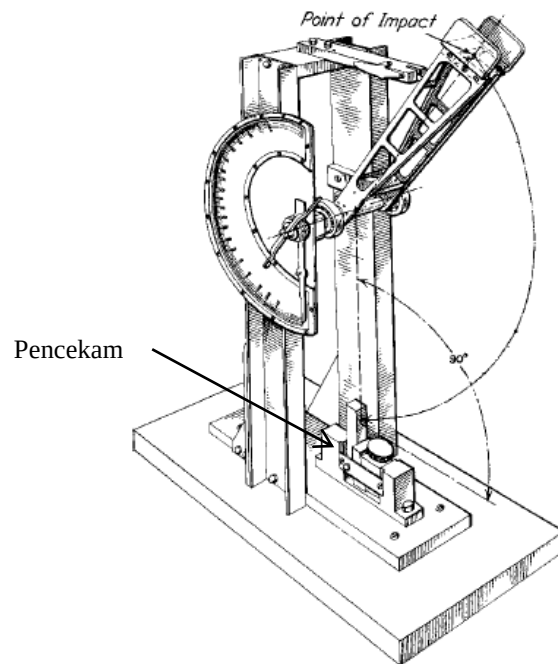
a. Metode *charpy*

Metode *charpy* adalah pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/ mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.

b. Metode *izod*

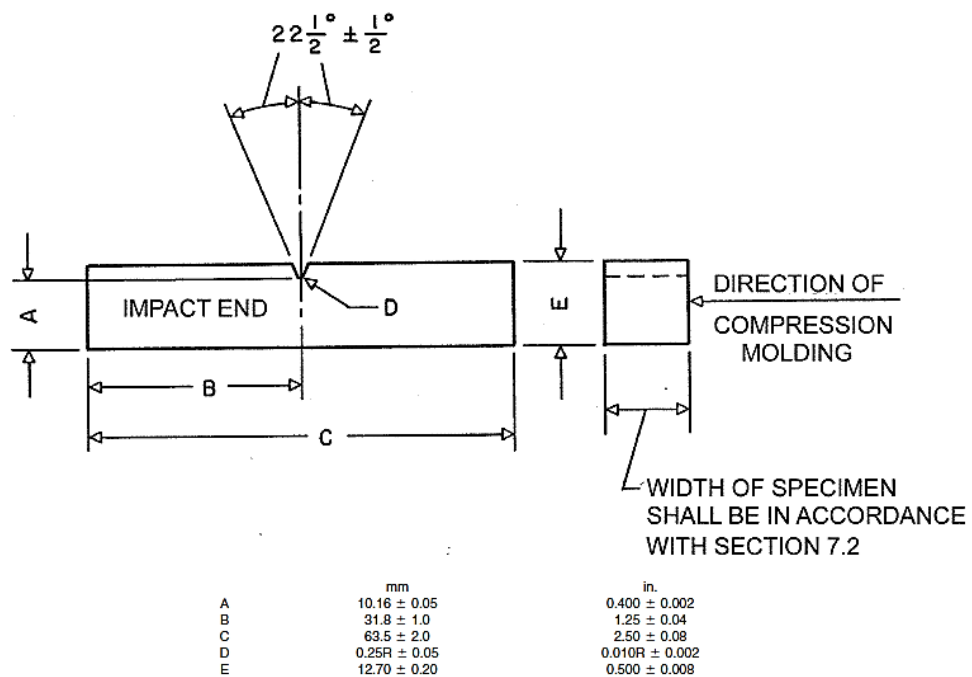
Metode *izod* adalah pengujian impak dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi, dan arah pembebanan serah dengan arah takikan.

Berdasarkan standar uji impak ASTM *International* (2006) kode D256-06 material plastik seperti komposit serat dengan matriks polimer resin *epoxy* diuji kekuatan impaknya menggunakan alat uji metode *izod* untuk mendapatkan hasil pengujian yang optimal. Hal ini karena pada alat uji impak tipe *izod* ini menggunakan pencekam sebagai pemegang spesimen uji sedangkan pada alat uji impak metode *charpy* spesimen hanya diletakkan tanpa pencekam. Maka spesimen yang cocok diuji pada alat uji impak *izod* sangat cocok diaplikasikan pada material yang lunak seperti material komposit serat dengan matriks polimer resin sehingga spesimen yang diuji tidak terlepas dari dudukan saat terkena gaya impak dari bandul alat uji, sedangkan alat uji impak metode *charpy* lebih cocok digunakan pada material logam. Berikut Gambar 2.21 merupakan alat uji impak metode *izod*.



Gambar 2.21 Alat uji impak metode Izod
Sumber: ASTM International (2006)

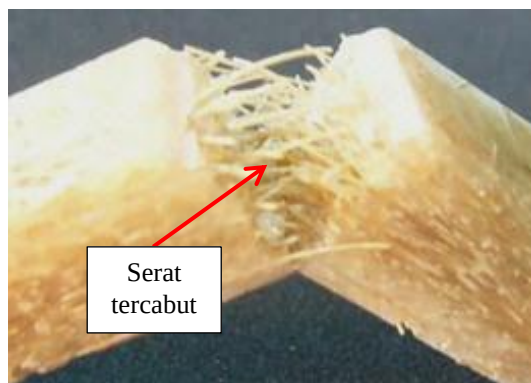
Desain spesimen uji impak standar ASTM D256-06 dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Desain spesimen uji impak
Sumber: ASTM International (2006)

Hidayat Achmad (2019) menerangkan setelah dilakukan pengujian impak, secara umum perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidangbidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.23 Penampakan patah berserat

Sumber: Hidayat Achmad (2019)

- b. Perpatahan granular/kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir dari bahan yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi/mengkilat seperti Gambar 2.22.



Gambar 2.24 Penampakan patah granular

Sumber: Hidayat Achmad (2019)

- c. Perpatahan campuran (berserat dan *granular*). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.

Usaha yang dipakai untuk mematahkan bahan/material persatuan luas penampang pada bawah takikan dinamakan kekuatan impak bahan tersebut. pada pengujian impak bahan komposit serat, sebelum dilepas bandul alat uji diayunkan membentuk sudut α (alfa) 45° dari sumbu tegak lurus dan setelah mematahkan spesimen, bandul akan membentuk sudut sisa tenaga ayunan bandul β (beta) dari sumbu tegak lurus (Hidayat Achmad, 2019). Berikut di bawah ini persamaan yang digunakan untuk menghitung energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dan harga impak:

Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dapat dihitung dengan rumus:

$$E = W \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan: E : Energi impak (Joule)
W : Berat hammer (kg)
R : Panjang lengan bandul (m)
 α : Sudut awal bandul ($^\circ$)
 β : Sudut akhir bandul ($^\circ$)

Harga impak dapat dihitung dengan rumus:

$$HI = \frac{E}{A^\circ} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan: HI : Harga Impak (Joule/ mm^2)
E : Energi impak (Joule)
 A° : Luas penampang di bawah takik (mm^2)

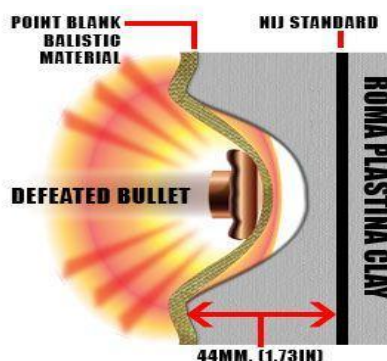
2.5.2 Uji Tembak

Uji tembak peluru adalah kegiatan yang bertujuan untuk memastikan apakah fungsi dari sebuah produk *ballistik resistance*/tahan peluru sudah sesuai dengan standar yang diinginkan atau tidak, dalam menahan tembakan peluru. Pengujian ini harus dilakukan oleh pihak yang berwenang dibidangnya untuk melegalkan hasil pengujian nantinya. Contoh misalkan seperti produk yang akan diuji pada

skripsi ini adalah rompi anti peluru/*body armour* dengan material komposit. Material komposit yang digunakan terdiri dari matriks poliester-karet dengan serat karbon-kapas. Spesimen yang dibuat mengacu pada standar NIJ dapat dilihat pada Tabel 2.1.

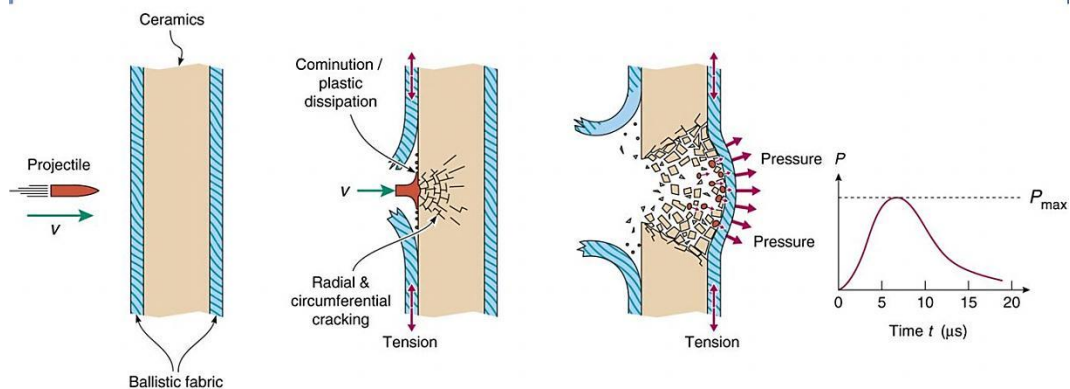
Standar pengujian yang digunakan yaitu menggunakan tipe III-A, NIJ 0101.04 dengan tipe peluru yaitu 44 Magnum Lead SWC dan 9 mm FMJ, nominal massa peluru sebesar 8,1 g, minimum kecepatan peluru sebesar 426 m/s. Langkah pertama saat pengujian yaitu meletakkan spesimen uji dengan jarak sesuai standar yang ditentukan yaitu 15 meter dari senjata penembak. Langkah berikutnya jika spesimen uji sudah diletakkan dengan baik sesuai jarak yang ditentukan maka siap dilakukan penembakan.

Setelah penembakan dilakukan, maksimum *deformasi*/perubahan bentuk pada spesimen uji sebesar 44 mm seperti ilustrasi pada Gambar 2.24.



Gambar 2.25 Ilustrasi gaya yang diteruskan oleh peluru kebenda uji
Sumber: Anhar Pulungan Muhammad (2017)

Pada Virginia (2014) dijelaskan kerusakan akan dampak dari tumbukan proyektil struktur kerusakan material komposit kombinasi keramik dan metal menghasilkan pengembangan pulsa tekanan di bagian belakang sampel. Hal ini menyebabkan permukaan belakang mengalami tekanan di wilayah yang dipengaruhi oleh proyektil yang terfragmentasi. Permukaan belakang terdorong dan kemudian menjadi tegang hingga retak. Berikut Gambar 2.25 memperlihatkan kerusakan akibat gaya impak.

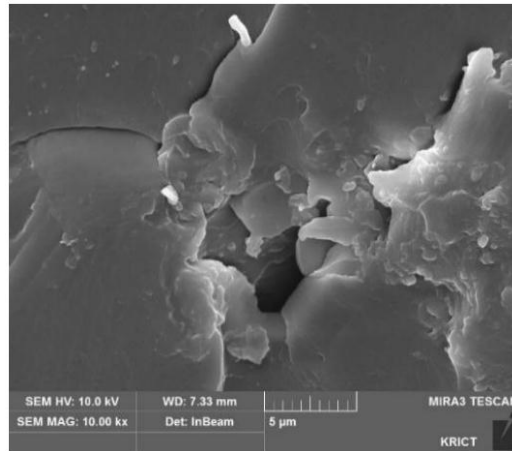


Gambar 2.26 Ilustrasi terjadinya retakan oleh peluru ke benda uji
Sumber: Virginia (2014)

2.6 Foto SEM (Scanning Electron Microscope)

Anita dan Widynugroho, (2012). menjelaskan pengertian SEM *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Bagian utama dari SEM, yaitu penembak elektron, lensa magnetik dan lensa objektif, *fine probe*, detektor, spesimen, dan monitor *cathode ray tube* (CRT). Skema SEM, penembak elektron berfungsi untuk menembakkan elektron ke sampel. Lensa magnetik dan lensa objektif berfungsi membengkokkan dan memfokuskan berkas elektron. *Fine probe* berfungsi membaca permukaan sampel.

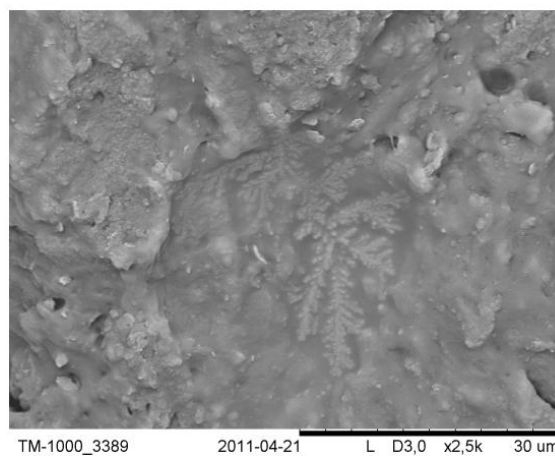
Khususnya pada skripsi ini foto SEM akan digunakan untuk mengetahui bagaimana ikatan antara matriks dengan serat serta cacat porositas yang terjadi pada material komposit seperti pada journal (Seoyoon Yu, Wonjoo Lee, Bongkuk Seo, dan Chung-Sun Lim, 2018). Pada jurnalnya memperlihatkan foto bentuk matriks *epoxy resin* yang di foto SEM seperti pada Gambar 2.26. dari gambar tersebut dapat dilihat permukaan *epoxy resin* yang telah kering memiliki permukaan yang halus seperti kristal yang menandakan material tersebut getas.



Gambar 2.27 Foto SEM matriks *epoxy resin*

Sumber: Seoyoon Yu, Wonjoo Lee, Bongkuk Seo, dan Chung-Sun Lim (2018)

Dalam jurnal Anna Strakowska (2012). Memperlihatkan bentuk karet silikon yang melalui foto SEM seperti Gambar 2.27. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa material karet silikon yang sudah kering memiliki permukaan yang bergelombang.



Gambar 2.28 Foto SEM matriks karet silikon

Sumber: Anna Strakowska (2012)

Hasil yang didapat dari pengujian SEM adalah berupa foto secara detail bagaimana kondisi struktur material komposit, sehingga dapat disimpulkan bagaimana pengaruh penggunaan campuran karet pada matriks *epoxy* sebagai material komposit.