

BAB II

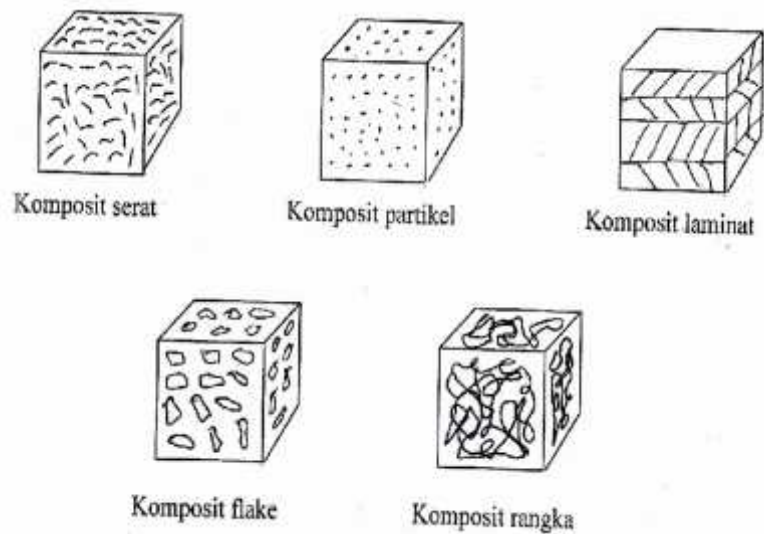
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TEORI UMUM KOMPOSIT

Komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis menjadi suatu bahan yang berguna karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih, unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (Schwartz,1984). Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dan pembentukannya.

komposit dapat dibagi lima berdasarkan konstituennya seperti pada gambar 2.1 (Schwartz, 1984) :

- a. Komposit serat yang terdiri dari serat dengan atau tanpa matriks
- b. Komposit *flake* yang terdiri dari *flake* dengan atau tanpa matriks
- c. Komposit partikel yang terdiri dari partikel dengan atau tanpa matriks
- d. Komposit rangka (komposit terisi) yang terdiri dari matriks rangka selanjut yang terisi dengan bahan kedua
- e. Komposit laminat yang terdiri dari konstituen lapisan atau laminat.



Gambar 2.1. Pembagian Komposit

Sumber : (Schwartz, 1984)

2.2 PENYUSUNAN KOMPOSIT

Pada umumnya bentuk dasar suatu bahan komposit adalah tunggal dimana merupakan susunan dari paling tidak terdapat dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya.

Pada umumnya komposit dapat dibagi kedalam tiga kelompok utama :

1. Komposit Matrik Polimer (Polymer Matrix Composites – PMC).

Bahan ini merupakan bahan komposit yang sering digunakan disebut polimer berpenguat serat (FRP – Fibre Reinforced Polymers or Plastics) bahan ini menggunakan suatu polimer berdasar resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan aramid (kevlar) sebagai penguatnya.

2. Komposit matrik logam (Metal Matrix Composites – MMC).

Komposit matrik logam ditemukan berkembang pada industri otomotif, bahan ini menggunakan suatu logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida.

3. Komposit Matrik Keramik (Ceramic Matrix Composites – CMC)

Komposit Matrik Keramik merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai reinforcement dan 1 fasa sebagai matriks, dimana matriksnya terbuat

dari keramik. Reinforcement yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, carbide, dan nitrid. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan proses DIMOX, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik disekeliling daerah filler (penguat).

Unsur penyusun bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat dan bahan pengikat serat yang disebut matrik.

1. Serat Salah satu unsur penyusun bahan komposit adalah serat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik lainnya. Serat inilah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit.

Banyak jenis serat, baik serat alam maupun serat sintetik. Serat alam yang utama adalah kapas, wol, sutra dan rami. Sedangkan serat sintetik adalah rayon, *polyester*, akril, dan nilon. Masih banyak serat lainnya dibuat untuk memenuhi keperluan, sedangkan yang disebut di atas adalah jenis yang paling banyak dikenal. Secara garis besar dapat disebutkan bahwa serat alam adalah kelompok serat yang dihasilkan dari tumbuhan, binatang dan mineral. Penggunaan serat alam di industri tekstil dan kertas secara luas tersedia dalam bentuk serat sutera, kapas, kapuk, rami kasar, goni, rami halus dan serat daun.

Komposit dengan penguat serat (*fibrous composite*) sangat efektif, karena bahan dalam bentuk serat jauh lebih kuat dan kaku dibanding bahan yang sama dalam bentuk padat. Kekuatan serat terletak pada ukurannya yang sangat kecil, kadang-kadang dalam orde mikron. Ukuran yang kecil tersebut menghilangkan cacat-cacat dan ketidak sempurnaan kristal yang biasa terdapat pada bahan berbentuk padatan besar, sehingga serat menyerupai kristal tunggal yang tanpa cacat, dengan demikian kekuatannya sangat besar.

2. *Matriks* (Resin) dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Matriks harus bisa meneruskan beban dari luar ke serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. *Polymer* (plastik) merupakan bahan umum yang biasa digunakan. Matriks juga umumnya dipilih dari kemampuannya menahan panas. *Polyester*,

vinilester dan *epoksi* adalah bahan-bahan *polymer* yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks.

Persyaratan di bawah ini perlu dipenuhi sebagai bahan matriks untuk pencetakan bahan komposit:

- a. *Resin* yang dipakai perlu memiliki viskositas rendah, dapat sesuai dengan bahan penguat dan *permeable*.
- b. Dapat diukur pada temperatur kamar dalam waktu yang optimal.
- c. Mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan.
- d. Memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat.
- e. Mempunyai sifat baik dari bahan yang diawetkan.

Tidak ada bahan yang dapat memenuhi semua persyaratan diatas, tetapi pada saat ini paling banyak dipakai adalah *polyester* tak jenuh (Surdia, 2000).

3. Pengisi adalah bahan yang banyak digunakan untuk ditambahkan pada bahan polimer untuk meningkatkan sifat-sifatnya dan pemerosesan untuk mengurangi ongkos produksi (Surdia dan Saito, 2000). *Filler* dalam komposit digunakan sebagai penguat matrik resin polimer. Mekanisme *filler* dalam meningkatkan kekuatan adalah dengan membatasi pergerakan rantai polimer. Beberapa jenis *filler* ditambahkan dengan alasan meningkatkan stabilitas dimensi, anti oksidan, penyerap UV dan pewarna.

Fraksi Folume 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*) atau fraksi massa serat (*w*). 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:

$$\bar{v} = v_f + v_c = \frac{m_f}{\rho} + \frac{m_m}{\rho} \dots\dots\dots(1)$$

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

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

Keterangan:

- a. v_c = Volume Komposit (cm^3)
- b. v_f = Volume Serat (cm^3)
- c. v_m = Volume Matriks (cm^3)
- d. m_f = Massa Serat (g)
- e. ρ_f = Berat Jenis Serat (g/cm^3)
- f. ρ_m = Berat Jenis Matrik (g/cm^3)
- g. V_f = Fraksi Volume Serat (%)
- h. W_f = Fraksi Berat Serat (%)

2.2.1 PROSES PENCETAKAN

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

A. Open Molding Process (Pencetakan Terbuka)

1. Hand lay up process

Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan dengan memanfaatkan keterampilan tangan. Serat bahan komposit ditata sedemikian rupa mengikuti bentuk cetakan, kemudian dituangkan resin sebagai pengikat antara satu lapisan serat dengan lapisan yang lain. Demikian seterusnya, sehingga sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan.

2. Filament Winding Process

Proses yang melalui metode pemanfaatan system gulungan benang pada sebuah sumbu putar. Serat komposit dibuat dalam bentuk benang digulung pada sebuah mandril yang dibentuk sesuai dengan bentuk rancangan benda teknik, misalnya berbentuk tabung, kemudian resin yang berfungsi sebagai matrik dituangkan bersamaan dengan proses penggulungan serat tersebut, sehingga keduanya melekat dan saling mengikat antara satu lapisan gulungan dengan gulungan berikutnya. sampai membentuk benda teknik yang direncanakan.

B. Close Molding Process (Pencetakan Tertutup)

1. Compression molding

Metode ini menggunakan cetakan yang di tekan pada tekanan tinggi sampai mencapai 1000 Psi. di awali dengan mengalirkan resin dan reinforcement dengan viscositas yang tinggi ke dalam cetakan dengan suhu 330°F-400°F, kemudian mold di tutup dan penekanan terhadap material komposit tersebut, sehingga terjadi perubahan kimia yang menyebabkan mengerasnya material komposit secara permanen mengikuti bentuk cetakan.

2. Pultrusion

Pada pembentukan material ini komposit yang menggabungkan antara resin dan fiber berlangsung secara kontinyu. Proses pultrusion digunakan pada pabrikasi komposit yang berprofil penampang lintang tetap, seperti pada berbagai macam rods dan bar section, ladder side rails, tool handles dan komponen elektrik kabel. Reinforcement yang digunakan seperti roving, mat atau pabrik di letakkan pada tempat khusus dengan menggunakan performing shapers atau guides untuk membentuk karakteristiknya. Proses penguatan dilakukan melalui resin. Adanya panas out yaitu tempat material diselubungi dengan cairan resin. Adanya panas akan mengaktifkan system curing sehingga akan mengubah fasaresin menjadi padat

3. Resin Transfer Molding (RTM)

Pada proses ini resin ditransfer atau diinjeksikan kedalam suatu tempat yang berisi fiberglass reinforcement. Metode ini termasuk closes mold process dimana reinforcement diletakkan diantara dua permukaan cetakan yang terdiri dari dua bagian yang satu disebut bagian female dan yang lainnya disebut male. Pasangan cetakan tersebut lalu ditutup, diberi klem, lalu resin thermoset berviskositas rendah diinjeksikan pada tekanan 50-100 psi ke dalam lubang cetakan melalui port injeksi. Resin di injeksikan sampai memenuhi seluruh rongga cetakan hingga meresap dan membasahi seluruh material reinforcement.

4. Wet Lay Up

Metode ini reinforcement digabungkan dengan menggunakan tangan seperti metode hand lay up untuk kemudian ditaruh kedalam cetakan vacuum bag untuk mempercepat proses laminasi dan menghilangkan udara yang terperangkap dapat menimbulkan adanya void dalam produk komposit yang dicetak.

5. Vacuum Bag Molding

Merupakan pengembangan metode close mold yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dengan cara meminimalisasi jumlah udara yang masuk terperangkap dalam proses pembuatannya. Selain itu dengan berkurangnya tekanan di dalam vacuum bag molding maka tekanan udara atmosferik dari luar akan digunakan sebagai gaya untuk menghilangkan kelebihan resin yang ada dalam laminasi sehingga menghasilkan kandungan fiber reinforcement yang tinggi. Bentuk cetakan yang digunakan di sesuaikan dengan bentuk prodak yang ingin dibuat.

6. Prepeg

Merupakan metode advance dalam pembuatan komposit dengan adanya pemanasan atau cetakan yang diletakkan pada autoclave setelah campuran komposit dimasukkan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan gaya tekan dari luar. Teknik menggunakan prepeg-vacum-bag-autoclave banyak dimanfaatkan untuk pembuatan peralatan pesawat terbang dan perlengkapan militer.

7. Vacuum Infusion Processing.

Metode ini adalah variasi dari vacuum bag molding dimana resin yang dituangkan dalam ruang hampa masuk dalam cetakan dan membentuk laminasi. Pada metode ini tekanan dalam rongga cetakan lebih rendah dibandingkan tekanan atmosferik udara. Setelah specimen dipenuhi resin kemudian dilapisi dengan fiber reinforcement dapat menggunakan tangan yang disebut dengan istilah lay-up dry, kemudian resin diinfusikan kembali kedalam cetakan untuk menyempurnakan system laminasi komposit sehingga tidak terdapat ruang kelebihan resin. Rasio resin yang

sangat tinggi terhadap fiber glass yang digunakan memungkinkan penggunaan metode vacuum infusion yang menghasilkan sifat mekanik system laminasi yang sangat baik. vacuum infusion processing dapat digunakan untuk proses dengan volume yang rendah.

2.1.2 FAKTOR MEMPENGARUHI KEKUATAN KOMPOSIT

Peneliti yang menggabungkan antara matrik dan serat harus memperhatikan beberapa factor yang mempengaruhi performa fiber-matrik komposit antara lain :

a. Factor Serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

b. Letak Serat

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut.

c. Panjang Serat

Panjang serat dalam pembuatan komposit serat pada matrik sangat mempengaruhi terhadap kekuatan. Ada dua dalam pembuatan komposit serat panjang dan serat pendek. Serat panjang lebih kuat dibandingkan serat pendek. Serat alami jika dibandingkan dengan serat sintetis mempunyai panjang dan diameter yang tidak seragam pada setiap jenisnya. Oleh karena itu panjang dan diameter sangat berpengaruh pada kekuatan modulus komposit. Panjang serat berbanding sering disebut aspect ratio. Bila aspect ratio makin besar maka makin besar pula kekuatan tarik serat pada komposit dibanding serat panjang, (Schwartz,1984)

d. Bentuk serat

Bentuk serat yang digunakan untuk pembuatan komposit memanjang dan mempengaruhi diameter seratnya. Pada umumnya semakin kecil diameter serat

akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain itu bentuk serat juga mempengaruhi.

e. Factor Matrik

Matrik dalam komposit berfungsi sebagai bahan pengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari kerusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antar serat dan matrik, sehingga matrik dengan serat saling berhubungan.

f. Void

Void atau gelembung udara merupakan akibat yang tidak bias dihindari pada saat proses pembuatan. Untuk itu sebisa mungkin meminimalkan void yang dihasilkan pada bahan komposit. Void yang terjadi pada matrik sangatlah berbahaya, karena pada bagian tersebut penguat selalu akan mentransfer tegangan ke matrik.

g. Factor Ikatan Fiber dan Matrik

Komposit serat yang baik harus mampu untuk menyerap matrik yang mudah terjadi antara dua fase (Schwartz,1984). Selain itu komposit serat juga harus mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan yang tinggi, karena serat dan matrik berinteraksi dan pada akhirnya terjadi pendistribusian tegangan

2.3 SERAT

Unsur utama komposit adalah serat yang mempunyai banyak keunggulan, karena itu serat paling banyak digunakan. Serat yang terikat oleh matrik yang saling berhubungan, pada penelitian ini bahan komposit terdiri dari empat macam, yaitu serat rami, serat karbon, serat kenaf dan karet. Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Karena itu serat sangat kuat dan kaku. Penggunaan serat dalam dunia industry mulai dikembangkan dari pada menggunakan bahan partikel, bahan komposit serat mempunyai keunggulan yang utama yaitu kuat, tangguh, tahan terhadap korosi dan lebih ringan di bandingkan dengan menggunakan besi serta lebih tahan terhadap panas (Schwartz, 1984). Dalam pengembangan teknologi pengolahan serat, membuat serat sekarang semakin diunggulkan dibandingkan material-material yang digunakan. Cara yang

digunakan untuk mengkombinasi serat berkekuatan tarik tinggi dan bermodulus elastisitas tinggi dengan matrik yang bermassa ringan, serta bermodulus elastisitas rendah makin banyak dikembangkan guna untuk memperoleh hasil yang maksimal. Komposit pada umumnya menggunakan bahan plastik yang merupakan material yang paling sering digunakan sebagai bahan pengikat seratnya selain itu plastic mudah didapat dan mudah perlakuannya, dari pada bahan dari logam.

Berikut beberapa contoh serat alami yang sudah ditemukan:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| a. serat eceng gondok | i. serat kapas |
| b. serat daun pandan | j. serat kapuk |
| c. serat daun nanas | k. serat sabut kelapa |
| d. serat daun kelapa | l. serat goni(tangkai rami) |
| e. serat pelepah pisang | m. serat linen |
| f. serat kepompong ulat sutra | n. serat daun agave |
| g. serat bulu domba | o. serat rumput rhea |
| h. serat daun pandan berduri | |



Gambar 2.2 Macam-macam serat alami

Sumber: Serat (2019)

A. Serat Sintetis

Serat sintetis adalah serat buatan/hasil olahan manusia yang bukan dari alam.

Gambar serat alami dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah. :

Berikut beberapa serat sintetis :

- a. Serat aramid
- b. Serat akrilik
- c. Serat CDP
- d. Serat poliester
- e. Serat nilon
- f. Serat spandex
- g. Serat karbon



Gambar 2.3 Beberapa serat sintetis

Sumber: Serat (2019)

2.3.1 SERAT RAMI

Serat Rami yaitu serat alami yang dihasilkan oleh tanaman rami, yang kulit batangnya banyak digunakan untuk baku tekstil serat rami. Karakter sera rami sama dengan kapas tapi rami lebih berkilap, kuat, dan dapat menyerap air dengan sangat baik. Serat rami sangat bagus untuk pembuatan bahan komposit karena Serat ramimemiliki kandunganselulosa yang cukup tinggi dan sifat mekanis relatif paling tinggidibandingkan dengan serat alam yanglainnyasehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai media penguatan untuk komposit (Eva Novarini dan Mochammad Danny Sukardan, 2015).



Gambar 2.4 Serat rami

Tabel 2.1 Sifat mekanis serat selulosa rami, kapas, dan rayon

Jenis Serat	Data	Kekuatan (g/den)	Mulur (%)	Moisture Regain (%)
Rayon viskosa	Rayon min.	1,5	9	12
	Rayon maks.	2,4	20	13
	Rata-rata	1,95	14,5	12,5
Kapas	Kapas min.	3	3	8
	Kapas maks.	4,9	10	9
	Rata-rata	3,95	6,5	8,5
Rami	Rami min.	5,5	3	6
	Rami maks.	5,5	7	6
	Rata-rata	5,5	5	6

Sumber: Agus Surya M, Arif Wibi S, dan Zubaidi K (2015)

2.3.2 SERAT KARBON

Serat karbon mempunyai beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap lingkungan agresif, stabil pada suhu yang tinggi, tahan terhadap abrasi, relatif kaku dan lebih tahan lama. Sifat dari karbon fiber dipengaruhi oleh beberapa faktor. Satu faktor yang paling utama adalah arah atau alur serat karbon. Berbeda dengan material logam, karbon fiber khususnya dan material komposit lain pada umumnya, disebut sebagai material anisotropik. Maksudnya adalah sifat properti material ini dipengaruhi oleh bentuk dan arah serat penyusunnya. Sehingga kekuatan karbon fiber sangat bergantung terhadap bentuk dan arah serat karbon penyusunnya. (Fachur Sag, 2019). Di sisi lain, material-material semacam logam, plastik, dan berbagai macam lainnya memiliki sifat yang tetap sekalipun bentuk dan arah butir-butir molekulnya berbeda-beda. Karena itulah material-material ini disebut material isotropik. Jenis serat karbon ada beberapa jenis yaitu:

A. Karbon *fiber*



Gambar 2.5 Serat karbon

Sumber: Serat (2019)

Diawali dengan karbon *fiber* cukup terkenal dengan motifnya hitam kotak-kotak, karbon *fiber* pada dasarnya adalah benang karbon yang sangat tipis, bahkan lebih tipis daripada rambut manusia. Karbon *fiber* tersusun oleh atom karbon yang terikat bersama untuk membentuk rantai

yang panjang. Benang karbon *fiber* bisa diputar bersama-sama seperti benang dan benang dapat dijalin bersama seperti kain.

Tabel 2.2 Sifat fisik karbon

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.79 gr/cc	0.0647 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	3300 MPa	478500 psi	
Elongation at Break	1.8%	1.8%	
Modulus of Elasticity	228 GPa	33100 ksi	Tensile Modulus Calculated at Secant 6000-10000

Sumber: Septyawandwi(2010)

B. Karbon Kevlar

Dalam Septyawan Dwi. 2010 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 2.6 Karbon Kevlar

Satu lapisan Kevlar tebalnya kurang dari 1 mm , umumnya standar baju terdiri hingga 32 lapisan dan beratnya bisa mencapai 10 kg. Ada tiga macam Kevlar yang digunakan dalam bahan komposit. Kevlar 29 memiliki kekuatan untuk serupa serat kaca dengan berat yang lebih rendah, Kevlar 49 dan Kevlar 149 dapat digunakan untuk mengurangi berat bahkan lebih. 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.

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.

Tabel 2.3 Spesifikasi macam serat karbon kevlar

Grade	Kepadatan g/cm ³	Ketegangan Modulus Modulus GPA	Ketegangan Strength Kekuatan GPA	Ketegangan Elongation Pemanjangan %
29	1,44	83	3,6	4,0
49	1,44	131	3,6 - 4,1	2,8
149	1,47	186	3,4	2,0

Sumber: Septyawan Dwi (2010)

Ada beberapa alasan mengapa salah satu jenis material komposit yang satu ini unggul:

- a. Bahannya ringan
- b. Punya kekuatan tarik yang tinggi
- c. Tahan korosi
- d. Ketangguhan yang baik

2.3.3 SERAT KENAF

Kenaf adalah tanaman serat tahunan, satu keluarga dengan kapas yang telah berhasil diproduksi di berbagai area di United State. Penggunaan tanaman Kenaf secara komersial terus berlanjut dilihat dari peran historisnya sebagai tanaman cordage (tali, benang, dan karung) ke berbagai aplikasi barunya.

Tajeddin, et al. (2009), telah meneliti tentang sifat mekanik komposit serat kenaf dengan matriks LDPE. Komposit dibuat dengan menggunakan metode compression molding. Serat kenaf yang digunakan adalah bagian tengah yang kemudian dihaluskan dengan ukuran 40 mesh (0,40

mm). kekuatan mekanik komposit setelah diisi filler serat kenaf menurun dibandingkan dengan LDPE murni. Kemudian seiring dengan bertambahnya fraksi berat serat kenaf, maka semakin menurunkan kekuatan mekanik komposit.



Gambar 2.7 Serat kenaf

Tabel 2.4 Spesifikasi serat kenaf

Kenaf	Rata-rata		Luas Area (mm ²)	Nilai Beban Pembacaan (Kgf)	F	Tarik (Mpa) σ	(L) Standar ASTM (mm)	Measurement travel end / ΔL (mm)	ϵ (Tarik) (MPa)	E (MPa)
	(μm)	(mm)								
1	91.79	0.092	0.006618739	0.155	1.521	229.73	50	0.6060	0.0121	18954.96
2	128.51	0.129	0.012968691	0.234	2.296	177.01	50	0.6160	0.0123	14367.39
3	128.51	0.129	0.012968691	0.235	2.305	177.76	50	0.7700	0.0154	11543.03
4	124.84	0.125	0.012232608	0.254	2.492	203.70	50	0.8400	0.0168	12124.79
5	117.49	0.118	0.010843403	0.198	1.942	179.13	50	0.6700	0.0134	13367.92
6	113.82	0.114	0.010171252	0.235	2.305	226.65	50	0.8800	0.0176	12878.04
7	121.16	0.121	0.011537059	0.262	2.570	222.78	50	0.7400	0.0148	15052.67
Rata - rata		0.118				202.39			0.0146	14041.26
Standar Deviasi						24.31			0.0021	2483.08
Coefficient of Variation (%)						12.01			14.58	17.68

Sumber Horby J et al., (2006)

Hasil pengujian serat tunggal ASTM D3379-75 Dari data table di atas diketahui hasil rata –rata kekuatan serat tunggal kenaf sebesar 202.39 MPa, regangan tarik sebesar 0.0146, dan modulus elastisitas sebesar 14041.26 MPa.

2.4 MATRIK 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 agennt*, 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.



Gambar 2.8 epoxy

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 sifata mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- e. *Epoxy* dapat diformulasikan dengan material lain maupun *epoxy* jenis lain untuk mendapatkan sifat sesuai keinginan. Tabel 2.5 berikut menunjukkan sifat material termoset.

Tabel 2.5 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)

2.5 KARET

Karet silikon/*silicon rubber*

Santo Rubber (2019) menerangkan karet silikon/*silicon rubber* adalah jenis polymer sintetis yang memiliki fungsi dan kelebihan yang sangat istimewa, hal ini disebabkan karena karet silikon memiliki beberapa sifat fisik yang tidak ditemukan pada jenis polimer sintetis/karet sintetis lainnya.



Gambar 2.9 karet silikon

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 ketahanan terhadap air hujan serta tidak terpengaruh oleh perendaman dalam air laut.
- 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*.

2.6 KELEBIHAN DAN KEKURANGAN KOMPOSIT

Kelebihan dan kekurangan material komposit, bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanikal dan fisikal, pemilihan bahan matriks dan serat mempunyai peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Kelebihan bahan komposit yaitu :

1. Bahan komposit mempunyai density yang jauh lebih rendah berbanding dengan bahan konvensional. komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional, produk komposit yang dihasilkan akan mempunyai kerut yang lebih rendah dari logam. Pengurangan berat adalah satu aspek yang penting dalam industri pembuatan seperti mobil. Ini karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar.
2. Dalam industri angkasa lepas terdapat kecenderungan untuk menggantikan komponen yang diperbuat dari logam dengan komposit karena telah terbukti komposit mempunyai rintangan terhadap fatigue yang baik terutamanya komposit yang menggunakan serat karbon.
3. Bahan komposit juga mempunyai kelebihan dari segi versatility (berdaya guna) yaitu produk yang mempunyai gabungan sifat-sifat yang menarik yang dapat dihasilkan dengan mengubah sesuai jenis matriks dan serat yang digunakan. Contoh dengan menggabungkan lebih dari satu serat dengan matriks untuk menghasilkan komposit hibrid.
4. Massa jenis rendah (ringan).
5. Perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan.
6. Lebih kuat, ulet dan tidak getas.
7. Koefisien pemuaian yang rendah
8. Tahan terhadap cuaca
9. Tahan terhadap korosi

10. Lebih murah dibanding metal, biaya juga memainkan peran yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, pemrosesan, tenaga manusia, dan sebagainya.

Bahan komposit mempunyai beberapa kekurangan:

1. Tidak tahan terhadap beban shock (kejut) dan crash (tabrak) dibandingkan dengan metal.
2. Kurang elastis.
3. Lebih sulit dibentuk secara plastis

2.7 PELURU

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. Anhar Pulungan Muhammad, (2017)





Gambar 2.10 Peluru

2.8 UJI BALISTIK

Standar baju, helm balistik yang paling banyak digunakan adalah standar NIJ (*National Institute of Justice*) Amerika. Berdasarkan standar ini. Baju, helm balistik dibagi menjadi beberapa tingkatan (level), yaitu level I, II-A, II, III-A, III, dan IV. Level I adalah tingkatan yang terendah, hanya dapat menahan peluru yang berkaliber (berdiameter) kecil. Lengkapnya lihat gambar dibawah

Tabel 2.6 Standar Pengujian NIJ Standar 0101.06

BulletProof vest Type	Weapons	Test Variables			Performance Requirements
		Test	Nominal	Minimum	Maximum
		Ammunition	Bullet Mass	Required	Depth of Deformation
					Velocity
III-A		44 Magnum	15.5 gram	426 m/s	44 mm
		Lead SWC Gas Checked			
		9 mm FMJ	8.1 gram	426 m/s	44 mm

Sumber: NIJ 0101.06, dalam Anhar Pulungan Muhammad (2017)

Tabel 2.6 menunjukkan standart pengujian NIJ Standard 0101.06. Penelitian ini menggunakan tipe III-A untuk test ammunition sebesar 9 mm FMJ, nominal bullet mass sebesar 8,1 g, minimum required bullet sebesar 426 m/s dan maksimum depth of deformation sebesar 44 mm.

Tabel 2.7 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 155 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. 1.308 Caliber) FMJ 	2700 ft/s
Level IV	30.06 165 gr. 1.30 Caliber) M2AP Armor Piercing 	2880 ft/s

Sumber: Septyawan Dwi. 2010

(TNI, 2013) Spesifikasi helm militer yang digunakan oleh TNI adalah Helm Anti Peluru Level II & III, helm ini terbuat dari material Komposit Kevlar *Laminated* dengan pelindung benturan.

- Sertifikat uji : TNI & POLRI
- Material : Aramid/ Kevlar by USA
- Level : II & III A
 - Weight : 1.2 – 1.45 Kg
 - Size : S, M, L
 - Type : PASGT

Jumlah lapisan disesuaikan dengan jenis kevlar dan level yang diperlukan bagian dalam helm dilapisi penahan benturan (*Blunt Trauma*), tali pengikat dengan kekuatan tarik 80 kgf. Model PASGT memiliki bagian tepi helm dilapisi karet pelipit warna dapat disesuaikan dengan permintaan finishing permukaan luar dibuat kasar. Standar helm anti peluru ini adalah NIJ 01.01.03 Standar Amerika dengan spesifikasi pengujian sebagai berikut:

1. *Threat Level II Ballistic Resistance*

a. 9 mm FMJ

- Kecepatan Peluru 1175 ft / sec atau 358 m / sec
- Jarak Tembak 5 m

b. .357 magnum JSP

- Kecepatan Peluru 1395 ft / sec atau 425 m / sec
- Jarak tembak 5 m

2. *Threat Level III A Ballistic Resistance*

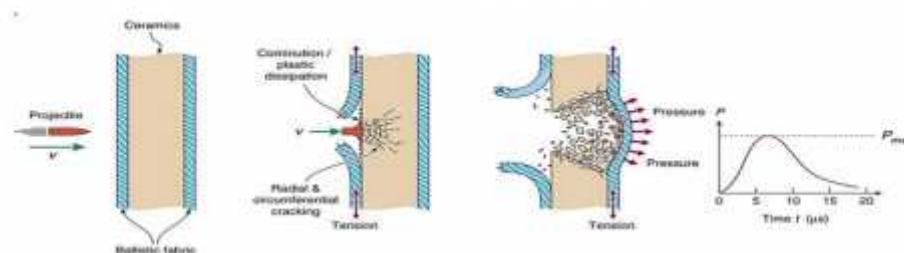
a. 9 mm FMJ

- Kecepatan Peluru 1400 ft / sec atau 427 m / sec
- Jarak Tembak 5 m

b. .44 magnum Lead Semi Wood Cutter (LSW)

- Kecepatan Peluru 1400 ft / sec atau 427 m / sec
- Jarak Tembak 5 m

Setelah penembakan dilakukan, maksimum deformasi/perubahan bentuk Pada Virginia. (2014) dijelaskan kerusakan akan dampak dari tumbukan proyektil struktur kerusakan material menghasilkan pengembangan tekanan di bagian belakang sampel. Hal ini menyebabkan permukaan belakang mengalami tekanan tekan di wilayah yang dipengaruhi oleh proyektil yang terfragmentasi. Wajah belakang diblokkan dan kemudian menjadi tegang. Berikut Gambar 2.11 memperlihatkan kerusakan akibat gaya impact.

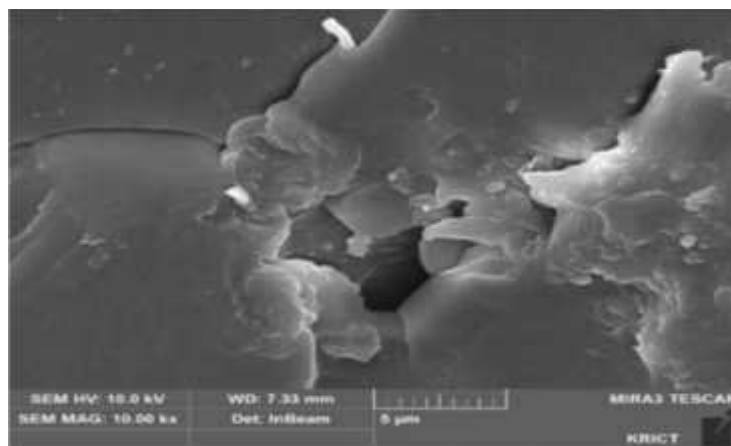


Gambar 2.11 Ilustrasi gaya yang diteruskan oleh peluru ke benda uji

Sumber: Virginia. (2014)

2.9 FOTO SEM

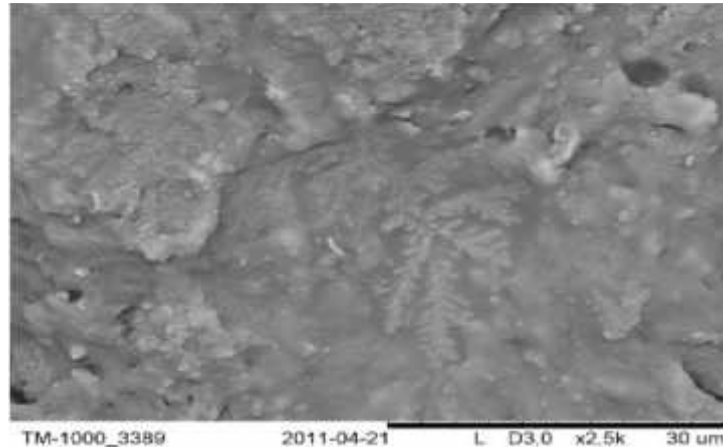
Pengertian SEM Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, depth of field 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, depth of field yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industry. Bagian utama dari SEM, yaitu penembak elektron, lensa magnetik dan lensa objektif, fine probe, detektor, spesimen, dan monitor cathode ray tube (CRT). (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 2.11. dari gambar tersebut dapat dilihat permukaan epoxy resin yang telah kering memiliki permukaan yang halus seperti kristal yang menandakan material tersebut getas.



Gambar 2.12 Foto SEM matriks epoxy resin

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

Dalam jurnal Anna Str kowska, (2012). Memperlihatkan bentuk karet silikon yang melalui foto SEM seperti Gambar 2.12. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa material karet silikon yang sudah kering memiliki permukaan yang bergelombang.



Gambar 2.13 Foto SEM matriks karet silikon

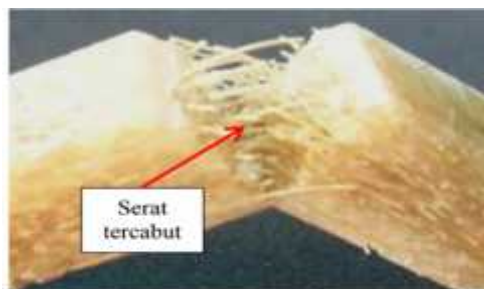
Sumber: Anna Str kowska (2012)

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.

2.10 UJI IMPAK

Pengujian impact adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat. 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 impact dari tembakan peluru. (Achmad Nurhidayat, 2019). Hasil pengujian impact, ada dua jenis patahan yang terjadi dari hasil pengujian 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 2.12.



Gambar 2.14 patahan 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 2.13.



Gambar 2.15 Patahan granular
 Sumber : Hidayat Achmad (2019)

Usaha yang dipakai untuk mematahkan bahan/material persatuan luas penampang pada bawah takikan dinamakan kekuatan impact bahan tersebut. pada pengujian impact bahan komposit serat, sebelum dilepas bandul alat uji diayunkan membentuk sudut (alfa) 45° dari sumbu tegak lurus dan setelah mematahkan spesimen, bandul akan membentuk sudut sisa tenaga ayunan bandul (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 impact:

Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{W R^2 (\cos \alpha - \cos \beta)}{2} \quad (4)$$

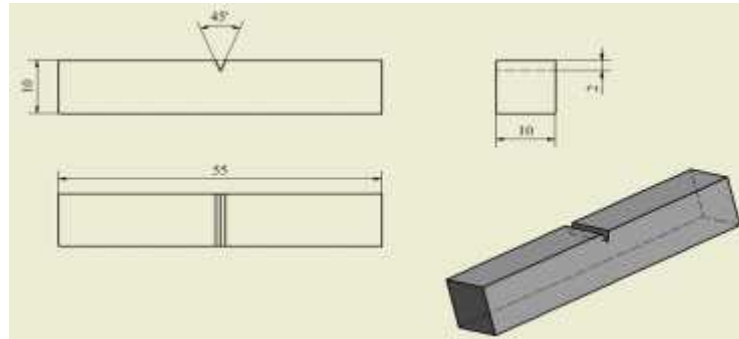
- Keterangan:
- E : Energi impact (Joule)
 - W : Berat hammer (kg)
 - R : Panjang lengan bandul (m)
 - α : Sudut awal bandul (°)
 - β : Sudut akhir bandul (°) Harga impact dapat dihitung dengan

rumus:

$$HI = \frac{E}{A} \quad (5)$$

- Keterangan: HI : Harga Impact (Joule/)
- E : Energi impact (Joule)
 - A : Luas penampang di bawah takik (cm²)

Pada penelitian ini pengujian impak yang digunakan adalah metode charpy dan spesimen uji dibuat sesuai standar ASTM D 256-00 yang desainnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini dengan satuan dimensi milimeter



Gambar 2.16 dimensi spesimen

Sumber : (Hidayat Achmad, 2019)

2.11 PENGAPLIKASIAN KOMPOSIT

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. Berikut baju 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 baju 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 2.17 *Soft body armor*

Sumber: Anhar Pulungan Muhammad (2017)

B. Hard body armor

Dengan menambahi soft body armor dengan lapisan tertentu, dapat dihasilkan *hard body armor* 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 2.18 *Hard body armor*

Sumber: Anhar Pulungan Muhammad (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 berikut yang di gunakan:

Tabel 2.8 standar uji balistik

Test Variables					Performance Requirements						
Armor Type	Test Round	Test Bullet	Bullet Weight	Reference Velocity (\approx 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

