



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT BERBAHAN DASAR SERAT
PISANG ABACA DAN RESIN EPOKSI DIKOMBINASIKAN
DENGAN KERAMIK UNTUK PANEL ROMPI TAHAN
PELURU LEVEL IIIA**

SKRIPSI

KLEMENS

040506035Y

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GASAL 2009/2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT BERBAHAN DASAR SERAT
PISANG ABACA DAN RESIN EPOKSI DIKOMBINASIKAN
DENGAN KERAMIK UNTUK PANEL ROMPI TAHAN
PELURU LEVEL IIIA**

SKRIPSI

KLEMENS

040506035Y

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2009/2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Klemens

NPM : 040506035Y

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Klemens

NPM : 040506035Y

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Pengembangan Komposit Berbahan Dasar Serat Pisang Abaca dan Resin Epoksi Dikombinasikan dengan Keramik untuk Panel Rompi Tahan Lepuru Level IIIA

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng ()

Penguji : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc, PhD ()

Penguji : Ir. Dijan Supramono, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 21 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Klemens
NPM : 040506035Y
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengembangan Komposit Berbahan Dasar Serat Pisang Abaca dan Resin Epoksi Dikombinasikan dengan Keramik untuk Panel Rompi Tahan Lepuru Level IIIA

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Desember 2009

Yang menyatakan

(Klemens)

ABSTRAK

Nama : Klemens
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengembangan Komposit Berbahan Dasar Serat Pisang Abaca dan Resin Epoksi Dikombinasikan dengan Keramik untuk Panel Rompi Tahan Lepuru Level 3A

Dalam penelitian ini dibuat pelat komposit berbahan dasar serat alami yaitu serat pisang abaca (*Musa textilis*), yang dipadukan dengan resin epoksi, dan keramik berkekuatan tinggi dengan metode *hand lay up*. Serat abaca dipilih karena memiliki kekuatan yang tinggi, ketersediannya di Indonesia dan harganya murah. Penelitian ini ditekankan pada peningkatan kekuatan keramik dengan mengganti keramik yang digunakan, sehingga, diharapkan mampu menahan terjangan peluru level IIIA. Bahan dasar keramik yang digunakan memiliki kadar Aluminium Oksida yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelat komposit dengan lima lapis anyaman serat pisang abacca dengan ketebalan 11,15mm yang digabungkan dengan satu lapis keramik mampu menahan peluru dari senjata Level IIIA, yaitu *submachine gun* pada jarak 5m.

Kata kunci:

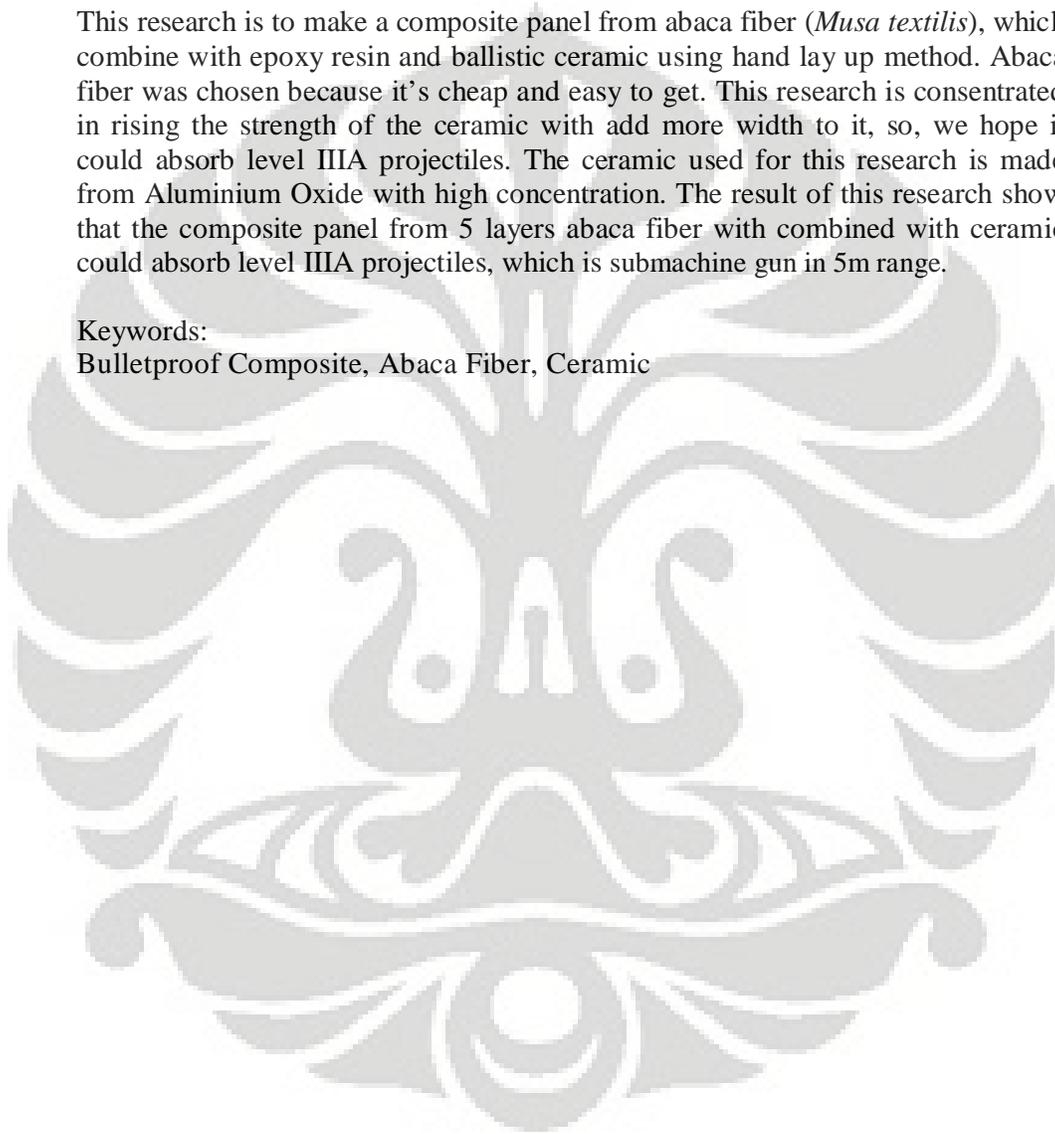
Komposit Tahan Peluru, Serat Pisang Abacca, Keramik

ABSTRACT

Name : Klemens
Study Program : Teknik Kimia
Title : Development of Composite Material from Abaca Fiber and Epoxy Resin Combine with Ceramic for Level 3A Bullet Proof Panel

This research is to make a composite panel from abaca fiber (*Musa textilis*), which combine with epoxy resin and ballistic ceramic using hand lay up method. Abaca fiber was chosen because it's cheap and easy to get. This research is concentrated in rising the strength of the ceramic with add more width to it, so, we hope it could absorb level IIIA projectiles. The ceramic used for this research is made from Aluminium Oxide with high concentration. The result of this research show that the composite panel from 5 layers abaca fiber with combined with ceramic could absorb level IIIA projectiles, which is submachine gun in 5m range.

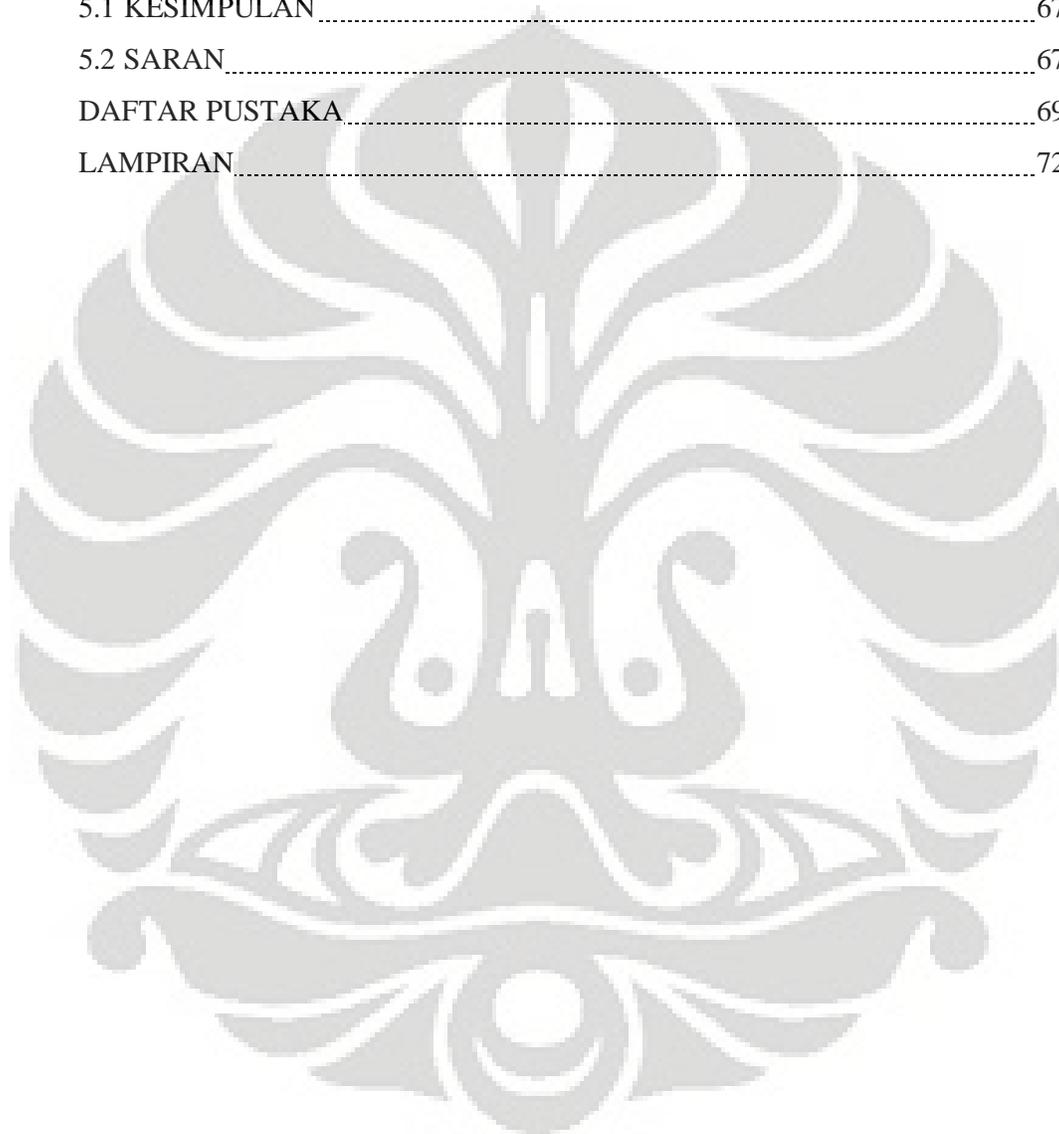
Keywords:
Bulletproof Composite, Abaca Fiber, Ceramic



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 KOMPOSIT.....	4
2.2 KERAMIK.....	13
2.4 BALISTIK.....	24
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1 RANCANGAN PENELITIAN.....	27
3.2 PERALATAN DAN BAHAN PENELITIAN.....	29
3.3 TEMPAT PELAKSANAAN PENELITIAN.....	36
BAB 4 HASIL DAN ANALISA.....	43
4. 1 PEMBUATAN PELAT KOMPOSIT TAHAP I.....	43
4. 2 PENGUJIAN BALISTIK TAHAP I.....	46
4. 3 PEMBUATAN PELAT KOMPOSIT TAHAP II.....	53

4. 4 PENGUJIAN BALISTIK TAHAP II	54
4.5 ANALISA ENERGI BALISTIK	58
4. 6 PERHITUNGAN BIAYA PEMBUATAN KOMPOSIT	60
4. 7 RANCANGAN ROMPI ERGONOMIS	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 KESIMPULAN	67
5.2 SARAN	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan dasar pembentukan komposit lembaran (a) Serat panjang searah (b) Serah panjang dua arah (c) Serat pendek searah (d) Serat pendek acak (e) Woven fiber.....	6
Gambar 2.2 Struktur kimia Kevlar.....	7
Gambar 2.3 Klasifikasi serat alam.....	8
Gambar 2.4 Pohon Pisang Abacca.....	9
Gambar 2.5 Proses Pembuatan Serat Pisang Abacca.....	10
Gambar 2.6. Reaksi Curing Resin Epoksi dengan Amida Hardener.....	11
Gambar 2.7 Proses pabrikasi keramik.....	16
Gambar 2.8 Seorang tentara sedang memakai rompi tahan peluru.....	21
Gambar 2.9 (a) Rompi tanpa cover, (b) Rompi saat dipakai.....	21
Gambar 2.10 Susunan peralatan uji balistik.....	23
Gambar 2.11 Bentuk Deformasi Proyektil.....	23
Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian.....	28
Gambar 3.2. Serat abaca anyam biasa dan anyam keping.....	29
Gambar 3.3. Resin Epoksi dan Hardener.....	29
Gambar 3.4. Mirror Glaze.....	30
Gambar 3.5. Keramik 30x30cm tebal 7mm.....	30
Gambar 3. 6. Peluru Full Metal Jacketed Kaliber 9mm.....	31
Gambar 3. 7. Lilin untuk Backing Material.....	31
Gambar 3.8. Kuas.....	32
Gambar 3.9. Roller.....	32
Gambar 3.10. Keramik 40x40cm tebal 8mm.....	33
Gambar 3.11. Pelat Aluminium.....	33
Gambar 3.12. Alat Press Hidrolik.....	34
Gambar 3.13. Wadah untuk mencampur resin.....	34
Gambar 3.14. Peralatan Lain-lain.....	34
Gambar 3.15. Pistol G2 dan Senjata Submachine PM2V1.....	35
Gambar 3.16. Support Fixture.....	36

Gambar 3.17. (a) Keramik dioleskan Mirror Glaze hingga rata	
(b) Keramik telah ditempatkan di wadah kertas.....	37
Gambar 3.18. (a) Resin dituang dengan perbandingan 1:1	
(b) Resin telah tercampur hingga rata.....	38
Gambar 3.19. (a) Keramik dioleskan Mirror Glaze hingga rata	
(b) Keramik telah ditempatkan di wadah kertas.....	38
Gambar 3.20. (a) Abaca diletakkan diatas resin yang telah diratakan	
(b) Menuangkan resin diatas anyaman abaca	
(c) Resin yang dituang kembali diratakan.....	39
Gambar 3.21. Keramik diletakkan diatas lapisan abaca.....	39
Gambar 3.22. Proses pengepressan.....	40
Gambar 3.23. (a) Komposit yang telah kering tampak depan	
(b) Komposit yang telah kering tampak belakang.....	40
Gambar 3.24. Produk Akhir (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	40
Gambar 3.25. Sketsa Proses Penembakan.....	42
Gambar 4. 1. Konfigurasi Anyaman Komposit AB5E7.....	44
Gambar 4. 2. Konfigurasi Anyaman Komposit AB5E8.....	44
Gambar 4. 3. Konfigurasi Anyaman Komposit AB5E7.....	44
Gambar 4. 4. Konfigurasi Anyaman Komposit AK3E8.....	44
Gambar 4. 5. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 pada Bagian Depan.....	48
Gambar 4. 6. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 pada Bagian Belakang.....	48
Gambar 4. 7. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 Bagian Depan.....	49
Gambar 4. 8. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 pada Bagian belakang.....	49
Gambar 4. 9. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Depan.....	50
Gambar 4. 10. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Belakang.....	50
Gambar 4. 11. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Depan.....	51
Gambar 4. 12. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Belakang.....	51
Gambar 4. 13. Hasil Penembakan Komposit AK3E8 pada Bagian Depan.....	52
Gambar 4. 14. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Belakang.....	52
Gambar 4. 15. Konfigurasi Anyaman Komposit AB1E7.....	54

Gambar 4. 16. Konfigurasi Anyaman Komposit AB2E7	54
Gambar 4. 17. Konfigurasi Anyaman Komposit AB3E7	54
Gambar 4. 18. Konfigurasi Anyaman Komposit AB4E7	54
Gambar 4. 19. Hasil Penembakan Komposit AB1E7 pada Bagian Depan.....	55
Gambar 4. 20. Hasil Penembakan Komposit AB1E7 pada Bagian Belakang.....	55
Gambar 4. 21. Hasil Penembakan Komposit AB2E7 pada Bagian Depan.....	56
Gambar 4. 22. Hasil Penembakan Komposit AB2E7 pada Bagian Belakang.....	56
Gambar 4. 23. Hasil Penembakan Komposit AB3E7 pada Bagian Depan.....	57
Gambar 4. 24. Hasil Penembakan Komposit AB3E7 pada Bagian Belakang.....	57
Gambar 4. 25. Hasil Penembakan Komposit AB4E7 pada Bagian Depan.....	58
Gambar 4. 26. Hasil Penembakan Komposit AB4E7 pada Bagian Belakang.....	58
Gambar 4. 27. Alat Chronograph.....	59
Gambar 4. 28. Rompi Tahan Peluru Produksi Lyra Pr4ate Limited	62
Gambar 4. 29. Hasil Kuesioner untuk Kenyamanan Penggunaan Rompi Saat: (a) Jongkok, (b) Berdiri, (c) Duduk	63
Gambar 4. 30. Hasil Kuesioner untuk Saran Perbaikan Rompi.....	64
Gambar 4. 31. Design rompi tahap 1	64
Gambar 4. 32. Rompi Tahan Peluru Produksi Zahal.....	65

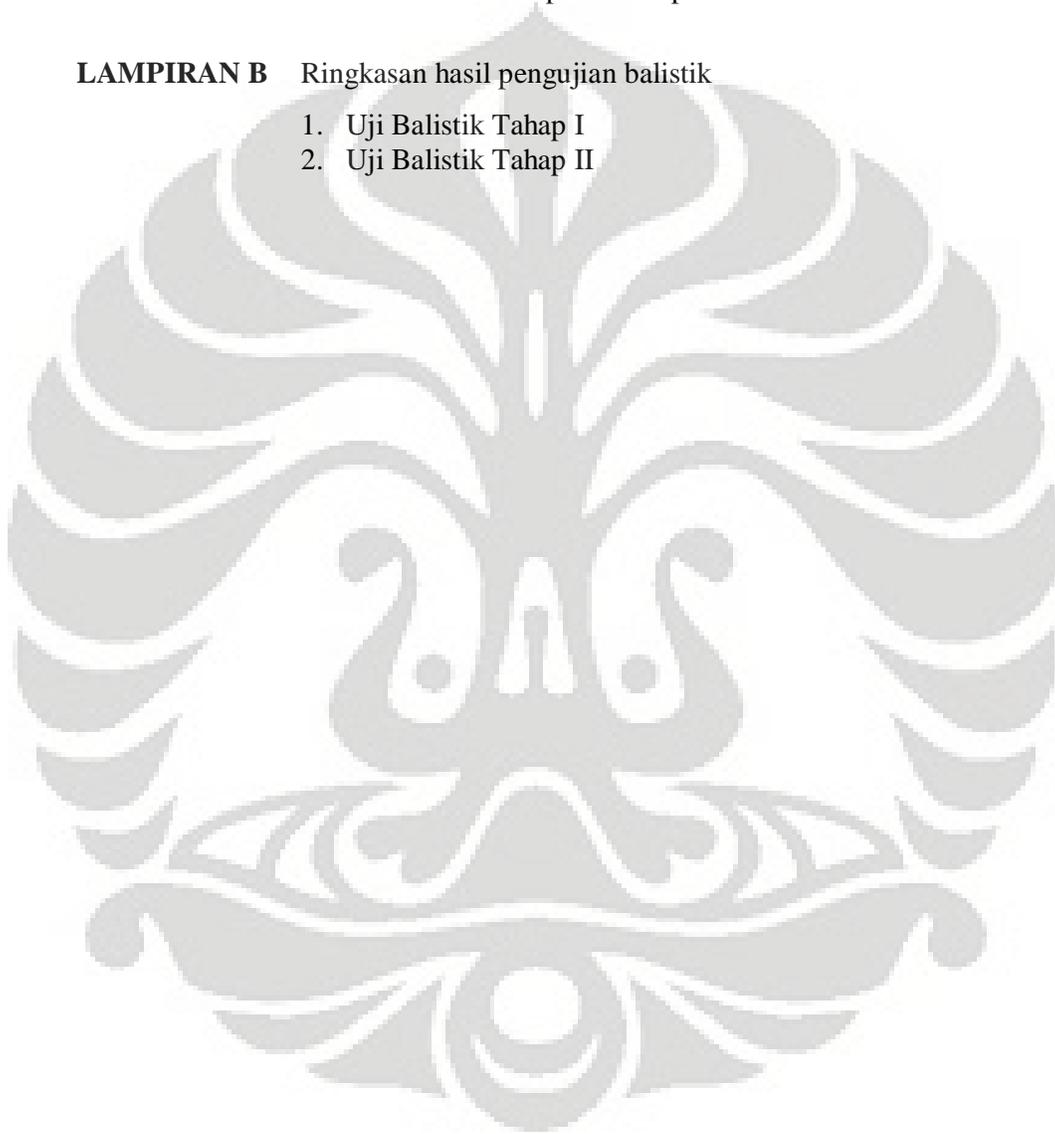
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan kimia serat alam.....	8
Tabel 2.2 Sifat Mekanis Serat Alam.....	9
Tabel 2.3. Sifat Resin Epoksi.....	12
Tabel 2.4 Spesifikasi Ultra Light Hard Plate dibandingkan dengan Alumina.....	19
Tabel 2.5 Jenis Sifat Fisika Buatan Amerika.....	19
Tabel 2.6 Ketentuan Rompi Taktis Tahan Peluru untuk Militer dan Polisi.....	20
Tabel 2.7 Tipe Rompi Tahan Peluru.....	22
Tabel 3.1. Spesifikasi Senjata PM2-V1.....	35
Tabel 3.2. Spesifikasi Senjata PG2.....	35
Tabel 4. 1. Energi Kinetik dan Momentum dari masing-masing Peluru.....	59
Tabel 4. 2. Massa Jumlah Energi yang Dapat Diterima.....	60
Tabel 4. 3. Massa Rompi Tahan Peluru yang dapat Dihasilkan.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A** Perhitungan Fraksi Massa dan Fraksi Volume Komposit
1. Pembuatan Komposit Tahap I
 2. Pembuatan Komposit Tahap II

- LAMPIRAN B** Ringkasan hasil pengujian balistik
1. Uji Balistik Tahap I
 2. Uji Balistik Tahap II



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
Ak	Luas Kontak pemberat dengan Komposit	m ²
BC	Ballistic Coeficient	
D	Diameter Peluru	cm
E absorbed	Besar energi yang terserap oleh target Joule	(J)
EK	Energi Kinetik Joule	(J)
I	Faktor Bentuk Peluru	
KP	Kinetic Pulse	
L	Panjang Peluru	cm
M	Massa Peluru Gram atau Kilogram	(g) (kg)
M'	Massa Residual Projektil	g
Mt	Massa Pemberat	kg
P	Momentum	g.m/s
p	Tekanan Pa	(N/m ²)
SD	Sectional Density Peluru	g/cm ²
T	Ketebalan Target	cm
V	Kecepatan Peluru saat Meninggalkan Laras	m/s
V _{in} = V _s	kecepatan peluru saat mengenai target	m/s
V _{out} = V _r	kecepatan peluru saat meninggalkan target (kecepatan residual)	m/s
V ₁ = V ₅₀	Balistik Limit	m/s
θ	Sudut Arah Tembak o	
ρ	Densitas Pelat	g/cm ³

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Rompi tahan peluru merupakan salah satu alat pendukung militer yang mempunyai peranan sangat penting dalam rangka tugas operasi dibidang Pertahanan Keamanan. Pemakaian rompi tahan peluru akan melindungi pemakai dari senjata tajam, pecahan granat, pukulan, benturan dan hantaman akibat tembakan senjata. Disamping itu rompi tersebut juga akan meningkatkan psikologis dan moral tempur pemakai.

Pada awalnya, pelat tahan peluru terbuat dari bahan logam, namun sejak ditemukannya serat sintesis Kevlar oleh DuPont pada tahun 1965, dikembangkan pelat tahan peluru berbahan dasar material komposit. Bahan dasar penyusun rompi komposit yang paling umum digunakan adalah serat Kevlar, serat Dyneema yang dikembangkan oleh DSM, serat GoldFlex yang dikembangkan oleh Honeywell, dan Spectra [1], karena memiliki keunggulan dalam menahan energi yang dihasilkan dari benturan balistik. Dalam penyusunan rompi tahan peluru, serat tersebut dapat dipadukan dengan resin tertentu untuk meningkatkan kemampuan balistiknya. Sebagian besar rompi tahan peluru yang digunakan oleh Indonesia adalah rompi berbahan dasar serat Kevlar dan Dyneema [2]. Akan tetapi bahan-bahan ini sulit didapat di pasaran.

Oleh karena itu, sampai saat ini pemenuhan kebutuhan rompi tahan peluru masih sangat tergantung dari luar negeri khususnya Belanda dan Korea Selatan [1]. Karena ketergantungan ini, harga rompi tahan peluru menjadi sangat mahal, dan hanya dapat dimiliki oleh Indonesia dalam jumlah sangat sedikit. Ketergantungan ini timbul karena komposisi penyusun rompi tahan peluru tak pernah dipublikasikan oleh negara-negara produsen karena berkaitan dengan kekuatan pertahanan negara tersebut.

Sampai saat ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai komposisi penyusun rompi tahan peluru yang terbaik, namun sangat sedikit yang telah dipublikasikan, karena kemampuan pembuatan rompi ini sangat berkaitan erat dengan kekuatan pertahanan suatu negara. Ignatia M. Sudiarta (2007)

mengembangkan pelat komposit berbahan dasar serat pisang abacca, yang dapat menahan proyektil peluru level I [3], selanjutnya Pendi Silalahi menggabungkan keramik dan serat abacca yang mampu menahan proyektil peluru level II [4]

Dalam penelitian ini hendak dibuat pelat komposit berbahan dasar serat alami yaitu serat pisang abacca (*Musa textilis*), yang dipadukan dengan resin epoksi, dan keramik berbahan dasar Silikon Karbida dengan metode *hand lay up*. Serat abacca dipilih karena ketersediannya di Indonesia yang banyak dan harganya murah. Serat ini memiliki kekuatan relatif besar, sehingga diharapkan dapat menghasilkan pelat komposit tahan peluru yang mudah dibuat, murah, dan memiliki kekuatan untuk menahan peluru. Bahan dasar keramik yang memiliki ketahanan balistik yang besar adalah Silikon Karbida, Boron Karbida, Titanium Diborida, Aluminum Nitrida, Silikon Nitrida, Aluminum Oksida (Konsentrasi tinggi), Tungsten Karbida and Kaca [5].

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dari latar belakang tersebut dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- Seberapa jauh serat abacca, resin epoksi dan keramik mampu menjadi bahan rompi tahan peluru.
- Ketiadaan produsen rompi tahan peluru di Indonesia, sedangkan bahan baku rompi tahan peluru sangat melimpah.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Memperoleh jumlah lapisan anyaman serat pisang abacca jika digabungkan dengan keramik dalam pembuatan rompi komposit tahan peluru tipe IIIA agar dapat memberikan perlindungan kepada pemakainya.
- Memperoleh data penggunaan keramik sebagai bahan rompi tahan peluru.
- Memperoleh data penggunaan anyaman serat pisang abacca yang dibeli dari toko Ridaka di Pekalongan, Jawa Tengah
- Mempelajari proses manufaktur sebuah rompi tahan peluru
- Mempelajari aspek ergonomis rompi dan harga satuan rompi

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- Rompi komposit tahan peluru yang hendak dihasilkan dalam penelitian ini adalah pelat tahan peluru Tipe IIIA (senjata *submachine gun* PM2V1 produksi PINDAD, kaliber 9mm, pada kecepatan minimal 426 m/s).
- Rompi komposit tahan peluru yang dibuat merupakan komposit *fiber reinforced plastic*
- Metode pembuatan komposit yang digunakan adalah metode *hand lay up*.
- Serat yang digunakan adalah serat dari batang pisang abacca (*Musa textilis*) yang diperoleh dari toko Ridaka di Pekalongan, Jawa Tengah.
- Resin yang digunakan adalah resin epoksi berbasis bisphenol A
- Diasumsikan kecepatan peluru sejak keluar dari laras senapan hingga ke target adalah tetap.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka tentang komposit, keramik, rompi tahan peluru dan standar uji balistik untuk material tahan peluru.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah kerja yang dilakukan, peralatan dan bahan yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian ini.

BAB 4 : HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi hasil dari pembuatan pelat komposit, pengujian balistik, serta beberapa analisa yang berkaitan dengan hasil tersebut.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian ini serta saran-saran untuk pengembangannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan teori-teori yang mendasari penelitian yang akan dilakukan. Beberapa teori yang akan diuraikan antara lain mengenai komposit secara umum, komponen penyusun komposit, orientasi Serat dalam komposit, serat alam, keramik, resin epoksi, teknik *hand lay up* untuk fabrikasi komposit, rompi tahan peluru dan tinjauan balistik secara umum.

2.1 KOMPOSIT

Bahan komposit atau komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut. [6]. Penggunaan komposit memberikan beberapa keuntungan antara lain : [7]

- Komposit dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan desain
- Komposit dapat diperbaiki dan difabrikasi ulang
- Komposit memiliki sifat fisik, mekanik dan elektrik yang dapat direproduksi
- Memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Jika dibandingkan antara komposit dan logam, maka untuk menghasilkan kekuatan yang sama, akan dibutuhkan massa logam yang lebih besar daripada massa komposit
- Tidak mudah terkorosi, tahan terhadap bahan kimia dan serangan jamur
- Kuat
- Dapat menginsulasi listrik

Akan tetapi, penggunaan komposit masih dibatasi dengan beberapa kekurangan, antara lain : [7]

- Penggunaan komposit terbatas pada suhu di bawah 400
- Tingkat kekakuan komposit masih di bawah logam

- Harga bahan baku komposit masih relatif mahal, namun hal ini dapat ditutupi dengan pemasangan instalasi yang relatif murah
- Proses pembuatannya membutuhkan waktu yang lebih lama daripada pemrosesan logam

2.1.1 Komponen Penyusun Komposit

Komposit terbagi atas dua bagian besar, yaitu *reinforcement* (penguat) dan matriks.

a. *Reinforcement* (penguat) [8]

Reinforcement berfungsi sebagai penguat atau kerangka dari suatu komposit. Biasanya *reinforcement* ini berupa *fiber*, maupun logam, yang memiliki fase diskontinyu. Berikut ini adalah beberapa *reinforcement* yang paling banyak digunakan : *Glass fiber*, Asbestos, Kertas Katun atau linen, Nylon, *Short Inorganic Fiber*, *Organic Fiber*, Polyethylene, *Flakes*, Aramid, Boron, karbon, grafit, serat keramik, dan lain-lain.

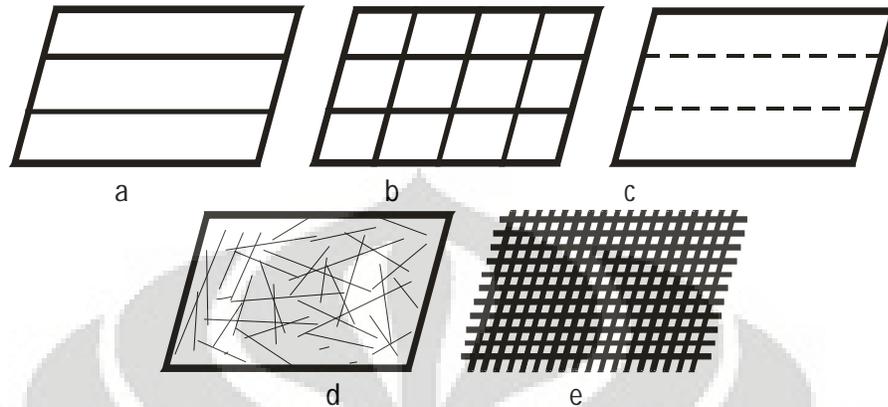
b. Matriks (pengisi)

Matriks berfungsi untuk menjaga *reinforcement* agar tetap pada tempatnya di dalam struktur, membantu distribusi beban, melindungi *filament* di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa regangan interlaminar. [6]. Matriks yang paling umum dipakai adalah logam, keramik dan polimer, baik polimer termoset, maupun polimer termoplast.

2.1.2 Orientasi Serat dalam Komposit

Komposit lembaran merupakan material yang tersusun atas lapisan-lapisan yang terikat satu sama lain. Setiap lapisan terdiri dari banyak serat yang terendam di dalam matriks. Jika serat panjang (*continuous fibre*) dipergunakan untuk membuat lapisan (*lamina*), serat tersebut dapat diorientasikan pada satu arah (*unidirectional orientation*) Gambar 2.1(a), atau pada dua arah (*bidirectional orientation*) Gambar 2.1(b). Lapisan juga dapat dikonstruksikan dengan menggunakan serat pendek (*discontinuous fibre*) baik pada satu arah Gambar 2.1(c) maupun secara acak, Gambar 2.1(d). Beberapa lapisan yang ditumpuk satu sama lain untuk mendapatkan ketebalan tertentu akan membentuk lembaran (*laminata*),

dimana variasi lapisan dalam lembaran dapat terdiri dari serat searah maupun berbeda arah, Gambar 2.1 (e)



Gambar 2.1 Susunan dasar pembentukan komposit lembaran (a) Serat panjang searah (b) Serah panjang dua arah (c) Serat pendek searah (d) Serat pendek acak (e) Woven fiber

2.1.3. Serat

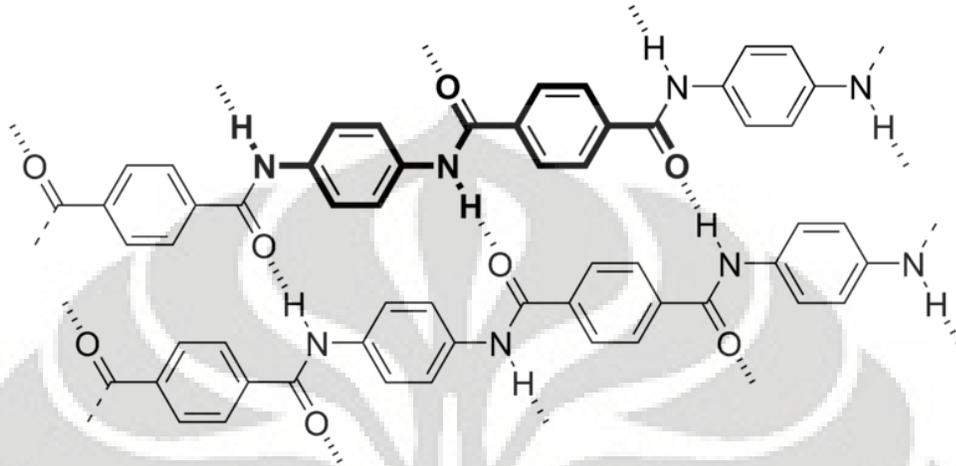
Serat sebagai bahan komposit dapat terdiri dari serat sintesis maupun serat alam. Adapun serat sintesis dan serat alam yang umum digunakan dijelaskan pada bagian berikut.

2.1.3.1 Serat Sintesis

Serat sintesis banyak dibuat dari bahan sintesis seperti petrokimia, namun ada beberapa jenis serat sintesis yang dibuat dari bahan alami seperti selulosa yang disebut dengan serat buatan (*artificial*). Serat yang paling banyak digunakan sebagai bahan komposit adalah Kevlar. Kevlar memiliki tiga tingkat, yaitu Kevlar, Kelvar 29, dan Kevlar 49. Bahan yang biasa digunakan untuk rompi tahan peluru adalah jenis Kevlar 29.

Kevlar adalah nama dagang dari serat sintesis para-aramid yang dikembangkan oleh DuPont pada tahun 1965 oleh Stephanie Kwolek dan Roberto Berendt. Nama kimia Kevlar adalah *poly paraphenylene terephthalamide* yang termasuk senyawa poliamida aromatic. Produksi Kevlar menjadi mahal karena menggunakan asam sulfat pekat yang bersifat korosif. Asam sulfat ini dibutuhkan untuk menjaga agar larutan polimer tidak larut selama proses sintesa dan pemintalan.

Setiap bagian monomer Kevlar terdiri dari 14 atom karbon, 2 atom nitrogen, 2 atom oksigen dan 10 atom hidrogen seperti dalam Gambar 2.2 dibawah ini.

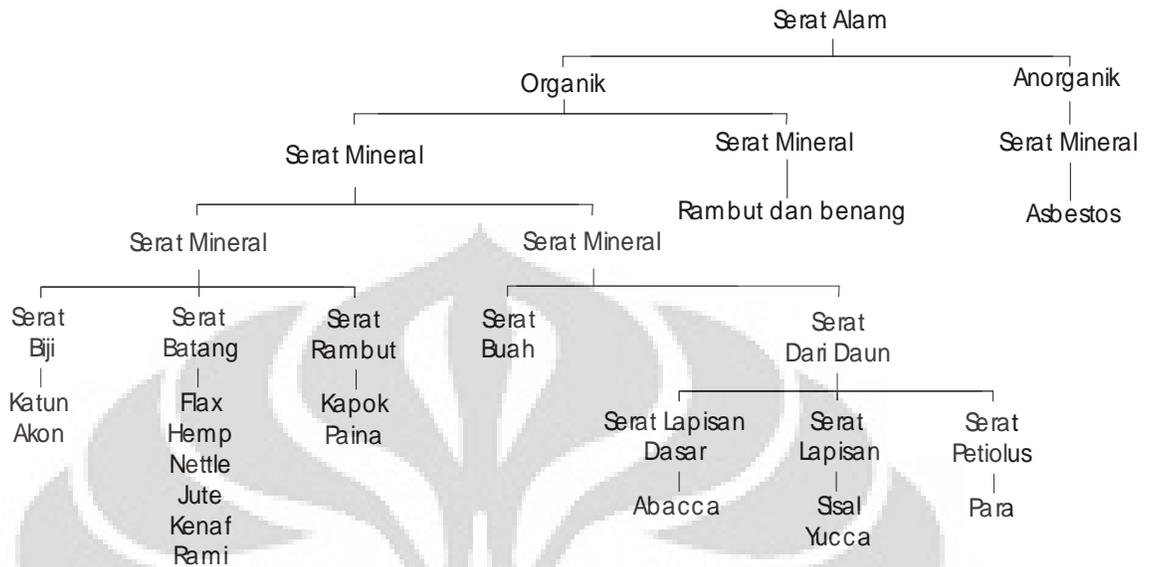


Gambar 2.2 Struktur kimia Kevlar

2.1.3.2 Serat Alam (*Natural Fiber*)

Serat alam adalah serat yang dihasilkan oleh tumbuhan, hewan, maupun proses ekologi, seperti misalnya rami, abacca, nanas, dan lain-lain. Serat alam memiliki beberapa kelebihan daripada serat sintetik. Kelebihan itu antara lain : kuat, mudah didapat, dan murah, dapat didaur ulang, beresiko rendah terhadap kesehatan, membentuk permukaan yang baik dengan bahan matriks, dan juga memiliki sifat *biodegradable*. Selain ramah lingkungan karena sifatnya yang dapat diuraikan oleh tanah, serat alam juga memiliki sifat non-abrasif, baik terhadap kulit, maupun terhadap alat-alat pemrosesan, sehingga relatif lebih aman dibandingkan serat sintetik yang sangat abrasif. Namun serat alam memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat beroperasi pada suhu tinggi.

Di alam, berbagai jenis serat alam banyak ditemukan, baik dari serat non-organik (asbestos) maupun serat organik (serat hewan dan tumbuhan). Namun serat tumbuhan adalah jenis serat yang paling banyak dikembangkan, seperti : rami, jute, flex, kenaf, sisal, dan serat abacca. Klasifikasi serat alam dapat dilihat dalam Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Klasifikasi serat alam

Serat alam memiliki sifat mekanika yang sangat beragam, hal ini diakibatkan oleh kandungan selulosa, lignin dan pektin tiap-tiap serat berbeda. Katun (*cotton*) memiliki kandungan selulosa relatif tinggi (85-90%) dibandingkan dengan serat alam lainnya, sementara kandungan ligninnya tidak ada, dan memiliki kandungan pektin 0-1%, sisanya adalah senyawa lain. Sedangkan serat abacca memiliki kandungan selulosa 60%, lignin 12-13% dan pektin 1%. Kandungan kimia beberapa serat alam dapat dilihat dalam Tabel 2.2 berikut ini. [9]

Tabel 2.1 Kandungan kimia serat alam.

Jenis Serat	Kandungan Selulosa (%)	Kandungan Lignin (%)	Kandungan Pektin (%)
Flax	65-85	1-4	5-12
Hemp	60-77	3-10	5-14
Jute	45-63	12-25	4-10
Kenaf	35-57	8-13	3-5
Sisal	50-64	-	-
Abacca	60	12-13	1
Coir	30	40-45	-
Cotton	85-90	-	0-1

Sumber: Brother, Netherland, 2003

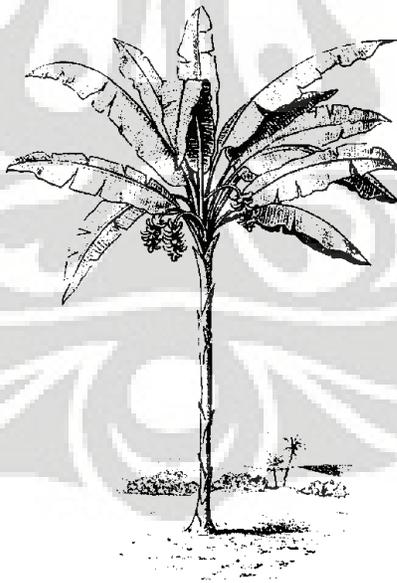
Dari kandungan kimia serat alam yang berbeda ini, maka dapat dilihat sifat-sifat mekanis serat abacca dibandingkan dengan serat yang lain, seperti dalam Tabel 2.2 berikut ini. [9]

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Serat Alam.

Properti	Serat						
	Flax	Hemp	Jute	Ramie	Sisal	Abacca	E-glass
Density (g/cm ³)	1.4	1.48	1.46	1.5	1.33	1.5	2.55
Tensile strength (Mpa)	800-1500	550-900	400-800	500	600-700	980	2400
E-modulus (Gpa)	60-80	70	30	44	38	22.4	73
Specific (e/density)	26-46	47	21	29	29	33.6	29
Elongation at failure (%)	1.2-1.6	1.6	1.8	2	2-3	2.9	3

Sumber: Brother, Netherland, 2003

Pohon pisang abacca (*Musa textilis*) adalah tumbuhan keluarga pisang yang berasal dari Filipina. Tanaman abacca tumbuh subur di daerah tropis termasuk kawasan Indonesia dengan ketinggian 30-1000 m dpl, dan curah hujan minimal 2000 mm. Gambar pisang abacca adalah seperti dalam Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Pohon Pisang Abacca

Abacca merupakan tanaman pisang serat yang banyak digunakan sebagai bahan baku tekstil, bahan baku kerajinan dan kertas. Seratnya mempunyai sifat

fisik yang kuat dan tahan lembab dan air asin sehingga baik digunakan sebagai bahan pembuat tali kapal laut, karena kuat, mengapung diatas air, dan tahan garam.

Batang abacca yang ditebang seluruh pelepah daunnya harus dipotong yang tersisa tinggal batangnya. Batang pisang yang ditebang selanjutnya dilakukan pemisahan pada setiap lapisan/pelepah batang. Pelepah batang disertai (*stripping*) dengan menggunakan pisau penyerat maupun menggunakan mesin penyerat (*spindle stripping*), kemudian dikeringkan dengan memanfaatkan panas sinar matahari. Gambaran secara umum proses pembuatan dari pohon pisang abacca adalah seperti Gambar 2.5 berikut ini. [10]

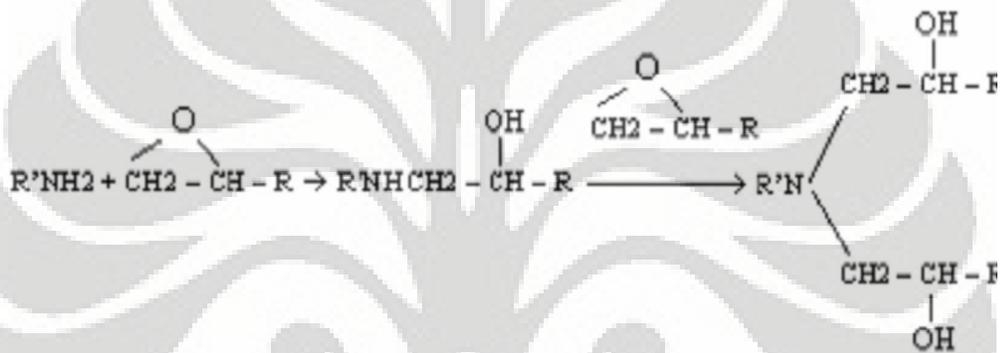


Gambar 2.5 Proses Pembuatan Serat Pisang Abacca

2.1.4 Resin Epoksi

Resin epoksi pada dasarnya adalah resin termoset polyether yang memiliki gugus epoksida dalam polimer sebelum mengalami proses *crosslinking*. Ketika terjadi proses pengerasan, reaksi yang timbul adalah reaksi eksotermik, dan gugus oksigen pada epoksi akan terlepas. Pada dasarnya reaksi *curing* terjadi antara

gugus oksirena dari epoksi dengan gugus hidrogen reaktif dari *hardener*nya. Resin ini dibuat dari proses polimerisasi epichlorohydrin dengan bisphenol A, sehingga dihasilkan polimer dengan berat molekul 900 hingga 3000. Polimer ini lalu diberikan proses *curing* dengan menggunakan polyamine, poliamide, polysulfide, urea dan fenol formaldehida, serta asam atau asam anhidrid, dengan reaksi *coupling* atau kondensasi. *Curing* agent yang paling utama adalah grup amine, dimana setiap hidrogen pada gugus amine akan bereaksi dengan gugus epoksida. [11]



Gambar 2. 6. Reaksi *Curing* Resin Epoksi dengan Amida *Hardener* [11]

Laju pengerasan bergantung pada suhu lingkungan, jika suhu lingkungan naik sebesar 18°C, maka lajunya akan naik dua kali lipat. Pada proses *curing* ini terjadi reaksi polimerisasi adisi, sehingga tidak dihasilkan produk samping. Kegunaan utama resin ini adalah untuk melapisi permukaan karena sifatnya yang kuat, fleksibel, *adhesive* dan tahan bahan kimia. Resin epoksi memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahanan panas yang baik. Selain itu resin ini memiliki daya rekat yang baik dengan fibernya. Resin ini berbentuk cairan kental, dengan viskositas tinggi. Berikut ini adalah karakteristik dari resin epoksi berbasis bisphenol A :

Tabel 2.3. Sifat Resin Epoksi

Properties	Nilai
Spesific Gravity	1.2- 1.3
Kekuatan Renggang (MPa)	55 – 130
Modulus Renggang (GPa)	2.75 - 4.1
Rasio Poison	0.2 – 0.33
Koefisien perluasan termal (m/moC)	10-6
Susut Proses (%)	1 - 5

Sumber : Fujiani, 2007

2.1.5 Teknik *Hand Lay Up* untuk Fabrikasi Komposit [13]

Keunikan dari industri komposit adalah kemampuannya dalam membuat produk dengan berbagai macam proses. Ada berbagai jenis proses yang telah ditemukan dalam pembuatan komposit untuk menghasilkan produk dengan biaya produksi yang efisien. Setiap jenis dari proses fabrikasi ini memiliki karakteristik tersendiri yang nantinya akan menghasilkan komposit yang berbeda. Hal ini menguntungkan karena keahlian ini menjadikan industri komposit dapat menyediakan produk terbaik yang sesuai dengan permintaan pelanggan.

Dalam rangka memilih proses fabrikasi yang paling sesuai dan efisien, setiap industri perlu mempertimbangkan faktor kebutuhan pelanggan, penampilan yang diinginkan, ukuran produk, kompleksitas permukaan, penampilan produk, laju produksi, total jumlah produksi, target ekonomi, kondisi pekerja dan material, peralatan yang tersedia dan proses perakitan. Teknik fabrikasi komposit yang sudah banyak diterapkan dalam industri antara lain :

- *Pultrusion*
- *Resin transfer molding (closed molding process)*
- *Hand lay up (open molding process)*
- *Compression molding*
- *Filament winding*
- *Centrifugal casting*
- *Spray up*

Dalam pembuatan pelat tahan peluru, digunakan metode fabrikasi *hand lay up*. Proses ini adalah proses yang tertua dan termudah dalam membuat *reinforced*

plastics (komposit dengan resin sebagai matriksnya). Cetakan yang digunakan berupa lubang, yang terbuat dari kayu, logam, plastik, atau kombinasi dari beberapa material. *Fiber reinforcement* dan resin ditempatkan secara manual di atas permukaan cetakan, lalu diikuti dengan proses menggosok, menekan, menggiling, untuk memasukkan resin ke dalam *reinforcement*, serta untuk mendorong udara keluar. Ketebalan lapisan dapat dijaga dengan mengatur lapisan material yang ditempatkan di dalam cetakan. Lapisan gel dapat digunakan sebagai lapisan pertama dan terakhir untuk menyediakan efek permukaan yang diinginkan dan untuk membentuk lapisan tahan korosi.

Metode *hand lay up* ini dapat divariasikan dengan penggunaan panas untuk mempercepat proses, penggunaan *vacuum bag*, *pressure bag* ataupun teknik *autoclave*, untuk menekan udara keluar, menekan lapisan, dan mengatur ketebalan akhir dari produk komposit yang dihasilkan.

2.2 KERAMIK

Keramik adalah bahan yang dibentuk dengan membakar, kadang dengan membakar dan ditekan, terdiri dari paling sedikit satu logam dan *nonmetallic elemental solid* (NMESs), paduan paling sedikit elemen non logam padat, atau paduan paling sedikit dua elemen nonlogam padat [14]. Magnesia atau MgO, adalah keramik karena disusun logam Mg, terikat dengan nonlogam O₂. silica juga keramik jika kombinasi NMES dan non metal, dan TiC dan ZrB₂ juga merupakan keramik, karena kombinasi logam (Ti,Zr) dan NMESs (C,B).

2.2.1 Bahan Baku

Dalam industri pembuatan keramik, bahan baku yang umum digunakan adalah: Alumina, felspar, silica dan penambahan additive. Beberapa jenis bahan baku tersebut, seperti penjabaran berikut ini [15].

A. Alumina

Alumina adalah istilah kimia yang khas untuk menyatakan oksida aluminium Al₂O₃. Bahan alumina sangat berlimpah di alam, umumnya dalam bentuk hidroksida tidak murni atau hidrat, misalnya batuan bauksit dan laterit,

kandungan alumina yang sangat tinggi. Sebagian besar alumina diperoleh dari bauksit yang dimurnikan dengan proses Bayer untuk memisahkan kandungan oksidasi pengotor, seperti Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , dan sebagainya. Dengan cara ini dapat dicapai kemurnian nominal 99,5% Al_2O_3 dan sisanya sebagian besar berupa Na_2O dan CaO .

Bentuk alumina yang paling umum adalah korondum α Al_2O_3 dengan bangun kristal rombohedral dan γ Al_2O_3 yang mempunyai struktur spinel. Bentuk lainnya adalah aluminat, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$, meskipun bukan oksida murni, tetapi disebut sebagai γ alumina. Korondum sangat keras (angka 9 dalam skala Moh's) dan pada temperatur tinggi tahan terhadap serangan asam dan alkali.

Dibandingkan dengan keramik jenis lain, keramik alumina memiliki beberapa sifat yang lebih unggul, misalnya kekuatan, kekerasan, ketahanan terhadap pukulan, ketahanan terhadap kejutan suhu dan lain-lain. Sifat-sifat yang diinginkan dari keramik alumina untuk berbagai keperluan dapat diperoleh dengan mengatur kandungan alumina dan temperatur pembakarannya.

B. Felspar

Felspar dalam proses pembuatan barang keramik berfungsi sebagai bahan pelebur (*flux material*), maksudnya adalah untuk menurunkan titik lebur barang keramik yang dibakar, pada saat pembakaran berlangsung, setelah tercapai titik leburnya maka felspar mencair menjadi fase gelas, dan partikel-partikel lempung direkat satu sama lain sehingga apabila fase gelas tersebut membeku, terbentuk barang keramik yang kuat dan keras.

Felspar dalam perdagangan apabila kandungan Na_2O nya sebesar 7% atau lebih maka disebut soda felspar atau natrium felspar, jika kandungan K_2O nya sebesar 10% atau lebih disebut potash felspar atau kalium felspar. Yang termasuk jenis natrium felspar antara lain albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), dan yang termasuk Kalium Felspar antara lain ortoklas (KAlSi_3O_8). Felspar banyak ditemui pada batuan pegmatit yang berasosiasi dengan kuarsa, juga terdapat pada batuan granit [16].

C. Silika

Diperkirakan kandungan silika (SiO_2) pada lapisan terluar kulit bumi tidak kurang dari 59%, sebagian besar diantaranya dalam bentuk perpaduan dengan berbagai oksida basa yang dikenal sebagai silikat. Kristal silikat terdiri dari rangkaian sel satuan tetrahedral yang dibangun oleh satu atom Si dan empat atom O, biasanya dalam bentuk elektrovalen. Karena tetrahedral tersebut dapat dirangkai dengan berbagai cara, maka terjadi bentuk kristal yang berbeda. Berdasarkan bentuk kristalnya silikat dapat dibedakan dalam 3 jenis utama yaitu kuarsa, kristobalit, dan tridimit.

Pada kristal kuarsa, ikatan atom Si-O-Si dari tetrahedral yang berdekatan dihubungkan dalam arah melingkar dan membentuk spiral, sehingga struktur kuarsa terdiri dari rantai-rantai spiral tersebut.

Struktur Kristobalit sama dengan struktur tridimit. Disini rangkaian tetrahedral membentuk cincin-cincin datar, setiap cincin terdiri dari 6 atom Si dan 6 atom O, tetapi karena bidang cincin sedikit terdistorsi merupakan susunan dari rantai-rantai cincin-cincin tersebut, perbedaannya adalah distorsi bidang cincin pada kristobalit lebih besar dibandingkan distorsi bidang cincin tridimit [17].

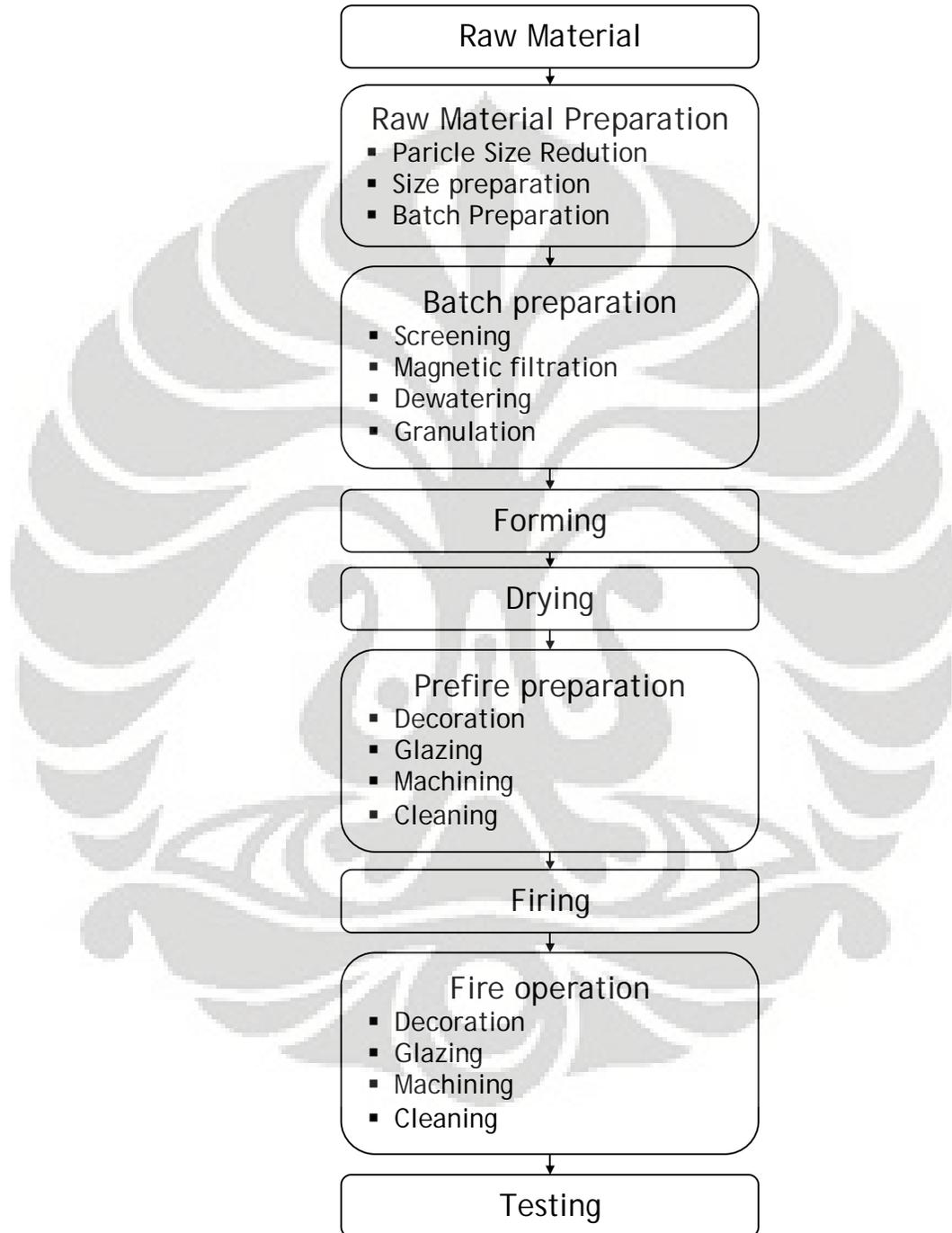
D. Aditif

Fungsi dari aditif ini adalah untuk memperbaiki mutu porselin, sehingga pada suhu relatif rendah akan mempunyai kuat mekanik yang cukup tinggi serta kenampakan yang lebih baik dibanding tipe porselin sebelumnya. Zirkon digunakan dalam pembuatan porselin, karena zirkon dapat mengkatalis fase kristal mulit, dan meningkat dari struktur ikatan dari fase gelas dan fase mekanik yang tinggi sehingga menurunkan kejut suhu dan menghindari retak-retak pada saat dibakar, dan meningkatkan derajat putih dari bodi [18].

2.2.2 Proses Pabrikasi Keramik

Produk keramik dapat diproduksi dalam berbagai ukuran, komposisi bahan, temperatur pembakaran dan bermacam-macam bentuk produk. Beberapa proses yang dilakukan untuk pembuatan keramik yaitu: penyiapan bahan mentah,

proses pembentukan, proses pembakaran dan peralatan produk. Proses pembuatan keramik secara umum adalah seperti diagram alir dibawah ini [15].



Gambar 2.7 Proses pabrikasi keramik

Sistim pembakaran (sintering) bahan dan produk keramik, yaitu dibakar dalam berbagai tanur yang dirancang untuk dioperasikan secara kontinyu. Sintering adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kondisi produk selama pembakaran, kondisi ini menunjukkan bahwa produk, partikel-partikel telah saling bergabung, bersama-sama membentuk agregat yang lebih kuat. Alat pembakaran bertahap disebut juga pembakaran periodik, biasanya berbentuk *shuttle* (kotak-kotak yang disusun berjajar dan bertingkat) atau berbentuk elevator. Alat pembakaran elevator digunakan untuk barang-barang-produk dengan massa relatif ringan. Isolasi panas dinaikkan untuk penataan produk dan isolasi diturunkan untuk *cooling*. Aalat pembakaran menggunakan kereta lumcur dan tungku berjalan digunakan untuk volume produksi tinggi dan siklus pembakaran pendek sekitar 30 menit.

Panas pada pembakaran umumnya dihasilkan dari pembakaran gas alam, bahan bakar minyak atau listrik. Panas yang memancar dapat meningkatkan temperatur secara merata pada seluruh ruangan.

2.2.3 Sifat Mekanik Keramik

Pada umumnya sifat bahan badan keramik porselin yang dihasilkan tergantung pada keadaan bahan baku yang digunakan, pembentukan dan pembakarannya. Faktor bahan baku mempunyai peranan penting terhadap produk akhir, sifat-sifatnya ditentukan oleh perbedaan ukuran butir, morfologi, komposisi dan kereaktifannya. Bahan baku yang mempunyai ukuran butir tunggal yang homogen, tidak akan menghasilkan sistim pemadatan yang baik (*poor packing*) dibandingkan dengan serbuk yang mempunyai variasi ukuran butir. Hal ini disebabkan jumlah cacat (luas total pori-pori) pada badan keramik dengan butiran tunggal akan lebih besar dan akibatnya kerapatan maksimum sulit dicapai [20].

Berdasarkan penelitian dari Suhanda dan Soesilowati, bahwa pengaruh tingkat kehalusan butir akan meningkatkan kuat mekanik (kuat lentur) keramik Harga peresapan air (porositas) menurun dengan makin meningkatnya ukuran butir, sedangkan susut bakar meningkat dengan meningkatnya kehalusan butir.

2.2.4 Keramik Tahan Peluru (*Armor Ceramics*)

Keramik yang dikategorikan sebagai tahan peluru adalah keramik yang memiliki kekuatan balistik jauh lebih besar daripada jenis keramik yang biasa dipakai umum. Selain memiliki kekuatan tinggi, tentu keramik tersebut harus memiliki berat yang ringan agar dapat digunakan sebagai pelat tahan peluru. Berat rata-rata sebuah keramik armor menurut *National Institute of Justice* Amerika Serikat untuk Level III adalah 2,2 kg. Standar ukurannya adalah 10" x 12" dan tebal 0,5".

Bahan dasar keramik yang memiliki ketahanan balistik yang besar adalah Silikon Karbida, Boron Karbida, Titanium Diborida, Aluminum Nitrida, Silikon Nitrida, Aluminum Oksida (dengan kemurnian tinggi), Tungsten Karbida and Kaca [5]. Keramik tahan peluru juga dikenal sebagai *Small Arms Protective Insert (SAPI)*. SAPI yang banyak diproduksi menggunakan bahan alumina. Sedangkan tahap perkembangan selanjutnya dari SAPI adalah *Enhanced Small Arms Protective Insert (ESAPI)* yang menggunakan boron karbida.

2.3 ROMPI TAHAN PELURU (*BODY ARMOR*)

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini, merupakan suatu terobosan maju dalam peradaban manusia. Penelitian dan pengembangan bahan-bahan canggih seperti polimer, keramik, logam, komposit yang kutakhir mendapat perhatian yang sangat besar. Keramik mula-mula dikembangkan di Amerika Serikat sekitar tahun 1960 untuk rompi tahan peluru dan kursi tentara di dalam Helikopter. Pada saat sekarang, perkembangan dari keramik untuk perangkat militer terus berkembang. Disamping keramik sebagai bahan baku untuk rompi tahan peluru, kevlar dan spektra adalah merupakan bahan untuk backing material.

2.3.1 Negara-Negara Pembuat Rompi Tahan Peluru

Beberapa negara pembuat rompi tahan peluru diantaranya adalah:

1. Israel

Spesifikasi rompi tahan peluru yang diproduksi oleh Kata Ltd di Israel yang menggunakan plate keramik, dimana sifat mekaniknya bila dibandingkan dengan alumina-silika adalah seperti Tabel 2.5 berikut ini[21]:

Tabel 2.4 Spesifikasi Ultra Light Hard Plate dibandingkan dengan Alumina

Sifat	Satuan	Ultra lightweight Alumina-Silika	Alumina PTEX-200	Alumina PTEX-300	Alumina PTEX-ULTRA
Densitas minimum	g/cm	2.96-3,07	3,78	3,81	3,89
Ukuran butir	Micron	1	3	3	3
Porositas	%	0	0	0	0
Modulus Young	Gpa	150	250	275	
Kekerasan(Hv10)	Pga	1300-1500	1250	1350	1560
Bending strength	Mpa	150-200	290	310	340

2. Amerika

Berdasarkan Gobain Ceramics, beberapa bahan yang dibuat untuk membuat rompi tahan peluru dan beberapa sifat fisiknya adalah seperti dalam Tabel 2.6 berikut ini [22]:

Tabel 2.5 Jenis Sifat Fisika Buatan Amerika

Physical Properties	Units	Silit@SKD Reaction Bonded	Norbide Hot Pressed	T196 Al ₂ O ₃	T198 Al ₂ O ₃	TZ3 Alumina Zirconia	Saphikon Sapphire
Composition		SiSiC	B ₄ C	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ ,ZrO ₂	Al ₂ O ₃
Density	g/cm ³	3.05	2.51	3.75	3.80	4.00	3.97
Hardness	Kg/mm ²	N/A	2800	2000	N/A	N/A	2200
Flexural Strength	Mpa x 10 Ib/in ²	250	425	300	320	320	760-1035 110-150
Modulus	Gpa x 10 Ib/in ²	300-380	440	300	380	340	435

3. Belanda.

Tipe rompi tahan peluru yang diproduksi oleh Belanda adalah rompi tahan peluru level IV.

Data Teknisnya adalah:

a. Bagian depan:

- Dynema : 34 lapis
- Keramik: 300 x 250 x 15 mm, berat 3,43 kg

- b. Bagian belakang:
 - Dynema: 34 layer
- c. Berat rompi total : 5,92 kg

4. Korea Selatan. Tipe rompi tahan peluru yang diproduksi adalah rompi peluru level IV bahan balistik kevlar.

Data teknisnya adalah:

- b. Bagian depan:
 - Kevlar : 32 lapis
 - Keramik: 294 x 248 x 13 mm, berat 3,0 kg
- b. Bagian belakang:
 - Dynema: 32 lapis
 - Keramik: 294 x 248 x 13 mm, berat 3,0 kg
- c. Berat rompi total : 6 kg

Untuk rompi taktis bagi rompi tahan peluru untuk militer dan polisi tipe IIA maksimal beratnya adalah 3,2 kg dan tipe II maksimal 3,5kg. Dimana ketentuan rompi tersebut seperti dalam Tabel 2.7 berikut ini [1].

Tabel 2.6 Ketentuan Rompi Taktis Tahan Peluru untuk Militer dan Polisi

Tipe rompi	IIA	II	IIIA	III	IV
Berat (kg)	3,2	3,5	3,8	4,1	5,2

Persyaratan rompi taktis yang ergonomis dikembangkan adalah rompi yang terdiri dari ciri-ciri berikut:

- Dapat menahan peluru kecepatan tinggi seperti: 7.62x39 PS M43 (AK-47), 6.62 x 51 NATO Ball, 5.56x45 M193
- Mempunyai kemampuan dalam menahan serangan beruntun (*multi hit*).
- Tidak membatasi gerak senjata sewaktu dipakai berdiri, jongkok dan merayap.
- Nyaman dipakai sewaktu berlari dan berjalan.
- Desain yang ergonomis yaitu rompi yang fleksibel untuk pemakai selama keadaan perang dan juga pengaman ekstra untuk Ginjal.

- Tahan air
- Rompi yang ultra ringan dengan menggunakan material tahan peluru yang maju [21].



Gambar 2.8 Seorang tentara sedang memakai rompi tahan peluru



(a) (b)

Gambar 2.9 (a) Rompi tanpa cover, (b) Rompi saat dipakai

2.3.2 Tipe Rompi Tahan Peluru

Menurut standar National Institute of Justice, USA, rompi anti peluru dikelompokkan dalam tujuh tipe didasarkan pada kemampuannya menahan peluru dari senjata. Dimana kekuatan serangan balistik dari peluru dipengaruhi oleh bentuk, kaliber dan kecepatan peluru. Adapun ketujuh tipe tersebut adalah seperti dalam tabel berikut ini [23].

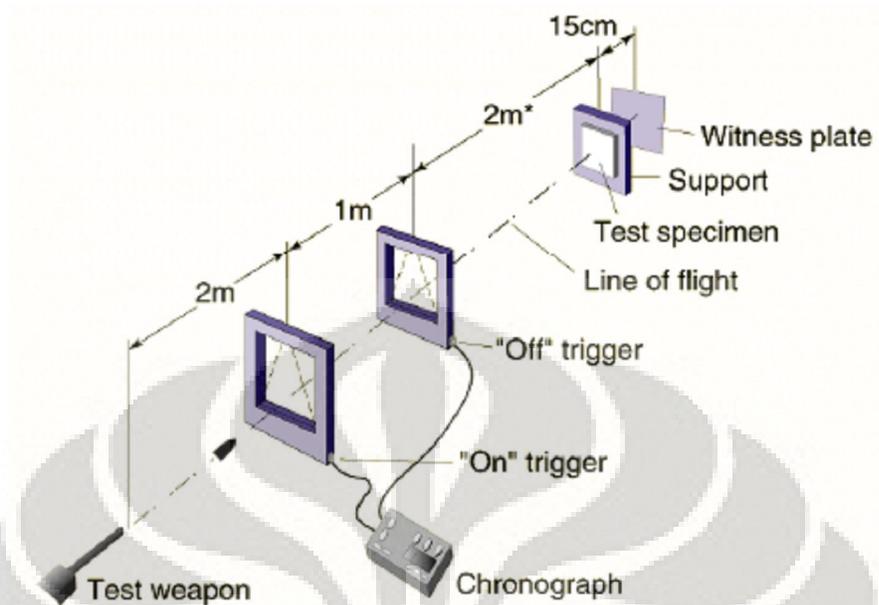
Tabel 2.7 Tipe Rompi Tahan Peluru

Tipe Rompi	Variabel Uji		
	Uji Amunisi	Massa Minimum Peluru	Kecepatan Minimum Peluru
I	.38 Special Round Nose	10,2 g 158 gr	259 m/s (850 ft/s)
	.22 Long Rifle High Velocity	2,6 g 40 gr	320 m/s (1050 ft/s)
IIA	.357 Magnum Jacketed Soft Point	10,2 g 158 gr	381 m/s (1250 ft/s)
	9 mm Full Metal Jacketed	8,0 g 124 gr	332 m/s (1090 ft/s)
II	.357 Magnum Jacketed Soft Point	10,2 g 158 gr	425 m/s (1395 ft/s)
	9 mm Full Metal Jacketed	8,0 g 124 gr	358 m/s (1175 ft/s)
IIIA	.44 Magnum Lead Semi-Wadcutter	15,55 g 240 gr	426 m/s (1400 ft/s)
	9 mm Full Metal Jacketed	8,0 g 124 gr	426 m/s (1400 ft/s)
III	7.62 mm (308 Winchester) Full Metal Jacketed	9,7 g 150 gr	838 m/s (2750 ft/s)
IV	30-60 Armor Piercing	10,8 g 166 gr	868 m/s (2850 ft/s)
Tipe Khusus	Spesifikasi dari pengguna		

Sumber : NIJ 100-98, 1998

Dalam pengujian rompi tahan peluru, sudut penembakan antara laras senjata dengan sasaran adalah 0°. Hasil yang diharapkan bahwa kedalaman deformasi maksimum adalah 44 mm (1,73 in).

Sementara untuk susunan peralatan dalam pengujian balistik untuk rompi tahan peluru didasarkan pada NIJ Standard-0101.03. Rangkaian peralatan dalam pengujian balistik adalah seperti Gambar 2.13.



Gambar 2.10 Susunan peralatan uji balistik

Standar jarak dan tipe senjata:

- A- 5 m untuk tipe I, II-A, II dan II-A; 15m untuk tipe III dan IV.
- B- 2 m minimum untuk tipe I, IIA, II, dan III-A; 12 m minimum untuk tipe III dan IV
- C- Sekitar $1,5 \text{ m} \pm 6 \text{ mm}$.

2.3.3 Cara Kerja Baru Tahan Peluru

Ketika peluru menerjang baju tahan peluru, peluru tertangkap didalam jaring serat mengabsorsi dan mendispersi energi dari benturan, menyebabkan peluru akan terdeformasi ke bentuk pesek/cendawan (*mushroom*).

Deformasi proyektil yang signifikan diteliti ketika mencoba spesimen grafit. Deformasi akan semakin signifikan jika digunakan kecepatan proyektil yang lebih besar, dibawah lapisan pertama tingkat penetrasi; (a) 0 ft/sec (b) 605 ft/sec (c) 665 ft/sec (d) 781 ft/sec (e) 833 ft/sec



Gambar 2.11 Bentuk Deformasi Proyektil

Beberapa mode kerusakan pada komposit dari hemp setelah diuji dengan balistik, menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan proyektil, maka mode kerusakan akan semakin besar.

2.4 BALISTIK

Balistik adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang perjalanan peluru (*proyektil*) ketika ditembakkan dari suatu senjata. Perjalanan tersebut meliputi perjalanan di dalam laras senjata (*internal ballistics*), perjalanan di udara hingga menyentuh target (*external ballistics*), dan perjalanan melalui target jika terjadi penetrasi (*Terminal Ballistics*).

2.4.1 Internal Ballistics

Internal balistik adalah perjalanan peluru di dalam laras senapan. Peluru terdiri atas dua bagian, yaitu selongsong peluru yang berisi amunisi dan peluru itu sendiri. Pelatuk yang ditekan menghasilkan percikan api yang membakar amunisi [24]. Amunisi yang terbakar menghasilkan gas, yang dapat mencapai tekanan 40000 psi (pada pistol) atau 70000 psi (pada senapan).

2.4.2 External Ballistics

External ballistics adalah perjalanan peluru sejak keluar dari laras hingga mengenai target. Ada beberapa persamaan yang digunakan untuk menggambarkan *external ballistics*:

1. Energi Kinetik (EK)

$$EK = 0,5 MV^2 \quad (2.1)$$

2. Kinetik pulse (KP)

Besaran ini menunjukkan tingkat besarnya volume kawah yang dapat terbentuk jika target terkena peluru.

$$KP = EK \times P \quad (2.2)$$

Dimana :

$$P = M \times V$$

Peluru tidak melaju dalam jalur yang lurus hingga ke target, namun keberadaan efek rotasi menjafa peluru agar tetap berjalan pada sumbu yang lurus. Sepanjang perjalanannya, peluru akan menghadapi hambatan udara.

2.4.3 Terminal Ballistics

Peluru merusak targetnya, karena energi kinetik yang dimilikinya. Ada tiga cara proses perusakan target [2]:

1. Mengoyak dan menghancurkan. Hal ini dilakukan oleh peluru berkecepatan rendah dari pistol, dengan kecepatan kurang dari 1000 ft/s. Proses pengoyakan dikenal sebagai peristiwa penetrasi.
2. Melubangi. Hal ini dihasilkan oleh peluru yang berkecepatan di atas 1000 ft/s. Hal ini disebut juga sebagai perforasi.
3. Gelombang kejut yang menekan medium udara, namun hanya terjadi dalam beberapa mikrosekson.

Tipe *plugging* dihasilkan oleh proyektil tumpul dengan hidung hemispherical pada kecepatan mendekati balistik limit. Lubang yang dihasilkan memiliki diameter hampir sama dengan diameter proyektil. Kerusakan radial biasanya terjadi pada material keramik, tidak menghasilkan lubang seperti *plugging*, dan merupakan hasil perforasi proyektil berujung tajam. Kerusakan *petaling* dihasilkan dari radial dan *circumferential stress* setelah terjadinya gelombang kejut awal. Kerusakan ini diperoleh dari proyektil berujung ogiv atau *conical* pada kecepatan rendah, atau dari proyektil tumpul dengan kecepatan mendekati balistik limit. Kerusakan tipe *fracture* dihasilkan dari gelombang kejut awal yang melebihi batas kekuatan material yang biasanya berdensitas rendah. Kerusakan *radial fracture* menunjukkan adanya retakan di bagian belakang target, ketika terjadi penetrasi proyektil. Kerusakan tipe *brittle fracture* adalah terbentuknya retakan-retakan pada target yang tertumbuk proyektil. Pada kesusakan tipe fragmentasi, target yang terkena proyektil akan terlepas menjadi bagian-bagian yang lebih kecil.

Ketika suatu material terkena proyektil maka energi *impactnya* akan terdisinasi di suatu area yang kecil. Stress yang ditimbulkan akibat benturan akan menggeser material di sekitar proyektil dan terbentuk suatu lubang dengan

diameter lebih besar daripada diameter peluru. Mekanisme ini disebut sebagai *shear plug*.

Besarnya energi peluru yang terserap oleh target dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E \text{ absorbed} = 0,5 M (V_{in}^2 - V_{out}^2) \quad (2.3)$$

Kecepatan ini dapat diukur dengan alat pencatat kecepatan atau *cronograph*, namun dapat juga ditentukan melalui persamaan empirik, yaitu melalui penentuan besaran V_{50} . V_{50} adalah suatu besaran yang menyatakan kecepatan peluru dimana terdapat 50% kemungkinan dapat menembus target. Besaran ini juga dikenal sebagai *ballistic velocity limit* (VI). Besaran ini diperoleh dengan menghitung rata-rata kecepatan peluru yang mampu menembus target dan kecepatan yang tidak mampu menembus target.

Jonas A Zukas, dll mengembangkan suatu persamaan untuk mengukur besaran V_{50} ini, yaitu

$$VI = \sqrt{\alpha \frac{L}{D}^c} \sqrt{f(z) \frac{D^3}{M}} (m/s) \quad (2.4)$$

dimana
$$z = \frac{T(\sec\theta)^{0.75}}{D} \quad (2.5)$$

dan
$$f(z) = z + e^{-z} - 1 \quad (2.6)$$

Jika penembakan dilakukan tegak lurus dengan target, maka $\theta = 0^\circ$ dan $\sec 0^\circ = 1$. parameter c diperoleh dari data base yang dikembangkan oleh Lambert, yaitu bernilai 0.3. namun besaran α spesifik untuk setiap material target. Dari VI ini dapat ditentukan besarnya V_r (V_{out}) dengan persamaan :

$$V_r = 0 \text{ jika besar } V_s \text{ antara } 0 \text{ sampai dengan } VI \quad (2.7)$$

$$V_r = a(V_s^p - VI^p)^{1/p}, \text{ jika } V_s > VI \quad (2.8)$$

dimana:

$$a = M / (M + (M'/3)) \quad (2.9)$$

$$p = 2 + (z/3) \quad (2.10)$$

$$M' = \rho \cdot \mu \cdot D^3 \cdot z/4 \quad (2.11)$$

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang peralatan, bahan yang digunakan dalam penelitian, diagram alir penelitian, serta prosedur yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini.

3.1 RANCANGAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dilaksanakan beberapa tahapan penelitian, yaitu:

A. Penyediaan Keramik Tahan Peluru

Keramik dibuat dengan cara mencampurkan bahan yang digunakan, yaitu alumina sebagai bahan utama agar kekuatannya tinggi, lalu felspar, clay, dan additif.

B. Pembuatan Komposit Berbahan Dasar Serat Abacca dan Epoksi

Komposit yang dibuat sama dengan komposit yang dibuat pada penelitian sebelumnya, yaitu komposit serat abacca dengan resin epoksi yang telah mampu menahan terjangan peluru level II.

C. Penggabungan Komposit Serat Abacca dengan Keramik Tahan Peluru

Keramik tahan peluru yang kemudian digabungkan dengan komposit berbahan dasar abacca yang mampu menahan peluru level II dan diharapkan mampu menahan terjangan peluru level IIIA

D. Uji Balistik Level IIIA

Pengujian dilakukan di PINDAD Bandung dengan menggunakan senjata level IIIA.

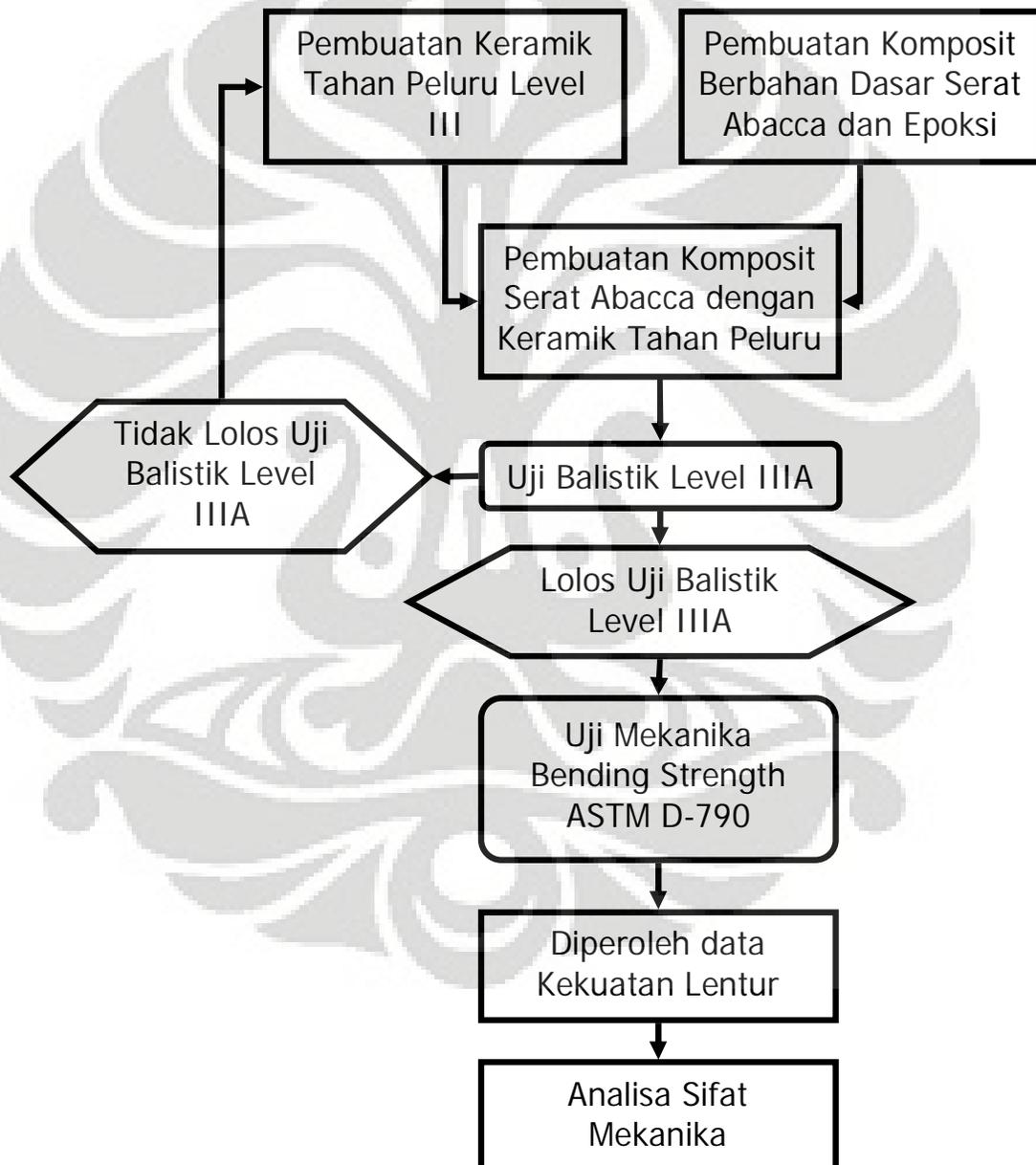
E. Uji Mekanika Komposit

Jika komposit sudah dapat menahan terjangan peluru level IIIA, kemudian dilanjutkan pembuatan sample untuk menguji sifat mekanika dari komposit tersebut, yaitu *bending strength* (uji kelenturan). Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menahan beban maksimum. Dari data yang diperoleh dari uji kelenturan akan dianalisa sifat mekanika dari komposit tersebut.

G. Analisa Sifat Mekanika

Dari hasil uji balistik level IIIA dan sifat mekanika komposit, maka dibuat analisis tentang korelasi dari ketiga hal tersebut. Bagaimana korelasi antara sifat mekanika komposit dengan kemampuan komposit untuk dapat menahan terjangan peluru level IIIA.

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian

3.2 PERALATAN DAN BAHAN PENELITIAN

3.2.1 Bahan untuk Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini terdiri dari bahan untuk pembuatan keramik, pembuatan komposit, dan bahan untuk uji balistik. Bahan-bahan tersebut antara lain :

1. Serat Abaca yang telah dianyam



Gambar 3.2. Serat abaca anyam biasa dan anyam kepeng.

Serat yang digunakan adalah serat yang didapat dari bagian batang pisang. Jenis serat yang dipakai adalah serat yang belum mengalami proses penyambungan, dan memiliki panjang antara 40 cm hingga 80 cm. Serat ini berfungsi sebagai *reinforcement* (penguat) pada pelat komposit tahan peluru, setelah dianyam terlebih dahulu.

Serat abaca yang digunakan telah dianyam langsung oleh Toko Ridaka, Pekalongan, dibuat dalam ukuran 31x31cm. Anyaman yang digunakan ada 2 jenis, yaitu anyaman biasa (silang) dan anyaman kepeng yang lebih tebal.

2. Resin Epoksi dan *Hardener*



Gambar 3.3. Resin Epoksi dan *Hardener*

Resin epoksi yang digunakan adalah tipe epoksi berbasis bisphenol A. Resin epoksi berfungsi sebagai matriks bagi pelat komposit tahan peluru. Sedangkan *hardener* berfungsi untuk mengeraskan resin epoksi melalui reaksi *curing*. Massa *hardener* yang digunakan adalah sama dengan massa resin, karena digunakan perbandingan 1:1 antara resin dengan *hardener*nya.

3. Mirror Glaze



Gambar 3.4. Mirror Glaze

Mirror glaze berfungsi sebagai *release agent* agar setelah resin mengering, komposit yang telah jadi dapat dilepas dari alasnya saat pengepressan.

4. Keramik



Gambar 3.5. Keramik 30x30cm tebal 7mm

Keramik yang digunakan dibuat dengan bahan dasar alumina yang memiliki sifat yang kuat sebagai bahan utama, kemudian felspar untuk

menurunkan titik lebur keramik, clay dan kemudian ditambahkan additif agar kekuatan mekanik keramik tinggi.

5. Peluru untuk senjata kaliber 9 mm

Peluru ini berjenis *full metal jacket*, digunakan untuk keperluan uji balistik. Peluru ini memiliki massa 8 gr, diameter 9,02 mm, dan kecepatan sebesar 380 m/sec.



Gambar 3. 6. Peluru *Full Metal Jacketed* Kaliber 9mm

6. Lilin

Lilin digunakan untuk menopang spesimen ketika dilakukan uji balistik, dan juga untuk mengetahui tingkat penetrasi yang terjadi pada pelat komposit tahan peluru. Lilin yang digunakan untuk penelitian ini sudah disediakan oleh PT PINDAD. Lilin yang digunakan setebal 5 cm.



Gambar 3. 7. Lilin untuk *Backing Material*

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu peralatan pembuatan komposit, peralatan untuk pengujian balistik dan peralatan untuk analisa.

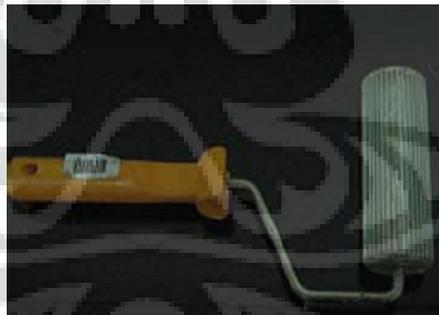
1. Kuas



Gambar 3.8. Kuas

Kuas berfungsi untuk mengolesi serat dengan resin. Kuas yang digunakan berukuran 1 in dan 2 in.

2. Roller



Gambar 3.9. Roller

Roller berfungsi untuk meratakan lapisan resin yang telah dioles pada serat, dan juga untuk mengeluarkan udara yang terperangkap pada lapisan serat dan resin.

4. Neraca

Neraca yang digunakan memiliki pengukuran maksimum hingga 10 kilogram, dan ketelitian 1 gram.

5. Keramik Alas



Gambar 3.10. Keramik 40x40cm tebal 8mm

Keramik berfungsi sebagai alas pada saat pengepressan komposit. Ukuran keramik yang digunakan adalah 40 cm x 40 cm.

6. Pelat Aluminium



Gambar 3.11. Pelat Aluminium

Pelat aluminium ini digunakan sebagai alat bantu pengepressan agar saat pengepressan keramik tidak pecah. Dimensi pelat aluminium ini 30x30 cm dengan tebal 1 cm.

7. Alat Press Hidrolik



Gambar 3.12. Alat Press Hidrolik

Alat press yang digunakan ada 2 jenis, yaitu merk WIPRO dengan kapasitas 10 Ton, dan merk TIGER dengan kapasitas 20 Ton.

8. Wadah untuk mencampur resin dengan *hardener*nya



Gambar 3.13. Wadah untuk mencampur resin

9. Peralatan lainnya, seperti gunting, tang, kape, obeng, dll.



Gambar 3.14. Peralatan Lain-lain

B. Peralatan Uji Balistik

1. Senjata Test

Senjata test yang digunakan adalah kaliber Pistol G2 kaliber 9x19mm, dan Senjata PM2V1. Senjata ini diproduksi oleh PT PINDAD.



Gambar 3.15. Pistol G2 dan Senjata *Submachine* PM2V1

Tabel 2I.1. Spesifikasi Senjata PM2-V1

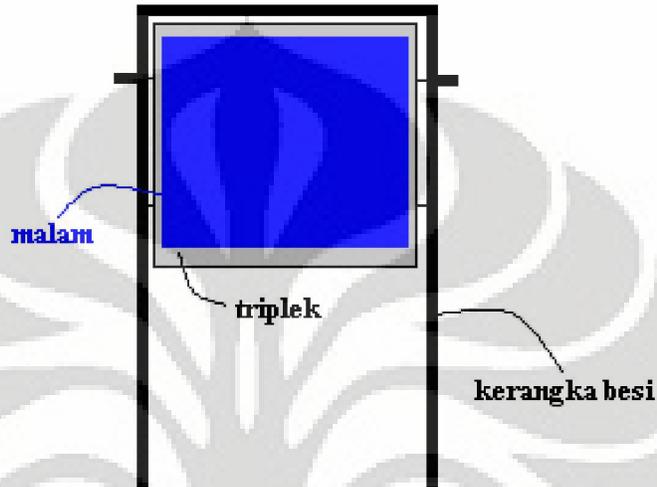
Kaliber	9 mm
Berat Tanpa Magasen	2, 90 kg
Berat Dengan Magasen	3, 18 kg
Panjang popor terentang	625 mm
Panjang popor terlipat	417 mm
Tinggi senjata dengan magasen	270 mm
Tinggi senjata tanpa magazen	225 mm
Lebar	70 mm
Panjang laras	195 mm
Alat bidik	Ajustable
Sistim kerja	Blow back
Isi magasen	20
Sistim tembakan	Semi-Automatic, Double

Tabel 2I.2. Spesifikasi Senjata PG2

Calibre	9 x 19 mm Parabellum
Barrel Length	100 mm
Overall Length	177 mm
Capacity	15 Rounds
Weight	0.8 kg
Sight	3 Dot Fixed
Firing Mode	Single, Safe
Locking	Intercept Notch & Hammer Block
Finishing	Black/Gray

2. Support Fixture

Support fixture adalah perangkat yang disusun untuk menopang pelat agar tetap berdiri tegak ketika dilakukan uji balistik. Pelat ini tersusun dari kerangka besi, balok kayu setebal 4 cm dan papan triplek yang berfungsi untuk menahan lilin.



Gambar 3.16. *Support Fixture*

C. Peralatan Analisa

1. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter kawah yang terbentuk akibat tembakan.

2. Mistar

Mistar digunakan untuk mengukur dimensi panjang dan lebar pelat komposit, serta untuk melakukan pengukuran lainnya yang tidak memerlukan akurasi terlalu tinggi.

3. Mikrometer Sekrup

Mikrometer skrup digunakan untuk mengukur ketebalan pelat komposit tahan peluru.

3.3 TEMPAT PELAKSANAAN PENELITIAN

1. Tempat pembuatan keramik

Keramik dibuat di PT Intikeramik Alamasri, Tangerang

2. Tempat Pembuatan Pelat Komposit

Pembuatan pelat komposit dilaksanakan di belakang jurusan Teknik Kimia, Laboratorium Energi Berkelanjutan, yang terletak di Gedung B lantai 4, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3. Tempat Pengujian Balistik

Pengujian Balistik dilakukan di area pengujian milik PT Perindustrian Angkatan darat (PINDAD), Bandung.

4. Tempat Pengujian Mekanika

Pengujian mekanika kekuatan lentur dilakukan di Departemen Material dan Metalurgi FTUI

5. Tempat Analisa

Analisa dilakukan di Laboratorium Energi Berkelanjutan Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.4 PROSEDUR PENELITIAN

1. Pembuatan Pelat Komposit Tahan Peluru

Proses pembuatan komposit tahan peluru yang dipilih adalah *hand lay up* (wet processing). Keuntungan proses ini adalah prosesnya yang murah dan sederhana, sehingga tidak membutuhkan peralatan yang kompleks. Disamping itu, proses ini juga sangat sesuai dengan bentuk *reinforcement* yang sudah berbentuk anyaman. Pelat komposit yang dibuat diharapkan dapat menjadi pelat komposit tahan peluru tipe III.

Tahapan pembuatan pelat komposit tahan peluru adalah sebagai berikut :

- Persiapan alas untuk pembuatan komposit



Gambar 3.17. (a) Keramik dioleskan Mirror Glaze hingga rata

(b) Keramik telah ditempatkan di wadah kertas

Pertama-tama keramik diolesi oleh Mirror Glaze terlebih dahulu, kemudian mempersiapkan wadah koran agar saat di-press resin yang berlebih tidak tumpah dan mengotori lantai.

- Pencampuran resin dengan *hardener*



Gambar 3.18. (a) Resin dituang dengan perbandingan 1:1
(b) Resin telah tercampur hingga rata

Resin dan *hardener* dicampur dengan perbandingan 1:1 dengan menggunakan wadah baskom plastic, lalu diaduk hingga benar-benar rata

3. Resin dituang dan diratakan



Gambar 3.19. (a) Keramik dioleskan Mirror Glaze hingga rata
(b) Keramik telah ditempatkan di wadah kertas

Resin yang telah tercampur lalu dituang ke alas keramik lalu diratakan dengan kuas

4. Peletakan anyaman abaca



Gambar 3.20. (a) Abaca diletakkan diatas resin yang telah diratakan
(b) Menuangkan resin diatas anyaman abaca
(c) Resin yang dituang kembali diratakan

Setelah Resin diratakan dengan kuas pada alas keramik, anyaman abaca pertama diletakkan, kemudian ditekan dengan roller agar udara keluar, kemudian dituangkan resin untuk lapisan berikutnya, kemudian diratakan lagi. Proses ini diulang hingga mencapai jumlah lapisan anyaman abaca yang diinginkan.

5. Peletakan keramik



Gambar 3.21. Keramik diletakkan diatas lapisan abaca

Setelah lapisan abaca mencapai jumlah yang diinginkan, keramik diletakkan diatas lapisan abaca terakhir yang juga telah diberi resin.

6. Pengepressan



Gambar 3.22. Proses pengepressan

Setelah keramik diletakkan, kemudian komposit beserta alasnya dipindahkan kea lat press untuk dilakukan proses pengepressan. Sebelum di press, pelat aluminium diletakan dibawah alas keramik, juga diatas lapisan keramik paling atas agar keramik tidak pecah saat diberi beban. Pengepressan dilakukan dengan beban 15-25 kg atau $1700-2834 \text{ N/m}^2$ untuk luas area keramik $29,4 \times 29,4 \text{ cm}$.

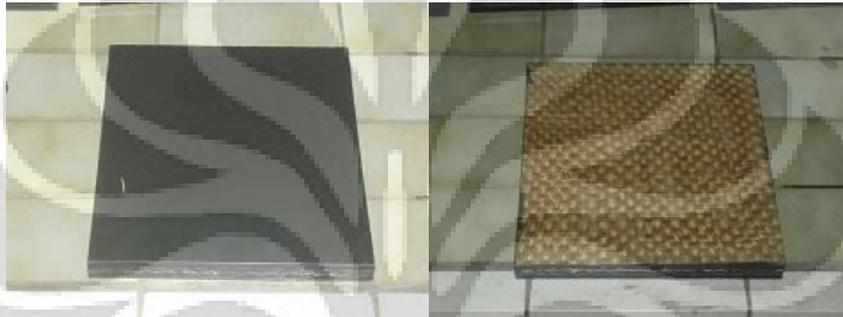
7. Pengeringan dan sentuhan terakhir



Gambar 3.23. (a) Komposit yang telah kering tampak depan
(b) Komposit yang telah kering tampak belakang

Setelah di press hingga jarum tekanan pada alat press tidak turun lagi, komposit dibiarkan 2-3 hari hingga mengering dan epoksi telah mengeras. Kemudian komposit dilepaskan dari alas keramik, kemudian kelebihan resin dan abaca dipotong dengan menggunakan gerinda.

- Komposit didiamkan hingga mengeras selama kurang lebih 12 jam. Proses pengerasan dilakukan pada suhu dan tekanan ruang.



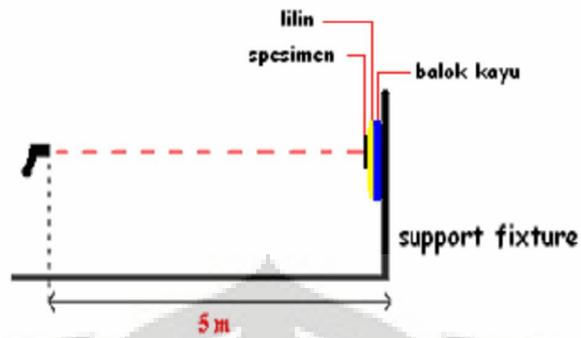
Gambar 3.24. Produk Akhir (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

- Melakukan penimbangan terhadap pelat komposit yang sudah jadi, dan melakukan perhitungan fraksi berat dan fraksi volume dari masing-masing pelat.
- Memotong kelebihan resin di bagian pinggir serat, dengan menggunakan gerinda.

4. Uji Balistik Level IIIA

Uji balistik yang dilakukan menggunakan standar yang biasa digunakan oleh PT PINDAD. Tahapan uji balistik adalah sebagai berikut

- Memasang kantung di *support fixture*.
- Melakukan penembakan terhadap masing-masing pelat dari jarak 5 meter, dengan menggunakan senjata level IIIA. Penembakan dilakukan manual oleh penembak jitu dari PT. PINDAD



Gambar 3.25. Sketsa Proses Penembakan

- Penembakan dilakukan pada bagian depan pelat pada kondisi kering, dengan jumlah tembakan untuk masing-masing pelat sebanyak dua kali, yaitu di bagian tengah dan tepi.
- Mengamati hasil penembakan, apakah pelat komposit tertembus peluru atau tidak. Pelat yang tidak tertembus peluru dianggap sebagai pelat yang berhasil.
- Mengamati dan mengukur besarnya kawah yang terbentuk pada lilin di *support fixture* secara visual, dan mengamati bentuk peluru yang terdeformasi.

5. Analisa Hasil Uji Balistik

Analisa hasil uji balistik meliputi pengukuran diameter kawah yang terbentuk, dan mengamati bentuk kerusakan pada pelat komposit, seperti keberadaan retakan akibat tembakan.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi hasil dari pembuatan pelat komposit, pengujian balistik, serta beberapa analisa yang berkaitan dengan hasil tersebut.

4. 1 PEMBUATAN PELAT KOMPOSIT TAHAP I

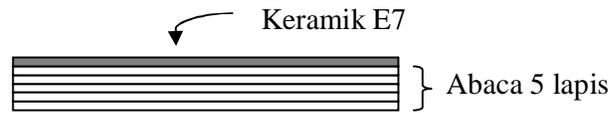
Pelat komposit dalam penelitian ini dibuat dengan metode *hand lay up* (*wet processing*). Metode ini dipilih karena sesuai dengan bentuk serat yang dalam bentuk anyaman. Bentuk serat untuk pembuatan komposit sengaja dibuat dalam bentuk anyaman karena dapat meningkatkan ketebalan pada setiap lapisannya, serta menghasilkan kekuatan fisik ke segala arah, khususnya ketahanan *impact*. Akan tetapi bentuk anyaman menyebabkan serat sulit terbasahi oleh resin dan mudah menjebak udara. Sudut orientasi anyaman adalah 0° dan 90° . Pemilihan orientasi sudut ini hanya untuk kemudahan fabrikasi saja. Pada dasarnya kekuatan anyaman akan lebih besar jika arah anyaman *multidirectional* (ke banyak arah) [7].

Komposisi massa resin epoksi dan *hardener*nya adalah 1:1. Hal ini sesuai dengan literatur bahwa reaksi stoikiometri antara resin epoksi dan *hardener*nya menghasilkan perbandingan massa 1:1 [11]. Selain itu dalam penelitian sebelumnya telah terbukti bahwa perbandingan komposisi ini mampu digunakan untuk komposit tahan peluru. [26], [12].

Pada pembuatan komposit tahap I ini dilakukan variasi terhadap keramik yang digunakan, yaitu keramik 7mm, 8mm, serta variasi anyaman jenis keping yang dipadukan dengan keramik 8mm. Keramik 8mm digunakan untuk meningkatkan kekuatan lapisan keramik agar pelat dapat digunakan untuk menahan kekuatan yang lebih besar, yaitu terjangan peluru level IIIA

Konfigurasi anyaman dan keramik yang dibuat adalah sebagai berikut :

- Komposit AB5E7 : lima lapis abacca dan keramik E7 :



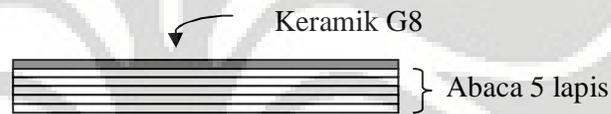
Gambar 4. 1. Konfigurasi Anyaman Komposit AB5E7

- Komposit AB5E8 : lima lapis abacca dan keramik E8 :



Gambar 4. 2. Konfigurasi Anyaman Komposit AB5E8

- Komposit AB5G8 : lima lapis abacca dan keramik G8 :



Gambar 4. 3. Konfigurasi Anyaman Komposit AB5E7

- Komposit AK3E8 : tiga lapis abacca keping dan keramik E8 :



Gambar 4. 4. Konfigurasi Anyaman Komposit AK3E8

Komposit AB5E7 dibuat 2 buah, satu untuk pengujian balistik level II, sedangkan satu lagi untuk pengujian balistik level IIIA

Penjelasan mengenai kode yang digunakan:

Jenis anyaman - Jumlah lapisan - Jenis keramik - Tebal keramik (mm)

AB= Abacca anyam biasa (silang)

AK= Abacca anyam keping

E = Keramik jenis E

G = Keramik jenis G

Setiap kali anyaman diletakkan di atas resin, dilakukan proses *rolling* terhadap anyaman tersebut, dengan tujuan untuk membuat resin meresap pada serat dengan merata, serta untuk mengeluarkan udara yang terjebak di dalam serat. Reaksi *curing* pada resin ditandai dengan munculnya panas. Ini terjadi setelah kurang lebih 30 menit setelah pencampuran resin dan *hardener* terjadi. Pengerasan sempurna diperkirakan terjadi kira-kira lima jam setelah proses pencetakan selesai. Proses *curing* dilakukan pada temperatur ruang karena *hardener* yang digunakan adalah jenis poliamida. Jika proses *curing* dilakukan pada suhu tinggi, dikhawatirkan akan muncul komponen-komponen volatil yang berbahaya.

Setelah komposit selesai dibuat, kemudian dilakukan perhitungan berat jenis pelat, fraksi massa dan fraksi volume dari serat dan resin. Perhitungan ini dilakukan setelah pelat komposit selesai dibuat, tidak dilakukan perencanaan dari awal mengenai berapa fraksi komponen penyusunnya. Hal ini karena penggunaan komponen serat yang berupa anyaman, yang menyulitkan pendistribusian resin. Jika massa serat dan resin ditentukan dari awal, akan terjadi distribusi resin yang tidak merata terutama pada bagian atas pelat (lapisan terakhir). Hal ini terjadi pada pembuatan pelat komposit dengan dua lapisan serat anyaman. Pada pelat ini diharapkan fraksi massa serat sebesar 30% dan fraksi massa resin sebesar 70%. Namun dari hasil perhitungan terdapat deviasi hingga 4,4% yang disebabkan oleh banyak factor seperti udara yang terperangkap dalam serat, penekanan yang tidak konstan dan sebagainya.

Proses pembuatan komposit tahap I dilaksanakan pada bulan Maret hingga Mei 2009. Tabel massa bahan baku yang digunakan, dimensi pelat komposit yang dihasilkan, dan hasil perhitungan fraksi pelat dan fraksi volumenya dapat dilihat pada Tabel A.1 pada lampiran.

Dari tabel tersebut, dapat terlihat bahwa jumlah lapisan berbanding lurus dengan massa pelat, volume pelat, fraksi volume dan massa jenis pelat. Namun, tidak demikian dengan fraksi massa. Penekanan oleh alat press berfungsi untuk meratakan permukaan pelat komposit, memadatkan komposit dan juga untuk mengeluarkan udara yang tertahan di dalam lapisan-lapisan pada komposit.

Ketika kelebihan resin di tepi pelat dipotong, ternyata ada bagian yang sangat lunak dan mudah dipotong, namun ada pula bagian yang cukup keras sehingga sulit dipotong. Ini terjadi karena proses pencampuran resin dan *hardener* yang tidak merata, sehingga ada bagian yang kaya *hardener* dan lebih keras. Proses pencampuran resin dan *hardener* dilakukan hanya dengan menggunakan batang sumpit, sehingga tidak dapat dipastikan apakah distribusi resin dan *hardener*nya sudah merata atau belum.

4. 2 PENGUJIAN BALISTIK TAHAP I

Pengujian balistik bertujuan untuk melihat performa dari pelat komposit tahan peluru. Pengujian balistik dilakukan pada tanggal 21 Juli 2009 di area pengujian di lapangan terbuka milik Divisi Persenjataan PT PINDAD. Penembakan pelat dilakukan pada bagian tengah dan tepi. Hal ini dilakukan untuk memperoleh hasil yang valid dari pelat komposit tersebut. Selain itu, dalam pembuatan pelat komposit mungkin terjadi ketidakseragaman komposisi komposit di bagian tengah dan tepi, maka pengujian di dua tempat ini pun dapat melihat apakah kekuatan komposit tersebut seragam. Penembakan hanya dilakukan dari satu sisi saja dan hanya pada kondisi kering. Bagian pelat yang ditembak adalah bagian pelat yang mengandung sedikit *void* dan memiliki tingkat kemulusan yang cukup baik, karena keberadaan *void* akan mengurangi kekuatan pelat, sedangkan pelat yang tidak mulus menunjukkan adanya ketidakseragaman komposisi material, dan akan menurunkan kekuatan fisik [7]. Pelat dianggap berhasil jika peluru tidak dapat menembusnya dan tidak menghasilkan kawah pada *backing material* lebih dari 44 mm. [27].

Senjata yang digunakan adalah senjata pistol PG8, dan PM2 dengan menggunakan munisi PM1TJ 9x19mm. Kecepatan kedua senjata ini pada jarak 5 meter dari obyek masing-masing sebesar 358 m/s dan 426 m/s. Kecepatan ini dikategorikan sebagai kecepatan balistik karena berada di atas 245 m/s. Proyektil yang digunakan adalah proyektil berujung tumpul, sehingga ukuran lubang yang ditimbulkan lebih besar daripada diameter proyektil.

Hambatan udara pada *external* balistik diabaikan karena jarak penembakan yang relatif dekat (yaitu 5 meter), dan juga karena pengujian dilakukan pada

ruangan tertutup yang laju anginnya hampir tidak ada, sehingga diasumsikan bahwa kecepatan proyektil sejak keluar laras hingga menyentuh target bernilai konstan.

Ketika proyektil menumbuk dan memecahkan keramik, kemudian menumbuk lapisan pertama, energi proyektil tersebut masih cukup besar untuk memotong fiber dan mendorongnya sehingga terbentuk lubang. Proses ini dapat berlangsung pada setiap lapisan hingga energi proyektil mencapai tingkat terendahnya, dan fiber mampu menahan agar tidak terpotong. Pada proses ini, serat yang mengalami kontak dengan proyektil akan memicu terjadinya keretakan pada matriks dan menyebabkan ada bagian lapisan yang terlepas (delaminasi).

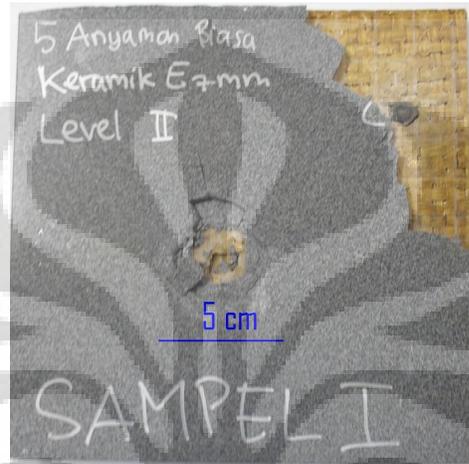
Lubang yang ditimbulkan di bagian depan arah tembakan berukuran lebih kecil daripada lubang di bagian belakang. Ini terjadi karena adanya akumulasi material dari bagian depan yang terdorong oleh proyektil, yang menambah kerusakan pada bagian belakang.

Kemampuan material untuk menahan peluru tidak semata-mata ditentukan oleh kekerasan bahan. Pelat komposit yang dibuat dalam penelitian ini tidak memiliki nilai kekerasan (tak terukur). Maka analisa dialihkan pada elastisitas material. Analoginya adalah karet. Ketika karet mengalami suatu benturan, maka karet tersebut akan meregang tanpa mengalami kerusakan. Namun jika karet tersebut sudah tak mampu lagi menahan gaya benturan, karet tersebut akan putus atau rusak. Begitu pula halnya dengan pelat komposit. Ketika pelat mengalami benturan dengan proyektil berenergi tinggi, pelat akan meregang, membentuk cekungan di bagian sisi belakang. Ketika pelat sudah tidak bisa menahan lagi, maka proyektil akan mampu menembus pelat, namun jika kekuatan pelat mampu menahan, maka proyektil tidak akan mampu menembus pelat.

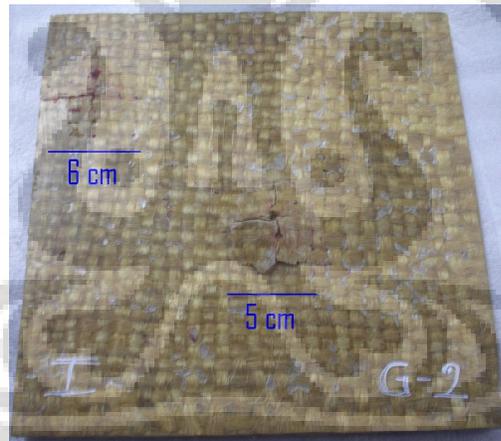
Elastisitas pelat tergantung pada ketebalan pelat, kondisi resin, dan kondisi serat, yang tergambarkan pada konstanta pegas. Simulasi elastisitas ini dapat dilihat pada bagian lampiran, dimana digunakan persamaan dasar pegas sebagai alat bantu untuk menganalisa pergerakan massa parsial pelat yang bergerak karena tumbukan proyektil.

4.2.1 Pelat Komposit AB5E7 untuk level II

Pelat ini tidak dapat ditembus oleh peluru 9mm dari pistol G2 (Level II), tembakan pertama menyebabkan kerusakan jenis *radial fracture*, sedangkan tembakan kedua di bagian sudut keramik menyebabkan keramik pada bagian sudut pecah dan dikategorikan mengalami kerusakan *fragmentation*.



Gambar 4. 5. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 pada Bagian Depan

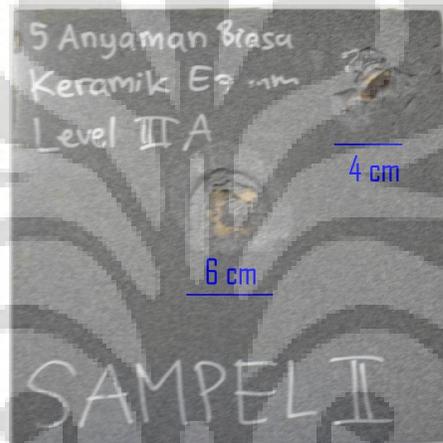


Gambar 4. 6. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 pada Bagian Belakang

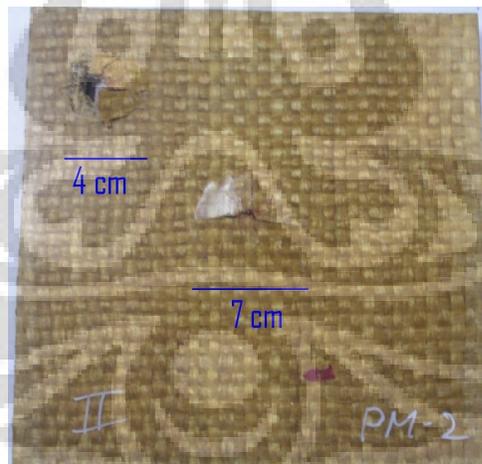
Kerusakan pada keramik terlihat menyerupai jaring laba-laba dengan diameter 5cm. Pada bagian belakang pelat terlihat adanya deformasi bentuk dimana serat abaca terlihat retak, namun belum sampai mengalami perforasi sehingga pelat ini dianggap mampu menahan terjangan peluru level II.

4.2.2 Pelat Komposit AB5E7 untuk level IIIA

Sebelumnya telah dipersiapkan Pelat dengan kualitas yang sama, untuk diuji apakah mampu untuk menahan terjangan peluru 9mm dari senjata PM2V1 (Level IIIA) yang memiliki kecepatan lebih tinggi. Tembakan dilakukan 2 kali, dan pelat komposit dapat menahan terjangan peluru pertama, namun di terjangan peluru kedua di bagian tepi, pelat tidak mampu menahan terjangan peluru, dan terjadi perforasi (tembus).



Gambar 4. 7. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 Bagian Depan



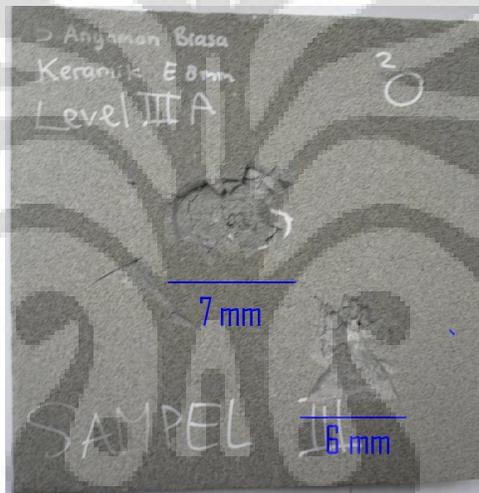
Gambar 4. 8. Hasil Penembakan Komposit AB5E7 pada Bagian belakang

Pada pengujian komposit ini, terjadi 2 hal yang berbeda pada pelat yang sama, dengan senjata yang sama. Hal ini dianalisa disebabkan oleh 2 hal, yaitu penyerapan resin oleh serat yang mungkin tidak rata, dan juga karena pada bagian

tengah, kekuatan pelat dibantu oleh *backing material* yaitu lilin pada bagian belakang, sedangkan pada bagian sudut, pelat tidak terbantu oleh *backing material* karena *backing material* berbentuk melengkung. Karena itu pelat ini dianggap tidak mampu menahan terjangan peluru Level IIIA

4.2.3 Pelat Komposit AB5E8 untuk level IIIA

Pelat ini memiliki lapisan serat abaca yang setara dengan sebelumnya, namun memiliki keramik yang lebih tebal, yang akan menambah kekuatan pelat tersebut. Setelah dilakukan 2 kali penembakan, pelat AB5E8 mampu menahan terjangan peluru 9mm dari senjata PM2V1.



Gambar 4. 9. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Depan



Gambar 4. 10. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Belakang

Deformasi yang terjadi pada bagian belakang pelat pun tidak terlalu parah, hanya terlihat sedikit retak, namun tidak sampai mengalami *fracture*. Pada bagian keramik terlihat pelat mengalami *radial fracture* dengan diameter 7cm dan 6cm, terlihat pula bahwa keramik mengalami keretakan yang cukup lebar, namun resin epoksi masih dapat menahan retakan tersebut tetap berada pada tempatnya.

4.2.4 Pelat Komposit AB5G8 untuk level IIIA

Pelat ini memiliki lapisan serat abaca yang setara dengan sebelumnya, namun memiliki keramik yang berbeda jenis, namun dengan ketebalan yang sama. Setelah dilakukan 2 kali penembakan, pelat AB5G8 mampu menahan terjangan peluru 9mm dari senjata PM2V1.



Gambar 4. 11. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Depan

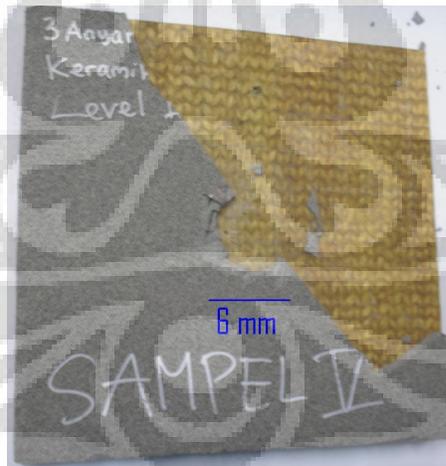


Gambar 4. 12. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Belakang

Pada tembakan pertama terlihat bahwa kerusakan pada bagian belakang tidak parah, hanya sedikit menggunung dan retak kecil, namun tidak mengalami retak besar atau *fracture*, namun pada penembakan kedua, terlihat ada *fracture* pada bagian belakang pelat dengan diameter 5cm, hal ini dikarenakan pada penembakan kedua pada bagian sudut, pelat tidak terbantu oleh *backing material*. Sedangkan pada bagian depan/keramik, tembakan pertama di bagian tengah menghasilkan *radial fracture*, dan sedangkan tembakan kedua di bagian sudut menghancurkan keramik. Meski begitu, peluru tidak menembus pelat ini, dan pelat AB5G8 ini dianggap mampu menahan terjangan peluru level IIIA.

4.2.5 Pelat Komposit AK3E8 untuk level IIIA

Pelat ini memiliki lapisan serat abaca yang setara berbeda dengan sebelumnya, yaitu 3 lapis serat abaca yang dianyam bentuk keping, yang menjadikan komposit ini menjadi lebih tebal, dan dikombinasikan dengan keramik E8. Setelah dilakukan 2 kali penembakan, pelat AB5E8 mampu menahan terjangan peluru 9mm dari senjata PM2V1, bahkan relatif tidak terlihat kerusakan pada bagian belakang pelat.



Gambar 4. 13. Hasil Penembakan Komposit AK3E8 pada Bagian Depan



Gambar 4. 14. Hasil Penembakan Komposit AB5E8 pada Bagian Belakang

Pada bagian depan pelat terlihat kerusakan jenis *radial fracture* pada tembakan pertama dengan diameter 6mm, namun pada tembakan kedua, terjangan peluru menghancurkan sekitar 40% bagian keramik, namun tidak membuat kerusakan apapun pada serat abaca. Setelah keramik pecah, dilakukan 1 kali tembakan lagi dibagian yang sudah tidak ada keramik, dan ternyata peluru dapat menembus komposit serat abaca, bahkan masih dapat menembus *backing material* dan *support fixture* dan menembus hingga tertahan gundukan pasir pengaman di belakang *support fixture*. Komposit ini dapat menahan terjangan peluru Level IIIA.

4. 3 PEMBUATAN PELAT KOMPOSIT TAHAP II [7]

Pembuatan pelat komposit tahap II ini bertujuan untuk menguji berapa jumlah lapisan abaca minimum jika digabungkan keramik agar dapat menahan terjangan peluru level II. Pelat yang dibuat tersusun dari 1 hingga 4 lapis anyaman serat abacca, kemudian dipadukan dengan keramik E7.

Pembuatan pelat komposit dilaksanakan pada tanggal bulan September hingga Oktober 2009, dengan proses yang sama dengan pembuatan komposit tahap pertama. Pada tahapan ini, pelat komposit dengan empat lapis anyaman yang dihasilkan diharapkan memiliki ketebalan dan fraksi massa yang sama dengan pelat yang dihasilkan pada tahap pertama.

Konfigurasi anyaman dan keramik yang dibuat adalah sebagai berikut :

- Komposit AB1E7 : satu lapis abacca dan keramik E7 :



Gambar 4. 15. Konfigurasi Anyaman Komposit AB1E7

- Komposit AB2E7 : lima lapis abacca dan keramik E7 :



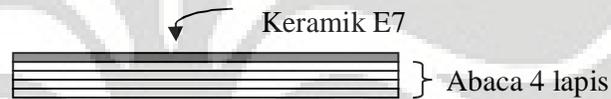
Gambar 4. 16. Konfigurasi Anyaman Komposit AB2E7

- Komposit AB3E7 : lima lapis abacca dan keramik E8 :



Gambar 4. 17. Konfigurasi Anyaman Komposit AB3E7

- Komposit AB4E7 : lima lapis abacca dan keramik E7 :



Gambar 4. 18. Konfigurasi Anyaman Komposit AB4E7

Tabel massa bahan baku yang digunakan, dimensi pelat komposit yang dihasilkan, dan hasil perhitungan fraksi pelat dan fraksi volumenya dapat dilihat pada Tabel A.2 pada lampiran.

4. 4 PENGUJIAN BALISTIK TAHAP II

Pengujian balistik bertujuan untuk melihat performa dari pelat komposit tahan peluru. Pengujian balistik dilakukan pada tanggal 23 November 2009 di area pengujian tertutup milik Divisi Persenjataan PT PINDAD. Pengujian kali ini dilakukan di ruangan tertutup karena saat itu kondisi tengah hujan lebat, sehingga penembakan dilakukan di sebuah lorong, dan karena itu, pengujian kali ini tidak menggunakan *backing material* karena *backing material* tersedia di tempat pengujian terbuka. Penembakan juga hanya dilakukan 1 kali karena pengujian kali ini tidak menggunakan *backing material*, namun langsung di-klem ke *support fixture*, dimana jika dilakukan penembakan ke daerah sudut, dikhawatirkan jika peluru meleset dan mengenai *support fixture* yang terbuat dari besi, bahaya yang

ditimbulkan sangat besar karena pengujian dilakukan di ruangan tertutup yang cukup sempit.

Senjata yang digunakan hanyalah senjata pistol PG8, dengan menggunakan munisi PM1TJ 9x19mm pada jarak 5 meter dengan kecepatan 358 m/s.

4.4.1 Pelat Komposit AB1E7 untuk level II

Pelat ini memiliki 1 lapis serat abaca yang dianyam, dan dikombinasikan dengan keramik E7. Pelat ditembak 1 kali dan tembus.



Gambar 4. 19. Hasil Penembakan Komposit AB1E7 pada Bagian Depan

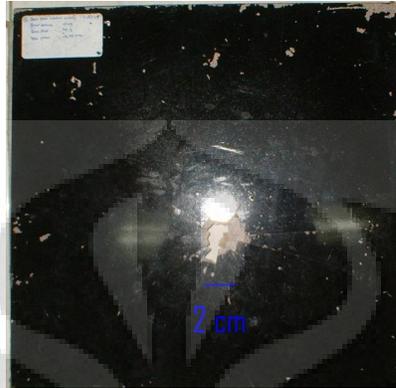


Gambar 4. 20. Hasil Penembakan Komposit AB1E7 pada Bagian Belakang

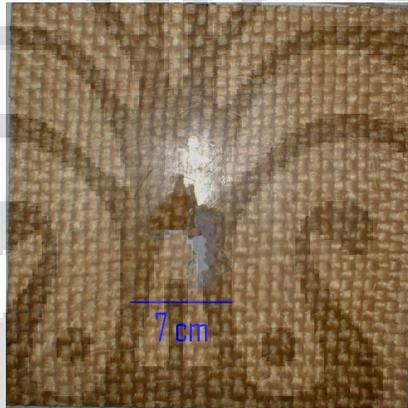
Ukuran lubang di bagian belakang pelat lebih besar daripada lubang di bagian depan pelat. Kerusakan cenderung berbentuk radial meski tidak membentuk lingkaran penuh. Diameter lubang pada bagian depan 3 cm dan pada bagian belakang 6 cm.

4.4.2 Pelat Komposit AB2E7 untuk level II

Pelat ini memiliki 2 lapis serat abaca yang dianyam, dan dikombinasikan dengan keramik E7. Pelat ditembak 1 kali dan tembus.



Gambar 4. 21. Hasil Penembakan Komposit AB2E7 pada Bagian Depan

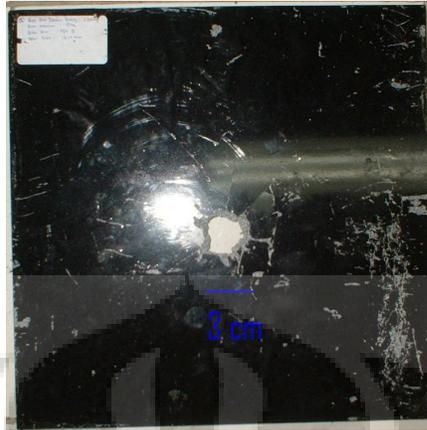


Gambar 4. 22. Hasil Penembakan Komposit AB2E7 pada Bagian Belakang

Ukuran lubang di bagian belakang pelat lebih besar daripada lubang di bagian depan pelat. Kerusakan cenderung berbentuk radial meski tidak membentuk lingkaran penuh. Diameter lubang pada bagian depan 3 cm dan pada bagian belakang 7 cm. Kurang lebih kerusakannya hampir sama dengan pelat sebelumnya.

4.4.3 Pelat Komposit AB3E7 untuk level II

Pelat ini memiliki 3 lapis serat abaca yang dianyam, dan dikombinasikan dengan keramik E7. Pelat ditembak 1 kali dan tembus.



Gambar 4. 23. Hasil Penembakan Komposit AB3E7 pada Bagian Depan

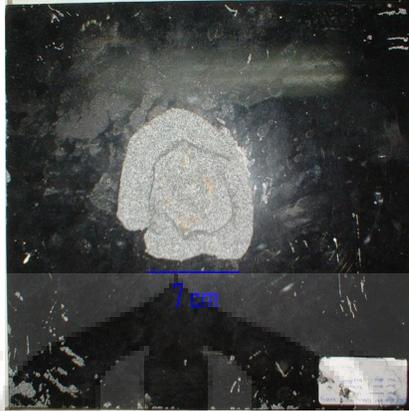


Gambar 4. 24. Hasil Penembakan Komposit AB3E7 pada Bagian Belakang

Ukuran lubang di bagian belakang pelat lebih besar daripada lubang di bagian depan pelat. Kerusakan berbentuk radial dengan diameter lubang pada bagian depan 3 cm dan pada bagian belakang 6 cm.

4.4.4 Pelat Komposit AB4E7 untuk level II

Pelat ini memiliki 4 lapis serat abaca yang dianyam, dan dikombinasikan dengan keramik E7. Pelat ditembak 1 kali dan tidak tembus. Pada pelat ini, meski jumlah lapisan serat yang digunakan berbeda, dengan AB5E7 pada pembuatan komposit tahap 1, namun massa serat yang digunakan setara.



Gambar 4. 25. Hasil Penembakan Komposit AB4E7 pada Bagian Depan



Gambar 4. 26. Hasil Penembakan Komposit AB4E7 pada Bagian Belakang

Pada bagian depan terjadi kerusakan yang membentuk kawah dengan diameter 7cm, sedangkan pada bagian belakang terjadi fragmentasi meskipun peluru tidak menembus. Kawah yang terbentuk di bagian belakang memiliki diameter 5cm. Hal ini mungkin disebabkan karena kekuatan serat abaca pada bagian tengah lebih besar dari bagian belakang, sehingga saat serat abaca menerima energi, bagian belakang rusak terlebih dahulu.

4.5 ANALISA ENERGI BALISTIK [26], [28]

Dari hasil pengujian balistik, terlihat bahwa kerusakan terpusat di satu area saja, tepatnya di sekeliling lubang atau kawah yang dihasilkan oleh proyektil. Ini terjadi karena energi *impact* dari proyektil peluru terlokalisasi sebagai akibat waktu kontak antara proyektil dengan pelat komposit yang sangat singkat. Atau dapat dikatakan bahwa proses deformasi tidak terjadi secara global. Selain itu

dapat terlihat bahwa ukuran kawah yang terbentuk tidak dipengaruhi oleh diameter proyektil yang mengenainya, menurut Roger Ellis, inilah ciri khas kerusakan akibat *impact* dengan kecepatan tinggi. Pada *impact* dengan kecepatan rendah, besarnya kerusakan akan dipengaruhi oleh diameter proyektil. [4] Besarnya energi kinetik yang dimiliki oleh peluru sejak keluar laras hingga sesaat sebelum mengenai pelat, dapat dihitung dengan persamaan (2.1). [28]

Tabel 4.1. Energi Kinetik dan Momentum dari masing-masing Peluru

Senjata	Massa Peluru (.10-3 kg)	Kecepatan pada Jarak 5 m (m/s)	Energi Kinetik (J)	Momentum (kg.m/s)
G2	8	358	512,66	2,864
PM2V1	8	426	725,91	3,408

Untuk melakukan analisa energi balistik diperlukan data berupa energi yang dapat diserap oleh sebuah pelat anti peluru.

$$E_{\text{absorbed}} = \frac{1}{2} m (v_{\text{in}}^2 - v_{\text{out}}^2)$$

Untuk menggunakan persamaan tersebut perlu diperoleh data yang akurat kecepatan sebelum dan sesudah melewati pelat anti peluru. Data tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan sebuah alat yang bernama Chronograph. Sayangnya alat ini sulit untuk dijumpai dimana di Indonesia hanya ada di Malang, sehingga untuk analisa energy balistik belum dapat dilakukan secara maksimal.



Gambar 4. 27. Alat Chronograph

Data energi balistik yang dapat diperoleh adalah data pada pelat AB5E7 untuk Level II dan pelat AB5E8, AB5G8 AK3E8 untuk Level IIIA pada pengujian tahap I, dan AB4E7 untuk level II pada pengujian tahap II, dimana nilai $v_{out}=0$ karena peluru bersarang di pelat komposit sehingga nilai $E_{absorbed} = E_{kinetik}$. Pelat tersebut dapat menyerap seluruh energi yang diberikan peluru.

Tabel 4. 2. Massa Jumlah Energi yang Dapat Diterima

Kode Pelat	Level	$E_{absorbed}$ (J)
AB5E7	II	512,66
AB5E7	IIIA	<i>n.a.</i>
AB5E8	IIIA	725,91
AB5G8	IIIA	725,91
AK3E8	IIIA	725,91
AB1E7	II	<i>n.a.</i>
AB2E7	II	<i>n.a.</i>
AB3E7	II	<i>n.a.</i>
AB4E7	II	512,66

4. 6 PERHITUNGAN BIAYA PEMBUATAN KOMPOSIT [7]

Perhitungan biaya pembuatan komposit dilakukan untuk mengetahui suatu ukuran tentang pengendalian dan produktivitas ekonomi, dan juga sebagai dasar untuk pembuatan material sejenis. Pelat yang akan dihitung biayanya hanyalah pelat dengan empat lapis anyaman abacca yang mampu menahan peluru tipe I, karena dari pelat dengan jumlah lapisan anyaman sebanyak empat lapis sudah dapat diperoleh hasil yang optimal, sehingga tidak perlu membuat pelat dengan lima lapis anyaman untuk memperoleh kualitas pelat tahan peluru tipe I. Perhitungan biaya meliputi perhitungan biaya material, biaya peralatan habis pakai (*tooling cost*), tingkat konversi pembuatan, dan pada akhirnya dapat diketahui berapa biaya produk keseluruhan.

Harga bahan mentah dan peralatan habis pakai untuk membuat material komposit adalah sebagai berikut :

- Anyaman serat abacca = Rp 60.000 / lembar
- Resin Epoksi dan Hardener = Rp 75 / gr (Rp 75.000 / kg)
- Keramik E7= Rp 10.000 / buah
- Keramik E8= Rp 25.000 / buah

Biaya total untuk pembuatan rompi tahan peluru adalah total dari biaya pembuatan dua buah pelat komposit (untuk bagian depan dan belakang) dan biaya pembuatan rompi kosong. Diasumsikan bahwa untuk pegawai sekitar Rp. 50.000 / rompi. Berikut adalah tahapan perhitungan biaya untuk pelat komposit dengan menggunakan pelat AB5E7

Penggunaan reinforcement		
5 lembar anyaman serat abaca @ Rp. 60.000	=	Rp. 300.000
Penggunaan resin		
750g @ Rp. 75	=	Rp. 56.250
Total biaya material untuk 1 pelat level II	=	Rp. 366.250
Total biaya material untuk 2 pelat level II	=	Rp. 732.500
Biaya pembuatan rompi	=	Rp. 200.000
Biaya pegawai	=	Rp. 50.000
<hr/>		
Total biaya pembuatan 1 rompi level II	=	Rp. 982.500
Total biaya pembuatan 1 rompi level IIIA	=	Rp. 1.012.500

Total biaya yang didapat dari perhitungan di atas, menunjukkan bahwa harga pelat ini relatif murah, bahkan jika dibuat menjadi rompi, masih jauh lebih murah daripada harga rompi yang diimport dari luar negeri. Dari perhitungan di atas diperoleh harga rompi yang dapat dihasilkan masih dibawah Rp 1.000,000.00. Harga rompi tahan peluru level II, harganya berkisar antara US\$ 340 – 520 (Rp. 3.230.000 – Rp 4.940.000; pada kurs 1 US\$ = Rp 9.500). Sedangkan untuk rompi tahan peluru level IIIA, harganya berkisar antara US\$ 400 – 750 (Rp. 3.800.000 – Rp 7.125.000). Harga ini belum termasuk biaya pengiriman dari negara produsen, biaya bea cukai dan biaya – biaya lainnya [22].

Tabel 4. 3. Massa Rompi Tahan Peluru yang dapat Dhasilkan

Level	Massa sebelum dipotong (g)	Massa setelah dipotong (g)	Total Massa untuk 2 Pelat (g)
II	2.416,7	2.054,42	4108,84
IIIA	2.689,5	2.286,99	4573,98

Tabel di atas menunjukkan bahwa massa rompi tahan peluru yang dihasilkan masih memenuhi standar ergonomis untuk massa rompi Dakhura, yaitu di bawah 4700 gram untuk ukuran S (*Small*). [2]

4.7 RANCANGAN ROMPI ERGONOMIS

Dalam melakukan perancangan model rompi, dilakukan studi literature untuk memilih model rompi yang cocok untuk pelat yang telah dibuat. Lalu didapatkan data bahwa untuk model rompi yang keras (*hard body armor*) seperti keramik ataupun metal, digunakan rompi dengan kantung di bagian luar agar lebih nyaman dipakai dan dapat mudah melakukan penggantian pelat apabila telah tertembak. *Design* awal yang digunakan adalah dengan mencontoh produksi perusahaan Lyra Private Limited yang berasal dari India. *Design* ini dipilih karena sesuai dengan pelat yang dibuat dan memiliki *design* yang sederhana dan enak dipandang.

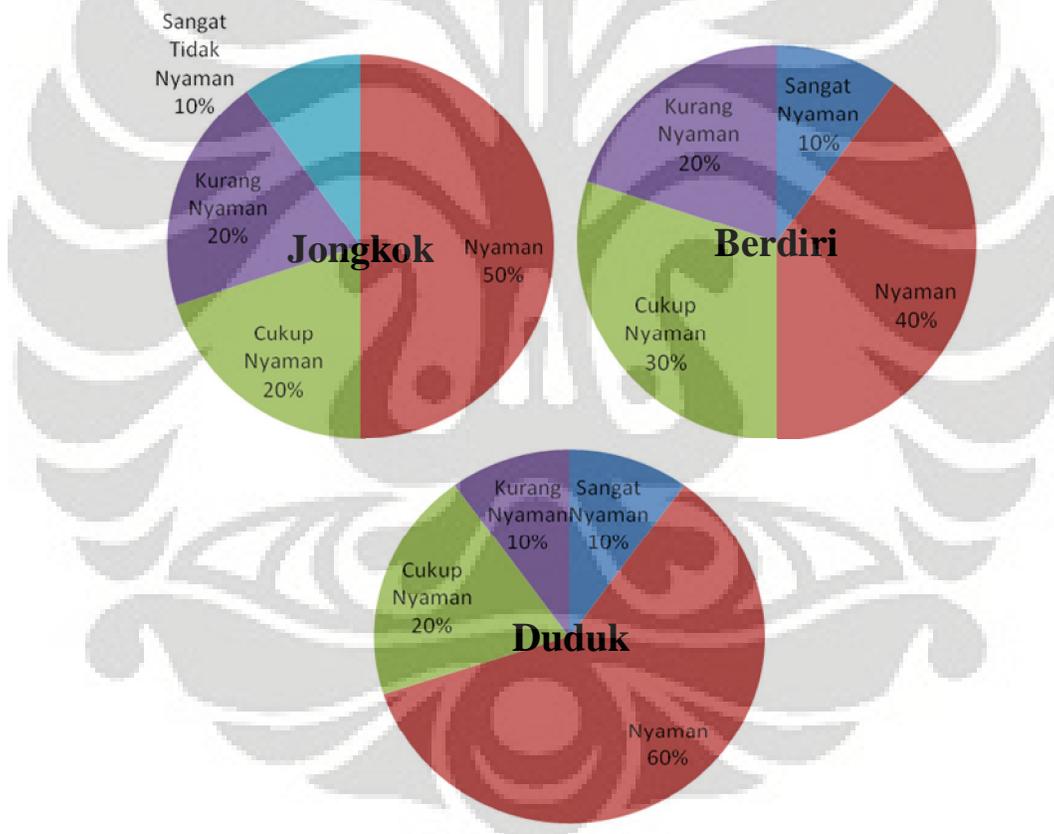


Gambar 4.28. Rompi Tahan Peluru Produksi Lyra Private Limited

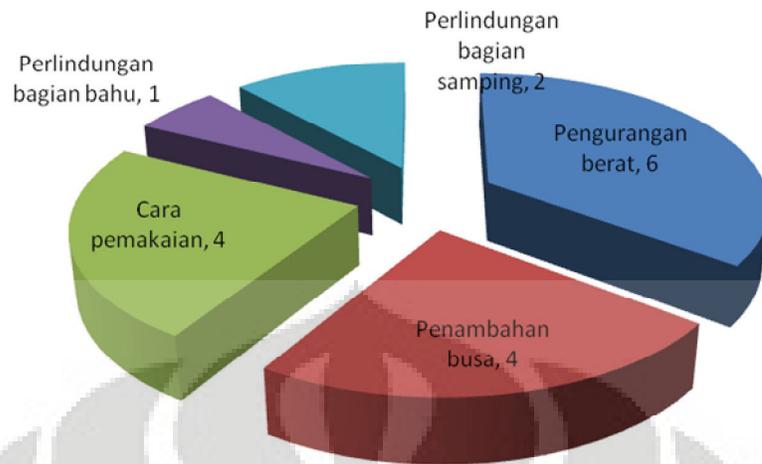
Lalu setelah melakukan pemesanan dan rompi telah jadi, rompi yang sudah jadi dan diisi pelat dicobakan ke beberapa orang untuk dimintakan pendapatnya mengenai kenyamanan saat menggunakan rompi tersebut, serta diminta pendapatnya untuk memberikan masukan untuk kenyamanan penggunaan rompi tersebut.

Hasil kuesioner yang dibagikan dan kemudian dihitung dan dirata-ratakan menunjukkan bahwa pemakaian rompi tersebut cukup nyaman dengan hasil nilai 3,7 untuk pemakaian saat duduk, 3,8 saat berdiri, 3,3 saat jongkok, dimana 1 = sangat tidak nyaman dan 5 = sangat nyaman.

Sebanyak 4 responden menyarankan perbaikan cara pemakaian. 6 responden menyarankan perbaikan dari sisi berat (agar diperingan lagi), 4 menyarankan penambahan busa pada rompi agar lebih nyaman, dan saran yang lainnya adalah 1 responden menyarankan perlindungan tambahan di bagian bahu dan 2 responden menyarankan tambahan perlindungan di bagian samping.



Gambar 4.29. Hasil Kuesioner untuk Kenyamanan Penggunaan Rompi Saat:
(a) Jongkok, (b) Berdiri, (c) Duduk



Gambar 4.30. Hasil Kuesioner untuk Saran Perbaikan Rompi



Gambar 4.31. Design rompi tahap 1

Setelah mempertimbangkan saran-saran yang diberikan, dilakukan studi literatur berikutnya untuk mendapatkan design yang lebih nyaman saat digunakan, lalu diperoleh *design* milik Zahal yang berasal dari Israel.



Gambar 4.32. Rompi Tahan Peluru Produksi Zahal

Rompi ini memiliki kantung pelat yang diluar, sama seperti milik Lyra Private Limited, namun memiliki tambahan pengikat agar pelat lebih stabil saat pergerakan, rongga pada lengan juga lebih besar yang akan mempermudah

pemakaian. Selain akan mengikuti design ini, rompi yang akan dibuat juga akan menggunakan busa dan menambahkan pelindung samping berukuran 8x15cm dan menggunakan Velcro yang lebih besar agar lebih kuat dan mudah digunakan. Selain itu, untuk mempermudah gerakan saat bermanuver dan jongkok, rompi akan diperpendek, sehingga diharapkan kenyamanan pada saat jongkok akan meningkat.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Serat pisang abacca (*Musa textilis*) dengan orientasi anyaman 0° dan 90° yang dikombinasikan dengan keramik dapat dijadikan sebagai *reinforcement* untuk pelat komposit tahan peluru level IIIA (senjata *submachine gun* PM2V1 produksi PINDAD, kaliber 9mm, pada kecepatan minimal 426 m/s), dengan jumlah lapisan anyaman sebanyak 5 lapis dengan ketebalan 11,15 mm dan keramik alumina konsentrasi tinggi dengan tebal 8mm.
2. Pelat komposit dengan tebal keramik kurang dari 8mm dapat ditembus oleh peluru, dan peluru tersebut masih memiliki kecepatan residual yang sangat tinggi, sehingga pelat ini tidak dapat dijadikan kandidat material tahan peluru.
3. Kerusakan material yang diakibatkan oleh senjata PM2V1 adalah tipe *Brittle Fracture*, *Radial Fracture* dan Fragmentasi.
4. Peluru yang mengenai target akan mengalami deformasi. Deformasi yang terjadi antara lain adalah pecahnya peluru menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, perubahan bentuk menjadi pipih lebar, serta warnanya berubah menjadi abu-abu.
5. *Design* rompi yang akan digunakan adalah *design* pada Gambar 4.28 dengan menggunakan tambahan lapisan busa dan tambahan pelindung samping. Total biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan 1 buah rompi tahan peluru level IIIA adalah Rp. 977.500.

5.2 SARAN

1. Adanya studi lanjutan tentang penelitian ini agar dapat dihasilkan material komposit tahan peluru untuk tipe yang lebih tinggi, namun massanya tidak terlalu berat.
2. Mencoba penggunaan resin lain untuk mengetahui performa komposit berbahan dasar abaca jika digabungkan dengan resin jenis lain.

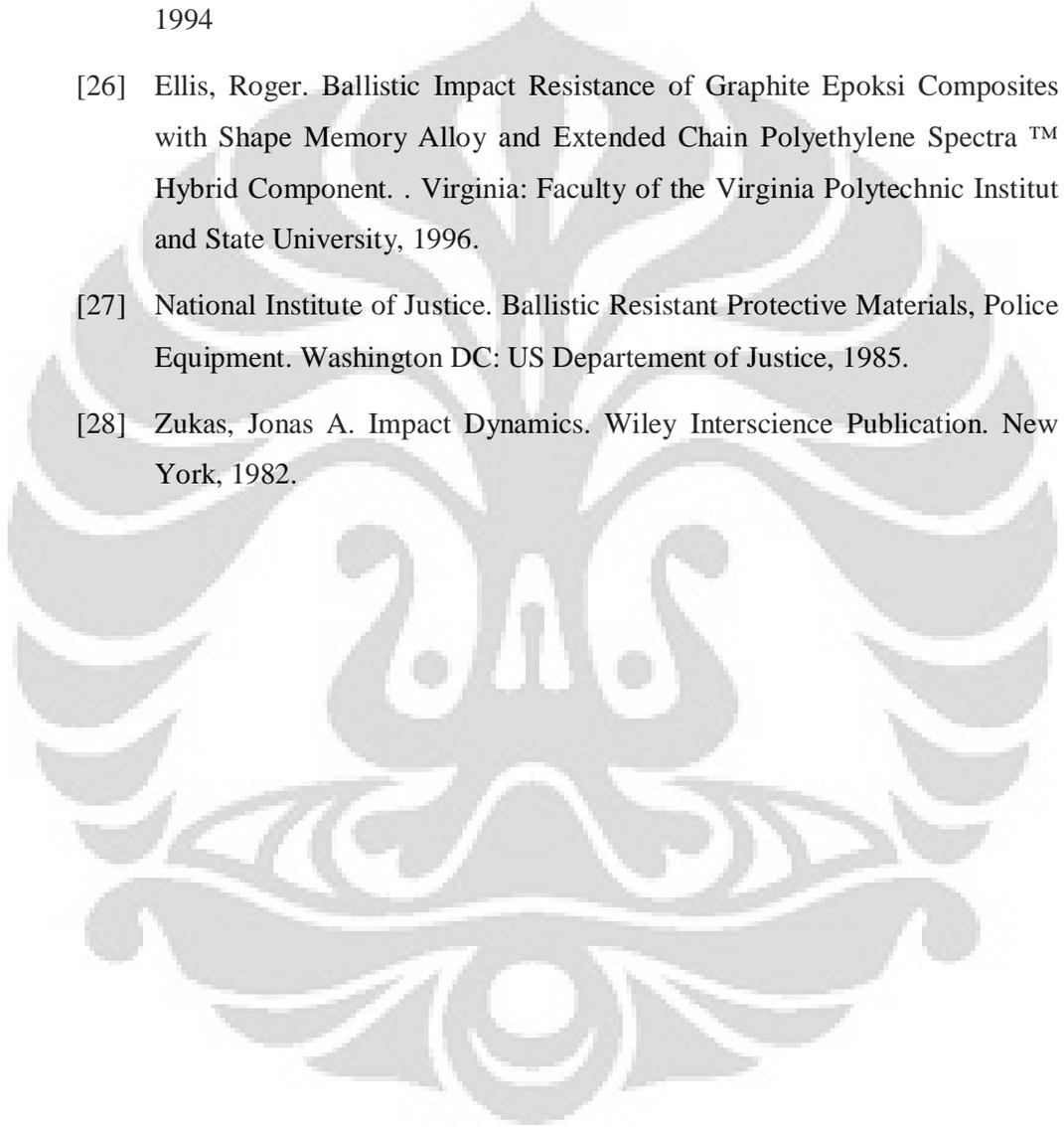
3. Menggunakan *chronograph* saat pengujian sehingga dapat dengan jelas diketahui energi yang dapat diserap oleh sebuah pelat, sehingga untuk pembuatan pelat berikutnya dapat dilakukan melalui perhitungan.
4. Penelitian lanjutan mengenai pengaruh tebal anyaman dan komposisi serat-resin terhadap kekuatan pelat komposit untuk menahan peluru.



Daftar Pustaka

- [1] Anonim. *Bullet proof vest*. http://en.wikipedia.org/wiki/Bullet_proof_vest (diakses tanggal 27 April 2008)
- [2] Istiyadi, Ir. 2003. *Naskah Kajian tentang Penelitian dan Pengembangan Pembuatan Plate Keramik Rompi Tahan Peluru untuk Mendukung Kepentingan Negara*. Jakarta : Departemen Pertahanan RI, Badan Penelitian dan Pengembangan.
- [3] Sudiarta, I.M., 2007. *Pembuatan Pelat Komposit Tahan Peluru Berbahan Dasar Serat Pisang Abacca*. Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [4] Silalahi, P. 2008. *Kinerja Komposit Berbahan Dasar Serat Pisang Abacca dan Resin Epoksi dengan Keramik untuk Panel Rompi Tahan Peluru*. Tesis, Depok, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [5] Holmquist T. J., dkk. 1999. *A ceramic Armor Material Database*. Tacom Research Development and Engineering Center Warren MI. <http://www.stormingrmedia.us/62/6292/A629263.html>
- [6] Anonim. *Komposit*. <http://id.wikipedia-org/wiki/komposit> (diakses tanggal 3 Mei 2008)
- [7] Gaylord, M.W. 1974. *Reinforced Plastics, Theory and Practice, 2nd edition*. Massachusets: Cahner Boks,.
- [8] Anonim. *Kevlar*. <http://en.wikipedia.org/wiki/kevlar> (diakses tanggal 3 Mei 2008)
- [9] Brothers J. 2003. *Composite Application Using Coir Fibers in Sri Lanka*. Final Report: Project Number CFC/FIGHF1/8FT. Belanda.
- [10] Guarte RC.. *Utilization of Abaca (Musa Textiles Nee) Fiber in The Automotive Industry. The Case of The PPP Abaca Projecti in Philippines*. Philippines Leyte State University

- [11] May, Clayton A. 1987. *Epoxy Resin*. Engineering Materials Handbook Vol. 1; Composites : 66-76.
- [12] Fujian, Midia. *Kinerja Kekuatan Serat Kevlar Sebagai Reinforcement Matriks Komposit untuk Panel Rompi Anti Peluru*. Depok : Departemen Teknik Kimia, 2007.
- [13] Manuhutu, Chassty Terina, et al. *Fiber Reinforced Polymer*. Depok: Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, 2004.
- [14] Basom, M.W. 1997. *Fundamental of Ceramics*. New York: Mc Graw Hill
- [15] Scheneider, S.J. 1991. *Ceramics and Glasses*. Volume 4 USA : ASM International: The Material Information Society
- [16] Subari, *Pengolahan Felspar dan Pemakaiannya dalam Industri Keramik Informasi Teknologi Keramik dan Gelas*, Balai Besar Industri Keramik Bandung, No. 20 Tahun ke-5 April 1984.
- [17] Purba E. Alumina. *Informasi Teknologi Keramik dan Gelas*, Balai besar Industri Keramik Bandung, No. 20 Tahun ke-5 April 1984.
- [18] Wakidi, A., Sagala M., 1994. *Pemanfaatan Aditif Borak, Zirkonium, Fosfat untuk Menurunakn Suhu Kematangan Porselen*, *Jurnal keramik dan Gelas Indonesia*, Balai Besar Industri Kemarik Bandung, Volume 3 No.1
- [19] VlanckL.H. 1964. *Physical Ceramics for Engineers*. USA : Addison-Wesley Publishing Company
- [20] Suhandi, Soesilowati. 1997. *Pengaruh Tingkat Distribusi Butir pada Sifat-sifat Badan Keramik Porselen*. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, Balai Besar Industri Keramik Bandung, Volume 6 No. 1& 2.
- [21] Basom, M.W. 1997. *Fundamental of Ceramics*. New York: Mc Graw Hill
- [22] Scheneider, S.J. 1991. *Ceramics and Glasses*. Volume 4 USA : ASM International: The Material Information Society
- [23] Subari, *Pengolahan Felspar dan Pemakaiannya dalam Industri Keramik Informasi Teknologi Keramik dan Gelas*, Balai Besar Industri Keramik Bandung, No. 20 Tahun ke-5 April 1984.

- 
- [24] Purba. E. Alumina. Informasi Teknologi Keramik dan Gelas, Balai besar Industri Keramik Bandung, No. 20 Tahun ke-5 April 1984.
- [25] Wakidi, A., Sagala M., Pemanfaatan Aditif Borak, Zirkonium, Fosfat untuk Menurunkan Suhu Kematangan Porselen, Jurnal keramik dan Gelas Indonesia, Balai Besar Industri Kematik Bandung, Volume 3 No.1 tahun 1994
- [26] Ellis, Roger. Ballistic Impact Resistance of Graphite Epoksi Composites with Shape Memory Alloy and Extended Chain Polyethylene Spectra TM Hybrid Component. . Virginia: Faculty of the Virginia Polytechnic Institut and State University, 1996.
- [27] National Institute of Justice. Ballistic Resistant Protective Materials, Police Equipment. Washington DC: US Departement of Justice, 1985.
- [28] Zukas, Jonas A. Impact Dynamics. Wiley Interscience Publication. New York, 1982.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Fraksi Massa dan Fraksi Volume Pelat Komposit Tahap I

Fraksi Massa Serat (X_f) = [Massa Serat (W_f) / Massa Pelat Komposit (W_c)] · 100%

Fraksi Massa Resin (X_m) = [100 - Fraksi Massa Serat]%

Massa Pelat (W_c) diperoleh dari penimbangan = Massa Serat (W_f) + Massa Resin (W_m)

Volume Pelat (V_c) = Panjang Pelat x Lebar Pelat x Tinggi Pelat

Densitas Pelat (ρ_c) = Massa Pelat / Volume Pelat

Fraksi Volume Serat (ϕ_m) = Volume Resin / (Volume Serat + Volume Resin)

Dengan $\rho_m = W_m / V_m$ dan $W_m = X_m \cdot W_c$

Maka $\phi_m = [(W_m / \rho_m) / (W_c / \rho_c)] \cdot 100\%$

= $[(X_m \cdot W_c \cdot \rho_c) / (W_c \cdot \rho_m)] \cdot 100\%$

= $[X_m \cdot \rho_c / \rho_m] \cdot 100\%$

Lampiran A. 1. Massa Bahan Baku, Dimensi dan Fraksi Produk Komposit Pembuatan Panel Komposit Tahap 1

Kode	Massa Serat Awal (g)	Massa Serat + Resin Awal (g)	Massa Serat + Resin Akhir (g)	Massa Total Pelat (g)	Tebal Pelat (cm)	Volume Pelat (cm ³)	Massa Jenis Pelat (g/cm ³)	Fraksi Massa		Level	Hasil Uji
								Serat (%)	Resin (%)		
AB5E7	324,3	1048,9	916,7	2416,7	1,795	1551,5	1,558	30,9	69,1	II	√
AB5E7	320,6	1005,6	903,7	2403,7	1,769	1529,1	1,572	31,9	68,1	III A	×
AB5E8	317,6	1023,7	909,5	2689,5	1,915	1655,2	1,625	31,0	69,0	III A	√
AB5G8	314,3	1068,5	947,3	2727,3	1,909	1650,1	1,653	29,4	70,6	III A	√
AK3E8	454,2	962,8	1238,3	3018,3	2,417	2089,2	1,445	47,2	52,8	III A	√

Massa rata-rata 1 lembar abaca: 62,7 g

Massa rata-rata 1 lembar abaca keping: 152,8 g

Ukuran pelat : 29,4x29,4cm

Massa keramik 7mm : 1500 g

Massa keramik 8mm : 1780 g

Lampiran A. 2. Massa Bahan Baku, Dimensi dan Fraksi Produk Komposit Pembuatan Panel Komposit Tahap 2

Kode	Massa Serat Awal (g)	Massa Serat + Resin Awal (g)	Massa Serat + Resin Akhir (g)	Massa Total Pelat (g)	Tebal Pelat (cm)	Volume Pelat (cm ³)	Massa Jenis Pelat (g/cm ³)	Fraksi Massa		Level	Hasil Uji
								Serat (%)	Resin (%)		
AB1E7	89,7	337,8	307,4	1807,4	1,083	936,1	1,931	26,6	73,4	II	×
AB2E7	163,4	638	580,6	2080,6	1,425	1231,7	1,689	25,6	74,4	II	×
AB3E7	247,2	878,1	799,1	2299,1	1,727	1492,7	1,540	28,2	71,8	II	×
AB4E7	325,8	1135,5	1033,3	2533,3	1,982	1713,2	1,479	28,7	71,3	II	√

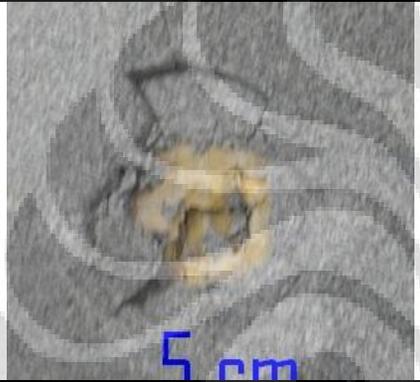
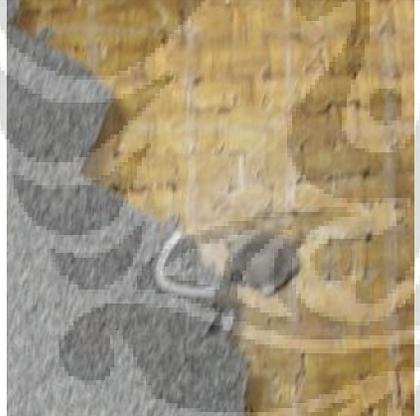
Massa rata-rata 1 lembar abaca: 82,6 g

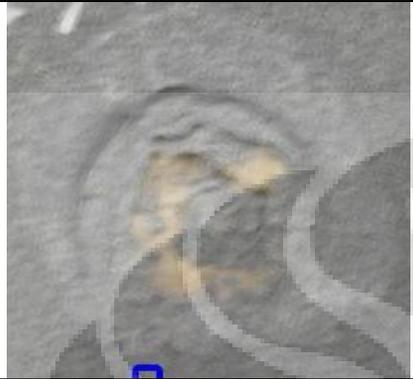
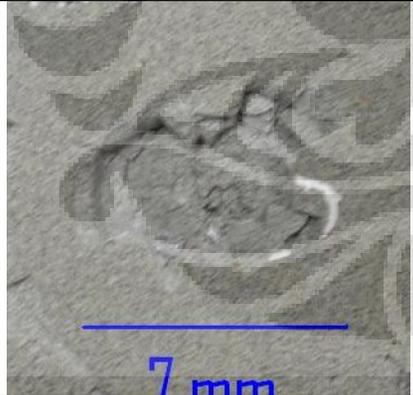
Ukuran pelat : 29,4x29,4cm

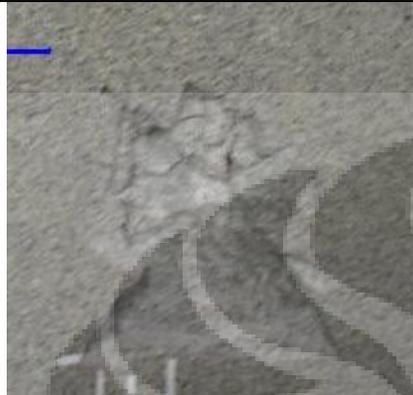
Massa keramik 7mm : 1500 g

Ringkasan hasil pengujian balistik tahap I dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Lampiran B. 2. Ringkasan Hasil Uji Balistik Tahap I

Kode Pelat	Senjata	Kawah	Gambar Kerusakan		Pola Kerusakan	Diameter (cm)	
			Depan	Belakang		Depan	Belakang
AB5E7	PG2	1			<i>Radial Fracture</i>	5	5
		2			<i>Fragmentation & Radial Fracture</i>	-	6

AB5E7	PM2V1	1			<i>Radial Fracture</i>	6	7
		2			<i>Fragmentation & Radial Fracture</i>	4	4
AB5E8	PM2V1	1			<i>Radial Fracture</i>	7	-

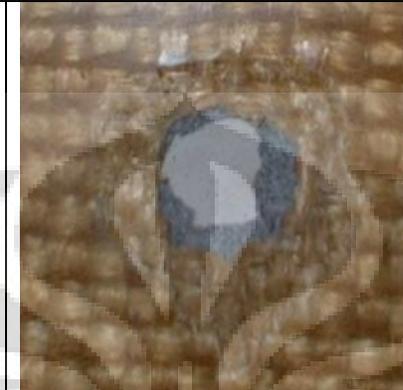
		2			<i>Radial Fracture</i>	6	-
AB5G8	PM2V1	1			<i>Radial Fracture</i>	6	-
		2			<i>Fragmentation & Radial Fracture</i>	-	5

AK3E8	PM2V1	1		Tidak ada kerusakan	<i>Radial Fracture</i>	6	-
		2		Tidak ada kerusakan	<i>Fragmentation & Radial Fracture</i>	-	-

Ringkasan hasil pengujian balistik tahap II dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Lampiran B. 4. Ringkasan Hasil Uji Balistik Tahap II

Kode Pelat	Senjata	Gambar Kerusakan		Pola Kerusakan	Diameter (cm)	
		Depan	Belakang		Depan	Belakang
AB1E7	G2			<i>Radial Fracture & Fragmentation</i>	3	6
AB1E7	G2			<i>Radial Fracture & Fragmentation</i>	2	7

AB2E7	G2			<i>Radial Fracture & Fragmentation</i>	3	6
AB4E7	G2			<i>Radial Fracture & Fragmentation</i>	7	5