

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN KOMPOSIT AA 6061 TAHAN PELURU  
DENGAN PENGUAT KAWAT BAJA KARBON TINGGI  
BERDIAMETER 1.4 MM YANG DISUSUN SATU ARAH DAN  
VARIASI FRAKSI VOLUME 2.5 %, 5 %, DAN 7.5 %**

**SKRIPSI**

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

**HENRY SUROPATI**

**0706268575**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK**

**JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Henry Suropati  
NPM : 0706268575

Tanda Tangan :   
Tanggal : 20 Juni 2011

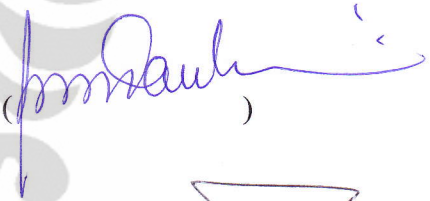
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Henry Suropati  
NPM : 0706268575  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Perancangan Pelat Komposit AA6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5%, 5% dan 7.5%

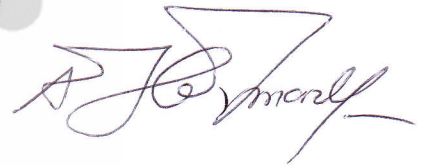
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si.

()

Penguji 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng

()

Penguji 2 : Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar, M.S

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT., karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi yang berjudul *Perancangan Pelat Komposit AA6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5%, 5% dan 7.5%*, dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Metalurgi dan Material 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) Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang Tua dan kedua kakak saya atas dukungan dan nasihatnya selama saya berkuliah.
- (3) Ibu Dwi Rahmalina yang telah membantu dari awal hingga berakhirnya penelitian ini.
- (4) Yustiawaty Nursarah yang menjadi penyemangat dan memberi dukungan selama proses penyelesaian penulisan skripsi ini.
- (5) Farouq, Krisna, dan semua teman-teman di kostan lalolo bersaudara atas dukungan tenaga dan pikiran dalam menyelesaikan penulisan ini.
- (6) Abdan, Fariz, Aam, Hesti, Ridwan, dan Novian selaku teman seperjuangan dalam penelitian ini yang telah banyak membantu dari awal hingga berakhirnya penelitian.
- (7) Teman-teman Metalurgi 2007 dan semua asisten pengecoran logam atas bantuannya selama perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.
- (8) Semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan penulisan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap agar Allah swt. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Depok, 20 Juni 2010

Penulis

Henry Suropati

**Universitas Indonesia**



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

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

Nama : Henry Suropati  
NPM : 0706268575  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

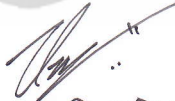
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perancangan Pelat Komposit AA6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5%, 5% dan 7.5%**

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 atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 20 Juni 2011  
Yang menyatakan



(Henry Suropati)

## ABSTRAK

Nama : Henry Suropati  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Perancangan Pelat Komposit AA6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5%, 5% dan 7.5%

Material komposit merupakan salah satu jenis material yang saat ini banyak dikembangkan karena dapat menggabungkan sifat-sifat dari material yang menyusunnya. Dengan keunggulan tersebut, material komposit dapat diaplikasikan pada berbagai bidang, salah satunya untuk aplikasi balistik. Dalam penelitian ini komposit yang dikembangkan adalah komposit laminat yang terdiri dari pelat AA6061 sebagai matriks yang diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi berdiameter 1.4 mm yang disusun satu arah dan adhesif polyurethane yang berperan untuk merekatkan fasa matriks dan penguat.

Komposit tahan peluru dibuat berdasarkan metode laminasi dengan susunan kawat searah. Karakterisasi yang dilakukan berupa pengujian impact, pengujian balistik, dan pengamatan foto makro pada daerah perforasi. Pengujian balistik dilakukan berdasarkan standar NIJ 0108.01 dengan tipe proyektil berkaliber 9 mm (tipe II) dan 7.62 mm (tipe III). Pada penelitian ini juga membandingkan harga impact dan diameter perforasi antara komposit berpenguat kawat baja 1 mm yang disusun ( $0^0/90^0/0^0$ ) dengan komposit berpenguat kawat baja 1.4 mm yang disusun satu arah.

Hasil pengujian impact menunjukkan bahwa harga impact semakin meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume kawat. Material komposit yang dibuat memiliki ketahanan yang baik terhadap beban impact dari proyektil 9 mm, tetapi ketahanannya rendah terhadap beban impact dari proyektil 7.62 mm. Ketahanan balistik komposit penguat 1.4 mm lebih kuat dibandingkan komposit penguat 1 mm, pada pengujian balistik 7.62 mm (Tipe III NIJ 0108.01) menghasilkan diameter perforasi komposit penguat 1 mm lebih besar dibandingkan dengan komposit penguat 1.4 mm

Kata kunci : komposit aluminium, ringan, laminat, balistik, impact, proyektil, perforasi, perbandingan komposit penguat 1 mm (*multidirectional*) dengan 1.4 mm (*unidirectional*)

## ABSTRACT

Name : Henry Suropati  
 Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
 Title : Design of AA 6061 Armor Composite Reinforced by Unidirectional High Carbon Steel Wire of 1.4 mm-Diameter and Volume Fraction of 2.5 %, 5 % and 7.5 %

Composite materials, is one of the types of materials currently being developed because it can combine the material properties that constitute them. One of the many types of developing composite is aluminum composite. This type of composite can provide good mechanical properties with low weight materials than conventional metallic material. Therefore, the aluminum composite material is very promising for the ballistic applications as bullet-proof material. In this study developed a composite consisting of laminated composite plates as matrix AA6061 reinforced with Unidirectional high carbon steel wire of 1.4 mm-Diameter and polyurethane adhesive that works to strengthen the matrix and reinforce bonding, composite variables is done by varying the volume fraction of wires that 2.5%, 5% and 7,5%.

Laminate composites was made by manual lamination method, the arrangement of composite reinforced was unidirectional. The characterization was carried out by impact testing, ballistics testing, and macrograph examination on the perforation area. Ballistic testing conducted in accordance with NIJ 0108.01 standards, and the projectiles type are 9 mm (type II) and 7.62 mm (type III). In this research also compare impact value and perforation diameter between laminated composites reinforced by unidirectional high carbon steel wire of 1.4 mm-diameter with laminated composites reinforced by (0<sup>0</sup>/90<sup>0</sup>/0<sup>0</sup>) high carbon steel wire of 1 mm-diameter

The results showed that the higher the volume fraction of the wire, the higher the impact value of the laminate composite. The laminate composite was able to withstand the projectile of 9 mm calibre, but was fail under 7.62 mm projectile. Balistic resistant of composite reinforced by 1.4 mm stronger than composite reinforced by 1 mm, in balistic test with 7.62 mm (Tipe III NIJ 0108.01) produce diameter perforation of composite reinforced by 1 mm has bigger penetration than composite reinforced by 1.4 mm

Keywords : alumnium composite, lightweight, laminate, ballistic, impact, projectile, perforation, compare of composite reinforced 1 mm (multidirectional) with composite reinforced 1.4 mm (unidirectional)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Balistik .....	6
2.2 Aluminium.....	9
2.2.1 Penamaan Aluminium .....	9
2.2.2 Aluminium 6061.....	10
2.2.3 Aluminium Balistik .....	12
2.3 Wire Rope.....	13
2.3.1 Struktur Penyusun <i>Wire Rope</i> .....	13
2.3.2 Karakteristik <i>Wire Rope</i> .....	14
2.4 Adhesif .....	15
2.4.1 Adhesif <i>Polyurethane</i> .....	16
2.4.2 <i>Curing</i> Adhesif.....	17
2.5 Komposit .....	18
2.5.1 Definisi Komposit .....	18
2.5.2 Matriks.....	18
2.5.3 Penguat.....	19
2.5.4 Antarmuka .....	19
2.6 Komposit Balistik.....	19
2.7 Teori Mikromekanik.....	21
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan .....	23
3.2.1 Alat .....	23
3.2.2 Bahan.....	23
3.3 Prosedur Pembuatan Sampel Komposit .....	24
3.3.1 Perhitungan Fraksi Volume Sampel Komposit .....	24
3.3.2 Pembuatan Alat Bantu Perancangan Komposit.....	26
3.3.3 Persiapan Sampel .....	31
3.3.4 Proses Laminasi Komposit.....	34
3.4 Prosedur Pengujian.....	37
3.4.1 Uji Tarik Pelat AA 6061 T-651.....	37
3.4.2 Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi.....	38
3.4.3 Uji Tarik Adhesif Polyurethane.....	39
3.4.4 Pengujian Impak Komposit .....	40
3.4.5 Pengujian Balistik Aluminium .....	42
3.4.6 Pengamatan Struktur Makro Aluminium Komposit.....	44
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>46</b>
4.1 Analisa Fabrikasi Komposit Aluminium.....	46
4.1.1 Analisa Kelurusan Kawat Penguat Komposit Aluminium .....	46
4.1.2 Perhitungan Fraksi Volume Secara Aktual .....	50
4.2. Perhitungan Teoritik Kekuatan Laminat Aluminium Balistik .....	55
4.3 Perhitungan Kekuatan Impak Komposit Aluminium .....	58
4.4 Pengaruh Fraksi Volume Kawat Terhadap Karakteristik Balistik Aluminium Komposit.....	63
4.4.1 Dimensi Perforasi .....	63
4.4.2 Analisa Makro Perforasi.....	66
4.5 Perbandingan Sifat Mekanik Komposit Aluminium AA 6061-T651 Penguat Kawat Baja 1.4 mm Susunan Satu Arah dengan Komposit Aluminium AA6061-T651 Penguat Kawat Baja 1 mm Susunan (0 <sup>0</sup> /90 <sup>0</sup> /0 <sup>0</sup> ).....	72
4.5.1 Kekuatan Impak Komposit.....	72
4.5.2 Diameter Perforasi Komposit .....	74
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	80
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>84</b>

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi tipe material tahan peluru dan proyektil peluru sesuai .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Perbandingan karakteristik dan sifat berbagai seri paduan aluminium <sup>[12]</sup> .....	10
<b>Tabel 2.3</b> Komposisi kimia dari aluminium 6061 <sup>[12]</sup> .....	10
<b>Tabel 2.4</b> Perbandingan properties AA 6061 dengan baja AISI A36 <sup>[12][14]</sup> .....	11
<b>Tabel 2.5</b> Sifat Mekanik <i>Wire Rope</i> <sup>[19]</sup> .....	14
<b>Tabel 2.6</b> Properties adhesif <i>polyurethane</i> setelah <i>curing</i> <sup>[22]</sup> .....	17
<b>Tabel 3.1</b> Data Volume aluminium, penguat kawat baja, komposit pada masing-masing fraksi volume .....	26
<b>Tabel 3.2</b> Banyaknya jumlah kawat pada masing-masing fraksi volume komposit .....	26
<b>Tabel 3.3</b> Komposisi AA 6061 T-651 pada uji spectroscopy .....	31
<b>Tabel 3.4</b> Ukuran sampel uji tarik AA6061 T-651 .....	37
<b>Tabel 4.1</b> Data hasil simulasi pelurusan kawat.....	49
<b>Tabel 4.2</b> Fraksi volume aktual bahan penyusun komposit aluminium.....	50
<b>Tabel 4.3</b> Volume aktual dan tebal komposit aluminium.....	51
<b>Tabel 4.4</b> Volume dan tebal komposit secara aktual dan teoritik.....	52
<b>Tabel 4.5</b> <i>Void</i> yang terbentuk pada komposit aluminium .....	52
<b>Tabel 4.6</b> massa teoritik, massa aktual berdasarkan perhitungan dan massa aktual berdasarkan penimbangan .....	54
<b>Tabel 4.7</b> Nilai modulus elastisitas dari tiap konstituen penyusun komposit hasil dari pengujian tarik masing-masing konstituen.....	55
<b>Tabel 4.8</b> Modulus Elastisitas Arah Longitudinal dan Transversal pada Komposit Aluminium .....	56
<b>Tabel 4.9</b> Diameter Jejak perforasi proyektil peluru 9 mm dan 7.62 mm pada komposit aluminium dengan masing-masing fraksi volume .....	63



## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b>	<i>Spalling</i> bagian belakang material pada impak balistik <sup>[8]</sup> .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Seleksi dari peluru militer <sup>[8]</sup> .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Grafik perbandingan stress strain curve pada baja A36 dan AA6061-T6 <sup>[12]</sup> .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Struktur dan bagian dari tali baja ( <i>wire rope</i> ) <sup>[18]</sup> .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	Penampang melintang <i>Wire Rope</i> <sup>[17]</sup> .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk dan penguat <sup>[24]</sup> .....	18
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Alir Penelitian.....	22
<b>Gambar 3. 2</b>	Gambar desain teknik alat bantu perancangan komposit.....	27
<b>Gambar 3. 3</b>	Batang besi U untuk pembuatan komposit fraksi volume 2.5% (a) Ilustrasi dimensi (b) Gambar aktual.....	28
<b>Gambar 3. 4</b>	Batang besi U untuk pembuatan komposit dengan fraksi volume 5% dan 7.5% (a) Gambar aktual (b) Ilustrasi dimensi .....	29
<b>Gambar 3. 5</b>	Batang berulir untuk alat bantu perancangan komposit (a) ilustrasi dimensi(b) gambar aktual .....	30
<b>Gambar 3. 6</b>	Alat bantu perancangan komposit .....	30
<b>Gambar 3. 7</b>	Alat bantu untuk perancangan komposit (a) <i>rivet</i> (b) mur.....	31
<b>Gambar 3. 8</b>	Aluminium untuk sampel uji balistik (b) Aluminium untuk sampel uji impak .....	32
<b>Gambar 3. 9</b>	Proses Pemotongan pelat AA6061 T-651 menggunakan mesin <i>jig saw</i> .32	
<b>Gambar 3.10</b>	(a) Satu wire besar sebelum dilepas (b) Strand kecil (c) wire berdiameter 1.42 mm.....	33
<b>Gambar 3. 11</b>	Adhesif <i>polyurethane</i> 600 ml yang digunakan dalam pembuatan komposit .....	34
<b>Gambar 3.12</b>	(a) Kawat yang telah diluruskan (b) Aluminium AA 6061 T-651yang telah diampelas (c) pemberian adhesif pada aluminium (d) peletakkan aluminium pada salah satu sisi kawat baja (e) pemberian adhesif pada kawat (f) peletakkan aluminium pada sisi yang lain kawat sekaligus <i>proses pressing</i> (g) mesin <i>press</i> krisbow (h) aluminium komposit yang telah selesai di- <i>press</i> .....	36
<b>Gambar 3. 13</b>	Bentuk dan dimensi sampel uji tarik AA6061 T-651 .....	37
<b>Gambar 3. 14</b>	Penandaan <i>gage length</i> pada sampel uji tarik pelat AA 6061 T-651 (a) 6-S-1, (b) 6-S-2, (c) 6-S-3.....	37
<b>Gambar 3. 15</b>	Sampel Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi .....	38
<b>Gambar 3. 16</b>	<i>Universal Testing Machine Servopulser Shimadzu</i> , digunakan untuk pengujian tarik aluminium dan kawat baja karbon tinggi.....	38
<b>Gambar 3. 17</b>	Dimensi sampel uji taeik adhesif <i>polyurethane</i> .....	39
<b>Gambar 3. 18</b>	(a) cetakan untuk pembuatan sampel uji tarik adhesif <i>polyurethane</i> (b) sampel uji tarik setelah <i>curing</i> hasil dari cetakan .....	40
<b>Gambar 3.19</b>	(a) sampel pengujian tarik adhesif setelah dibentuk (b) Mesin uji tarik plastik LF Plus Digital Series .....	40
<b>Gambar 3. 20</b>	Dimensi sampel uji impak komposit .....	41
<b>Gambar 3. 21</b>	Sampel uji impak (a) fraksi 2.5% (b) fraksi 5% (c) 7.5%.....	41
<b>Gambar 3. 22.</b>	Alat uji Impak .....	42
<b>Gambar 3. 23</b>	<i>Backing Plate</i> untuk menahan sampel uji balistik pada pengujian balistik .....	43
<b>Gambar 3. 24</b>	Peralatan untuk pengujian balistik tipe II (a) Senjata P2 Pindad produksi PINDAD (b) amunisi kaliber 9 mm.....	43



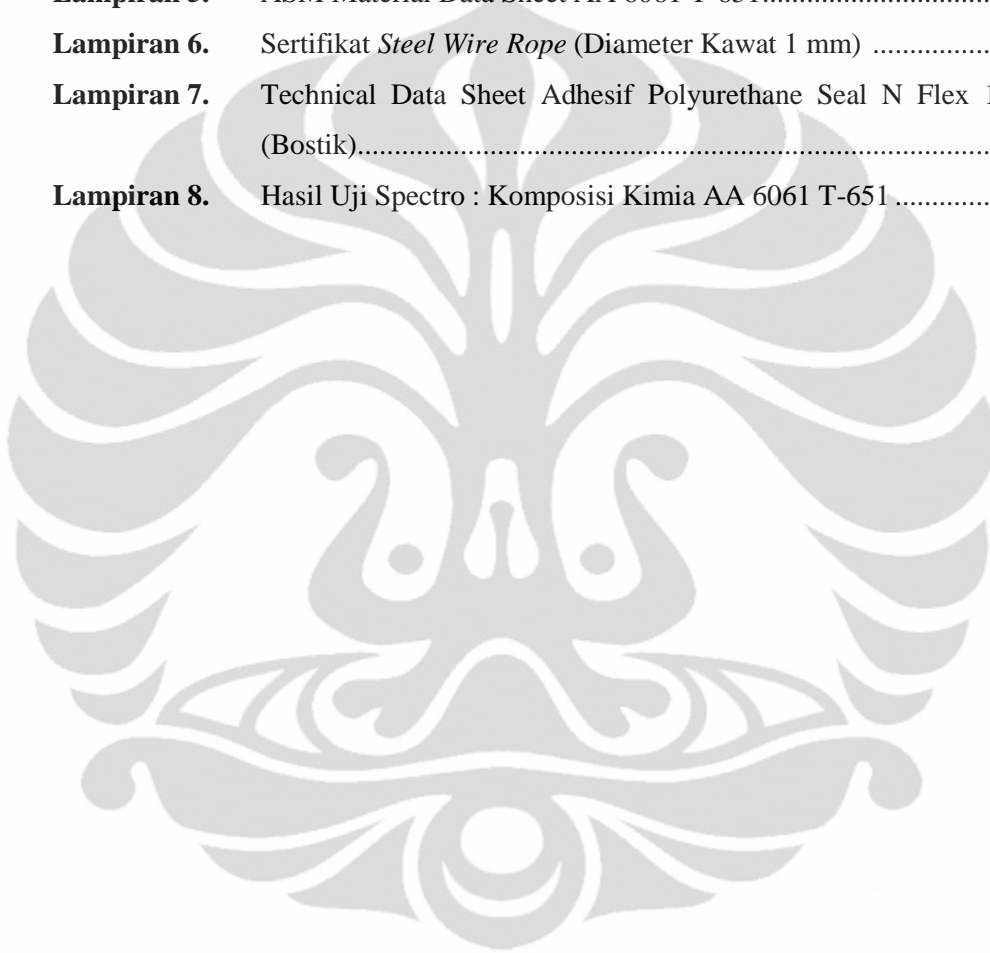
<b>Gambar 3.25</b>	Peralatan untuk pengujian balistik tipe III (a) Senjata Laras Panjang SPR-1 (b) Amunisi kaliber 7.62 mm .....	43
<b>Gambar 3. 26.</b>	Proses Uji balistik tipe II penembak berjarak 5 m dari benda uji.....	44
<b>Gambar 3. 27</b>	Proses uji balistik tipe III penembak berjarak 15 m dari benda uji .....	44
<b>Gambar 3. 28.</b>	Proses pemotongan pelat komposit hasil uji coba balistik.....	45
<b>Gambar 3. 29</b>	Kamera SLR yang digunakan untuk foto struktur makro.....	45
<b>Gambar 4. 1</b>	Kawat penguat karbon tinggi yang diluruskan dengan alat bantu cetakan	46
<b>Gambar 4. 2 (</b>	a) kawat sebelum diluruskan (b) kawat setelah diluruskan .....	48
<b>Gambar 4. 3</b>	Pengaruh fraksi volume kawat terhadap modulus elastisitas komposit arah longitudinal (searah serat).....	57
<b>Gambar 4. 4</b>	Pengaruh fraksi volume kawat terhadap modulus elastisitas komposit arah transversal (berlawanan arah serat).....	57
<b>Gambar 4. 5</b>	Pengaruh persentase fraksi volume kawat terhadap harga impak komposit aluminium .....	59
<b>Gambar 4. 6</b>	Foto bentuk patahan impak pada komposit aluminium dengan penguat kawat baja karbon tinggi (a-c) Fraksi volum 2.5 %, (d-f) Fraksi volum 5 %, (g-i) Fraksi volum 7.5 %. Foto tampak atas dan tampak samping. ...	61
<b>Gambar 4. 7</b>	Pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak uji balistik dengan menggunakan peluru 9 mm .....	64
<b>Gambar 4. 8</b>	Pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak bagian depan pelat komposit pada pengujian balistik dengan menggunakan peluru 7.62 mm.....	64
<b>Gambar 4. 9</b>	Pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak bagian belakang pelat komposit pada pengujian balistik dengan menggunakan peluru 7.62 mm.....	64
<b>Gambar 4. 10</b>	Bentuk perforasi pelat komposit aluminium dengan variasi fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%, 5%, dan 7.5%, akibat penetrasi proyektil berdiameter 9 mm dan 7.62 mm (a-c) fraksi volum 2.5 %, (d-f) fraksi volum 5 %, (g-i) fraksi volum 7.5 % .....	66
<b>Gambar 4. 11</b>	Penampang melintang kerusakan komposit dengan fraksi volum 7.5 % pada pengujian balistik dengan peluru kaliber 9 mm .....	67
<b>Gambar 4.12</b>	Penampang melintang komposit dengan fraksi volum 7.5 % pada pengujian balistik dengan diameter peluru 7.62 mm.....	69
<b>Gambar 4.13</b>	Penampang melintang komposit setelah dibuka (dibelah). (a) fraksi volume 2.5% (b) fraksi volume 5% .....	70
<b>Gambar 4.14</b>	Penampang melintang pada perforasi komposit aluminium dengan diameter proyektil 9 mm dan 7.62 mm (a-b) fraksi volum 2.5 %. (c-d) fraksi volum 5 % (e-f) fraksi volum 7.5 % .....	71
<b>Gambar 4.15</b>	Perbandingan pengaruh fraksi volume kawat terhadap harga impak komposit AA6061 penguat kawat baja 1.4 mm susunan satu arah dengan harga impak komposit AA6061 penguat kawat baja 1 mm susunan <i>multidirectional</i> . .....	72
<b>Gambar 4. 16</b>	Perbandingan susunan kawat penguat pada volum fraksi 5 % (a) AA6061 penguat kawat baja 1 mm (b) AA6061 penguat kawat baja 1.4 mm.....	74
<b>Gambar 4. 17</b>	Perbandingan pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak komposit AA6061 penguat kawat baja 1 mm dengan komposit AA6061 penguat kawat baja 1.4 mm .....	75
<b>Gambar 4. 18</b>	Perbandingan bentuk perforasi antara komposit aluminium penguat kawat baja 1.4 mm dengan komposit aluminium penguat kawat baja 1 mm.....	77

**Gambar 4. 19** Perbandingan bentuk penampang melintang hasil uji balistik 7.62 mm antara komposit aluminium penguat kawat baja 1.4 mm dengan komposit aluminium penguat kawat baja 1 mm..... 78



## DAFTAR LAMPIRAN

		<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1.</b>	Perhitungan Harga Impak .....	84
<b>Lampiran 2.</b>	Hasil Uji Tarik AA 6061 T-651 .....	85
<b>Lampiran 3.</b>	Hasil Uji Tarik Adhesif <i>Polyurethane</i> .....	86
<b>Lampiran 4.</b>	Hasil Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi .....	92
<b>Lampiran 5.</b>	ASM Material Data Sheet AA 6061 T-651.....	93
<b>Lampiran 6.</b>	Sertifikat <i>Steel Wire Rope</i> (Diameter Kawat 1 mm) .....	95
<b>Lampiran 7.</b>	Technical Data Sheet Adhesif Polyurethane Seal N Flex 1 (Bostik).....	96
<b>Lampiran 8.</b>	Hasil Uji Spectro : Komposisi Kimia AA 6061 T-651 .....	99



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertahanan Negara merupakan hal yang mutlak untuk menjadikan Indonesia negara yang berdaulat, tuntutan tersebut perlu diimbangi dengan peralatan militer yang cukup dan memadai. Salah satu peralatan militer yang wajib dimiliki oleh TNI adalah kendaraan tempur, selain untuk menunjang TNI dalam melaksanakan tugas kendaraan tempur berfungsi sebagai pengangkut dan mobilitas bagi anggota TNI<sup>[1]</sup>

Kendaraan tempur memiliki massa yang cukup besar dikarenakan sebagian besar material penyusun kendaraan tersebut adalah baja<sup>[2]</sup>. Beberapa kendaraan tempur yang dimiliki Indonesia adalah *tank* AMX 13 memiliki berat 13.7 ton dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam, selain itu terdapat jenis lainnya yaitu kavaleri Alvis Saracen memiliki berat 11 ton dengan kecepatan rata-rata 72 km/jam<sup>[3]</sup>. Hal ini membuat diperlukannya bahan bakar yang berlebih untuk daya dorong kendaraan tersebut sehingga membuat boros bahan bakar selain itu dengan massa yang besar sehingga menghambat mobilitas dari kendaraan tersebut. Sehingga perlu dicari material alternatif lain untuk menggantikan baja salah satunya adalah MMC (*Metal Matrix Composite*), dengan material penyusunnya adalah aluminium yang diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi. Dipilih aluminium karena densitas aluminium yang jauh lebih ringan dibandingkan dengan baja.

Belakangan ini penelitian untuk aplikasi militer terus dilakukan. salah satu penelitian yang dilakukan adalah dalam penggunaan MMC (*Metal Matrix Composite*). Tujuan dari penggunaan MMC adalah untuk mencegah perforasi dari proyektil, MMC dapat menahan daya deformasi laju regangan yang tinggi. Sehingga alasan penggunaan MMC untuk armor agar dapat menahan laju regangan yang tinggi ketika proyektil menumbuk armor tersebut

Penggunaan paduan aluminium dalam penelitian ini untuk mendapatkan alternatif material yang lebih ringan, aluminium memiliki berat jenis relatif kecil yaitu sebesar  $2.7 \text{ gr/cm}^3$  namun tetap memiliki ketangguhan dan kekuatan

terhadap pembebanan dinamik. Untuk mencapai sifat tersebut aluminium dikombinasikan dengan material lain menjadi komposit. Penelitian dan pengembangan untuk material armor terus dilakukan, salah satunya dengan pengembangan MMC yang diharapkan dapat menggantikan material penyusun kendaraan tempur, minimal sifat mekanik MMC dapat menyamai dari sifat mekanik dari baja yang digunakan untuk material armor.

Sebagai penguat dari matriks komposit menggunakan kawat baja karbon tinggi. Sifat mekanik atau properties dari kawat baja karbon tinggi secara umum direpresentasikan dengan seberapa besar kekuatan tarik kawat baja karbon tinggi tersebut. Baja karbon tinggi merupakan material yang memiliki nilai kekuatan tarik yang relatif tinggi, yakni antara 800 hingga 1000 MPa<sup>[4]</sup>. Dengan kekuatan tarik yang relatif tinggi ini membuat kemampuan dari kawat baja untuk menyerap energi juga cukup besar, sehingga kawat baja karbon tinggi sesuai dalam penggunaan sebagai penguat komposit. Penggunaan kawat baja pada komposit diperuntukkan agar komposit mampu menyerap energi kinetik yang diberikan oleh proyektil ketika proyektil menumbuk komposit.

Kemudian untuk merekatkan matriks (paduan aluminium) dengan penguat (kawat baja karbon tinggi) digunakan adhesif berupa *polyurethane*. Pada dasarnya untuk merekatkan matriks dan penguat ada beberapa metode yaitu, dengan menggunakan *mechanical bonding*, dalam hal ini kedua material direkatkan dengan menggunakan *mechanical interlocking* dimana pada penyambungan dengan metode ini yang menjadi kunci adalah permukaan dari kedua material yang akan disambung, semakin kasar permukaan maka penyambungan makin efektif. Pada metode penyambungan ini efektif jika gaya diberikan paralel kepada *interfaces*<sup>[5]</sup>.

Variasi dari volum fraksi kawat baja karbon tinggi yang dipilih sebesar 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %. Pemilihan volum fraksi tersebut karena jika makin besar volum fraksi pada komposit maka massa jenis dari komposit akan bertambah, sehingga massa dari komposit akan bertambah pula, tujuan dari penggunaan MMC tidak lain adalah mendapatkan sifat mekanik yang menyamai material armor yang telah digunakan dalam hal ini adalah baja, dengan massa jenis yang seminimal mungkin.

## 1.2 Perumusan Masalah

Komposit yang dikembangkan pada penelitian ini adalah untuk aplikasi kendaraan militer yang merupakan jenis komposit pelat laminat yang terdiri dari pelat aluminium 6061 yang diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi berdiameter 1.4 mm dengan susunan satu arah (*unidirectional*). Komposit diharapkan dapat memberikan sifat balistik yang tinggi dengan massa jenis yang lebih ringan. Pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan fraksi volum penguat kawat baja sebesar 2.5%, 5% dan 7.5%. Kemudian dilakukan karakterisasi material yang dilihat melalui beberapa pengujian, yaitu pengamatan struktur makro dari permukaan patahan dengan mikroskop optik, pengujian sifat mekanik serta pengujian balistik. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan penelitian komposit aluminium 6061 penguat kawat baja karbon tinggi berdiameter 1 mm susunan kawat baja *multidirectional* dengan fraksi volum 2.5 %, 5 % dan 7.5 %.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui kemampuan pelat komposit aluminium 6061 dengan penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun secara searah (*unidirectional*) dengan variasi fraksi volum 2.5%, 5% dan 7.5% untuk dapat menahan penetrasi dari proyektil melalui pengujian balistik.
- b. Mengetahui dan menganalisis interaksi antara unsur penguat komposit dalam menahan peluru
- c. Membandingkan kemampuan balistik antara komposit aluminium 6061 berpenguat kawat baja karbon tinggi susunan satu arah (*unidirectional*) dengan komposit aluminium 6061 berpenguat kawat baja karbon tinggi susunan *multidirectional*

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Material yang digunakan untuk membuat komposit tahan peluru adalah pelat aluminium 6061 dengan ketebalan 6 mm, penguat kawat baja karbon tinggi dengan diameter 1.4 mm, dan adhesif berupa *polyurethane*.
- b. Variabel penelitian ini adalah volum penguat kawat baja karbon tinggi yaitu 2.5%, 5%, dan 7.5%.
- c. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode laminasi, dimana penguat kawat baja karbon tinggi disusun searah (*unidirectional*) diantara pelat aluminium dengan penambahan adhesif *polyurethane* untuk memberikan ikatan antara matriks dan penguat.
- d. Pengujian tarik (*tensile testing*), pada aluminium 6061, *adhesif polyurethane*, dan kawat baja karbon tinggi
- e. Karakterisasi sampel komposit aluminium tahan peluru meliputi pengujian mekanik berupa pengujian impak (*impact testing*), pengujian balistik, pengamatan struktur patahan secara makro.
- f. Membandingkan harga impak, diameter perforasi, dan struktur patahan secara makro dengan komposit aluminium 6061 penguat kawat baja karbon tinggi berdiameter 1 mm susunan kawat baja *multidirectional* dengan fraksi volum 2.5 %, 5 % dan 7.5 %.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penelitian komposit tahan peluru ini akan ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

### Bab 1 Pendahuluan

Bab ini terdiri atas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

### Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan mengenai studi literatur yang berkaitan dan mendukung penelitian serta aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan penelitian komposit tahan peluru



### Bab 3 Metodologi Penelitian

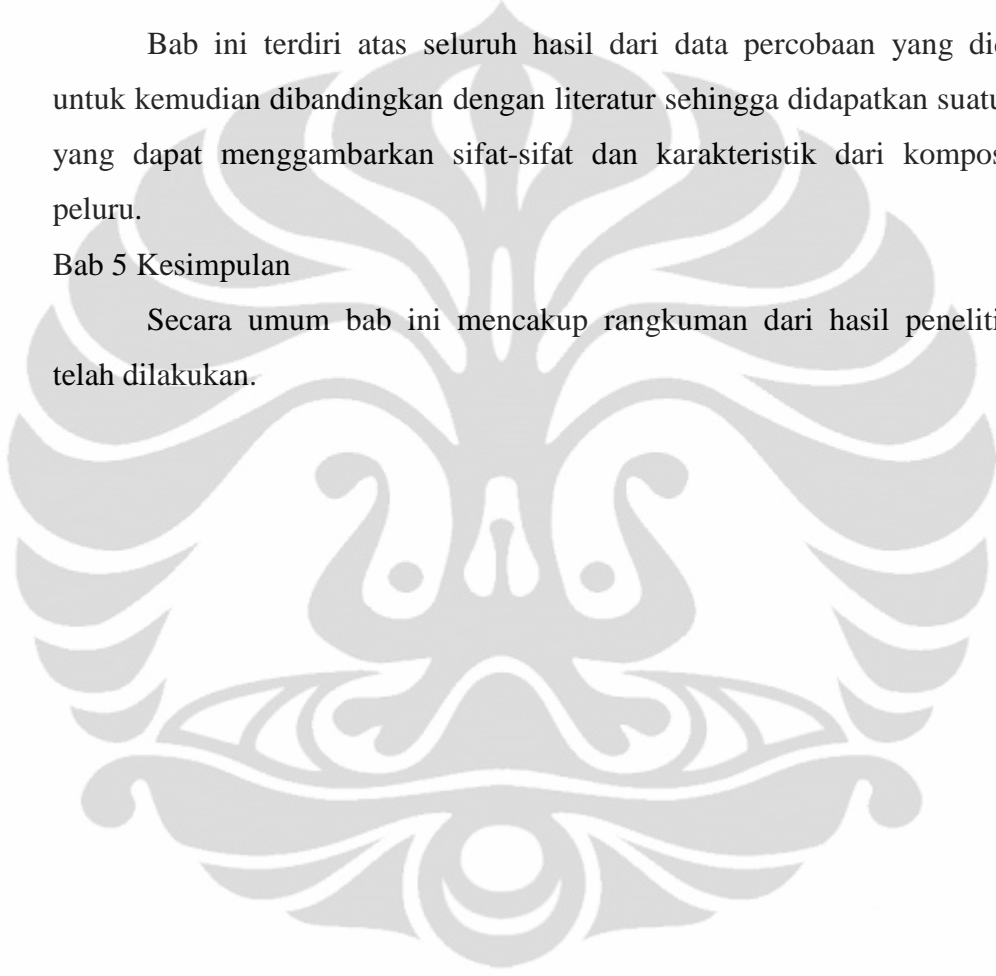
Bab ini memberikan penjelasan mengenai hal-hal yang dilakukan selama penelitian berlangsung, berhubungan dengan proses laminasi, pengumpulan data serta informasi, preparasi sampel, hingga pengujian-pengujian yang dilakukan pada sampel komposit.

### Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini terdiri atas seluruh hasil dari data percobaan yang didapatkan untuk kemudian dibandingkan dengan literatur sehingga didapatkan suatu analisis yang dapat menggambarkan sifat-sifat dan karakteristik dari komposit tahan peluru.

### Bab 5 Kesimpulan

Secara umum bab ini mencakup rangkuman dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

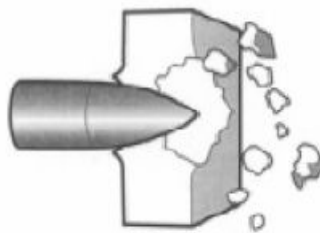


## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Balistik





Balistik merupakan suatu konsep tentang dinamika gerak dari proyektil<sup>[6]</sup>. Proyektil merupakan bagian dari peluru, yang mempunyai massa, dan energi kinetik ketika peluru ditembakkan. Bagian dari peluru adalah selongsong dan proyektil, pada beberapa jenis peluru bagian luar selongsong dan proyektil terbuat dari tembaga yang dilapisi dengan timah, sedangkan bagian dalam selongsong berbentuk lubang dan berisikan mesiu, sedangkan pada proyektil pada bagian dalam terbuat dari hard steel core yang kemudian pada bagian luarnya terbuat dari paduan tembaga dilapisi dengan timah. Selain karena proyektil mempunyai massa dan energi kinetik ketika ditembakkan, material penyusun proyektil yaitu hard steel core yang keras dapat merusak material lain ketika proyektil menumbuk material lain<sup>[7]</sup>.

Peranan dari material armor untuk melindungi struktur atau alat dilakukan dengan menyerap energi kinetik dari proyektil, energi kinetik tersebut diserap oleh material melalui deformasi plastis atau fracture processes. Armor plate harus memenuhi dua fungsi, yaitu peranan untuk melindungi (*protective role*) dan peranan sebagai struktur (*structure role*). Hal ini harus disadari bahwa sebuah armor dapat melindungi tanpa timbulnya kerusakan pada bagian belakang armor (*spalling*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, jika timbul *spalling* pada armor dapat membahayakan pengguna dari hamburan material armor<sup>[8]</sup>. Jika material digunakan sebagai material armor biasanya material tersebut mempunyai kekuatan yang tinggi dan tidak putus (*ruptured*) selama beban impact. Kekuatan tensile dibawah kondisi strain yang tinggi merupakan kunci dari material untuk digunakan sebagai material armor



**Gambar 2. 1** *Spalling* bagian belakang material pada impact balistik<sup>[8]</sup>

Banyak tipe dari proyektil yang digunakan untuk menyerang dan penetrasi sebuah armor (Gambar 2.2), dengan merusak armor yang didorong dengan energi kinetik, maupun proyektil yang merusak dengan bahan kimia. Proyektil dengan jenis yang berbeda kemampuan rusaknya pun juga berbeda, dan konsentrasi dari titik tumbukan juga berbeda. Pada beberapa kasus armor dapat berdeformasi pada daerah yang luas untuk melambatkan dan menghentikan proyektil. Proyektil yang berbeda mempunyai konsentrasi penetrasi (*point of attack*) yang berbeda dan ini diperlukan sekali reaksi dari armor untuk menyebarkan dan meneruskan energi kinetik ke daerah sekitar tumbukan ketika proyektil mengenai material armor. Untuk alasan ini armor sering dibuat dengan multimaterial dengan layer yang berbeda (*multilayer arrangement*) untuk menyediakan fungsi yang spesifik pada sebuah armor<sup>[8]</sup>.

Ammunition	7.62x51 FFV Bofors AB	7.62x51 Hirtenberger Patronfabrik	7.62x51 AP Fabrique National	30-06 AP M2 US Government Arsenal
Total weight (g)	8.21	9.45	9.75	10.69
Core weight (g)	5.93	4.32	3.8	5.17
Core diameter (mm)	5.59	5.59	6.08	6.22
Core nose angle (deg)	58	flat - 2.27mm	45	54
Core hardness (Hv)	1450	750	870	785
Core material	Tungsten carbide	Steel	Steel	Steel
Complete projectiles and disassembled cores				

Gambar 2. 2 Seleksi dari peluru militer[8]

Selain dari jenis proyektil, kerusakan material armor juga disebabkan oleh jenis senjata yang digunakan. Pada tipe I sampai tipe II merupakan proyektil yang digunakan untuk senjata jenis pistol (*handgun*), sedangkan untuk tipe III-A sampai tipe IV untuk senjata laras panjang (*rifle*), senjata-senjata tersebut memberikan efek kecepatan yang berbeda-beda pada proyektil (Tabel 2.1).

**Tabel 2.1** Klasifikasi tipe material tahan peluru dan proyektil peluru sesuai standar NIJ 0108.01<sup>[9]</sup>

Tipe <i>Armor</i>	Amunisi / Peluru	Massa peluru (gr)	Panjang laras (cm)	Kecepatan peluru (m/s)
I	22 LRHV Lead	40	15-16.5	320±12
	38 Special RN Lead	158	15-16.5	259±15
II-A	357 Magnum JSP	158	10-12	381±15
	9 mm FMJ	124	10-12	332±12
II	357 Magnum JSP	158	15- 16.5	425±15
	9 mm FMJ	124	10-12	358±12
III-A	44 Magnum Lead SWC Gas Checked	240	14-16	426±15
	Submachine gun (SMG) 9 mm FMJ	124	24-26	426±15
	7,62 mm (308 Winchester) FMJ	150	56	838±15
IV	30-06 AP	166	56	868±15

Keterangan :

- *Long Rifle High Velocity* (LRHV)
- *Lead* = paduan timah dengan proses *hardening*
- *Round Nose* (RN)
- *Full Metal Jacket* (FMJ) = timah yang dibungkus dengan paduan tembaga (90Cu – 10Zn)
- *Jacketed Soft Point* (JSP) = timah yang dibungkus dengan paduan tembaga (90Cu – 10Zn) kecuali pada bagian ujungnya
- *Semi Wadcutter* (SWC) = *flat nose*, dengan badan peluru silinder meruncing
- *Armor Piercing* (AP)

Penyerapan energi dari sistem laminat komposit dibawah beban impak balistik tergantung dari beberapa faktor antara lain yaitu sifat dari material baik matriks dan penguatnya, struktur dari *fabric*, geometri proyektil, kecepatan impak, susunan lapisan dan antarmuka dari komposit laminat tersebut<sup>[5]</sup>.

Pada kecepatan impact yang rendah, membuat energi kinetik peluru dapat diterima oleh material dan meneruskan energi impact tersebut ke seluruh permukaan material, dan energi kinetik yang diterima material, berubah menjadi energi deformasi sepanjang keseluruhan pelat, selanjutnya energi kinetik tersebut akan diteruskan dan diterima oleh penguat.

Pada kecepatan impact yang tinggi, energi kinetik bertambah besar sehingga pada titik terjadinya tumbukan material tidak mampu menyerap dan meneruskan energi tersebut keseluruhan permukaan material, sehingga tegangan terlokalisasi pada satu titik dan memicu kerusakan pada permukaan material. Kerusakan pada serat juga akibat adanya tegangan yang terlokalisasi dan juga karena adanya efek indentasi akibat tinggi deformasi pada permukaan matriks<sup>[10]</sup>.

Penelitian yang dilakukan oleh institusi Material dan mekanika Slovakia<sup>[11]</sup> menemukan bahwa untuk material yang tahan pengujian balistik sebaiknya memiliki mekanisme penahanan gerak peluru sebagai berikut :

- a. Lapisan terluar harus sangat keras bahkan melebihi kekerasan dari peluru, sehingga dapat memecahkan ujung dari peluru yang keras,
- b. Lapisan didalamnya harus mampu menyerap energi kinetik yang dihasilkan oleh gerak peluru.

## **2.2. Aluminium**

### **2.2.1 Penamaan Aluminium**

Pada proses klasifikasi aluminium dibagi menjadi dua kelompok yaitu klasifikasi aluminium hasil dari pengecoran berdasarkan komposisi dan klasifikasi aluminium tempa (*wrought aluminium*) berdasarkan komposisi.

Berdasarkan penamaan menurut *Aluminium Association* yang memakai *Standard American Standard Institute* (ANSI) H35.1, sistem penamaan aluminium tempa berdasarkan komposisi paduan utama yang terkandung didalamnya. Sistem penandaan dilakukan dengan menggunakan empat digit angka, angka pertama menunjukkan jenis unsur paduan utama dan dominan yang terkandung didalam paduan aluminium tersebut<sup>[13]</sup>. Aluminium dengan kode angka 1xxx merupakan aluminium murni dengan kandungan aluminium mencapai

99%, sedangkan aluminium dengan kode angka 2xxx, 3xxx, dan seterusnya merupakan paduan aluminium dengan menggunakan unsur paduan spesifik tertentu yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. :

**Tabel 2. 2** perbandingan karakteristik dan sifat berbagai seri paduan aluminium<sup>[12]</sup>

Nomor Seri	Elemen Paduan Utama	Ketahanan Korosi Relatif	Kekuatan Relatif	Heat Treatment
1xxx	tidak ada	sangat baik	buruk	tidak dapat
2xxx	Tembaga (Cu)	buruk	sangat baik	dapat
3xxx	Mangan (Mn)	baik	buruk	tidak dapat
4xxx	silikon (Si)			tergantung paduan
5xxx	magnesium	baik	baik	tidak dapat
6xxx	magnesium dan silikon	baik	baik	dapat
7xxx	zinc	buruk	sangat baik	dapat

### 2.2.2 Aluminium 6061

Aluminium yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium 6061. Tabel 2.2 menunjukkan komposisi kimia dari aluminium 6061,

Aluminium 6061 memiliki kekuatan hampir sama dengan baja A36 (seperti terlihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4). Dengan kekuatan yang hampir sama akan tetapi beratnya hanya sepertiga dari berat baja tersebut, Aluminium 6061 memiliki *strenght-to-weight ratio* yang lebih besar dibandingkan dengan baja A36.

**Tabel 2. 3** Komposisi kimia dari aluminium 6061<sup>[12]</sup>

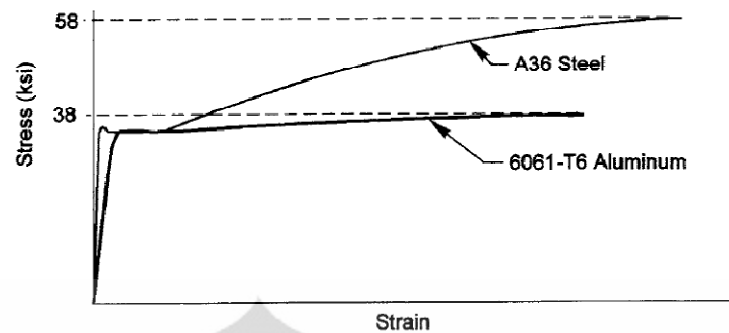
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6061	0.40–0.8	0.7	0.15–0.40	0.15	0.8–1.2	0.04–0.35	0.25	0.15

**Tabel 2. 4** Perbandingan properties AA 6061 dengan baja AISI A36<sup>[12][14]</sup>

Karakteristik	Aluminium 6061-T651	Carbon Steel A36	Stainless Steel 304 cold-finished
Kemampuan Ekstrusi	Sangat baik	Tidak untuk diaplikasikan	Sangat terbatas
Kemampuan Las	Buruk, mengurangi kekuatan	Baik, tidak mengurangi kekuatan	baik
Ketahanan Korosi	Baik	Buruk	Sangat baik
Kekuatan Tensile	310 MPa	400-500 MPa	515 MPa
Modulus Elastisitas	69 GPa	207 GPa	193 GPa
Elongasi	8% sampai 17%	20%	30%
Kekuatan fatik (5 juta putaran)	70.28 MPa	167.52 MPa	-
<i>Strength to weight ratio</i>	2.8	1.0 sampai 1.4	1.2
kekuatan yield	276 MPa	220-250 MPa	205 MPa
Densitas	2.713 gr/cm <sup>3</sup>	7.844 gr/cm <sup>3</sup>	7.842 gr/cm <sup>3</sup>

Selain itu AA 6061 mempunyai kekerasan yang cukup tinggi dibandingkan dengan aluminium seri lainnya, aluminium 6061 mempunyai indikator kekerasan sebesar 95, pengujian dilakukan dengan menggunakan typical Brinell Hardness (*500 kg load 10 mm Ball*). Dilihat dari spesifikasi diatas aluminium 6061 mempunyai kekuatan yang cukup tinggi, hal ini dilihat dari kekuatan strength-to-weight ratio dimana aluminium 6061 mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja A36, kekuatan AA 6061 dibandingkan dengan baja A36 dapat dilihat pada Gambar 2.3 dimana grafik perbandingan stress strain curve antara baja A36 dan AA 6061





Gambar 2. 3 Grafik perbandingan stress strain curve pada baja A36 dan AA6061-T6[12]

### 2.2.3 Aluminium Balistik

Untuk mendapatkan sistem yang lebih efisien, kendaraan militer pada bagian tertentu yang menggunakan bahan baja mulai digantikan dengan bahan paduan aluminium, terutama untuk meningkatkan ketahanan terhadap balistik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ubeyli et al<sup>[26]</sup>, menemukan dan menguji coba kekerasan AA7075, 5083 dan baja AISI 4140 tentang ketahanan terhadap balistik 7.62 AP. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa AA 7075 memiliki ketahanan balistik yang paling tinggi dibandingkan dengan baja AISI 4140 dan AA 5083, hal ini didapatkan seiring dengan meningkatnya kekerasan pada aluminium ketahanan balistik juga semakin tinggi. Kelebihan yang dimiliki oleh material aluminium adalah memiliki keuletan yang tinggi, tetapi untuk ketangguhannya material aluminium relatif lebih rendah dibandingkan dengan material baja sehingga material aluminium sering diproses lebih lanjut untuk menghasilkan aluminium yang lebih kuat dan tangguh. Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Jha, et al<sup>[27]</sup>, penelitian tersebut dilakukan untuk mengamati kemampuan balistik pelat aluminium 2219, Aluminium seri tersebut dilakukan proses pengelasan dengan pengisi (*filler*) aluminium 2319. pengujian balistik dilakukan dengan peluru kaliber 9 mm, 7.02 mm, 5.52 mm dan 7.62 mm. Didapatkan hasil dari pengujian yang dilakukan pelat tersebut dapat menahan peluru kaliber 9 mm dengan baik, pada permukaan logam aluminium 2219 maupun pada bagian hasil lasan dengan pengisi aluminium 2319

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh B Srivathsa dan N Ramankrishnan<sup>[28]</sup>. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengamati kemampuan

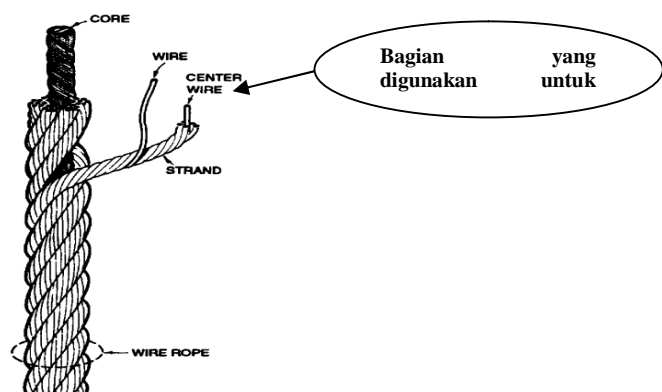
balistik dari armor berbahan logam, material yang diamati adalah paduan Al, paduan Ti, Baja, dan *Mild Steel*. Diamati bahwa kemampuan suatu material untuk menahan peluru bergantung pada material untuk menyerap energi kinetik peluru dengan berdeformasi secara elastis maupun plastis. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa pada Paduan Al dan *mild steel* dapat menahan peluru berkecepatan rendah, sedangkan Paduan Ti dan Baja dapat menahan peluru berkecepatan tinggi.

## 2.3 Wire Rope

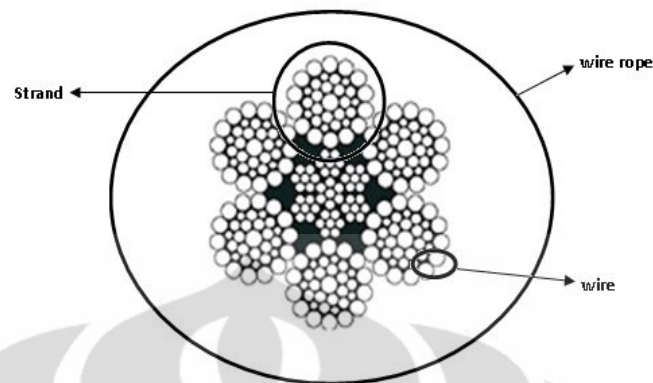
### 2.3.1 Struktur Penyusun *Wire Rope*

Dalam pembuatan komposit, dibutuhkan adanya *reinforcement* (penguat), pada perancangan komposit ini penguat yang digunakan adalah kawat baja karbon tinggi. Kawat baja karbon tinggi memiliki kadar  $>0.44\%$  C dengan penambahan paduan lainnya<sup>[16]</sup>. Kawat baja karbon tinggi yang digunakan merupakan bagian dari tali baja (*wire rope*) yang sering digunakan dalam aplikasi struktural bangunan, dalam aplikasi struktural tali baja sering digunakan untuk aplikasi struktural jembatan suspensi (*suspension bridge*)<sup>[15]</sup>. Struktur tali baja dapat dilihat pada Gambar 2.4

Pada Gambar 2.4, bagian yang digunakan untuk penguat adalah pada bagian kawat (*wire*). Diameter kawat yang digunakan sebesar 1.4 mm. Proses pemisahan kawat dari *strand* dipisahkan dan dilepas dengan manual menggunakan tangan. Jumlah pilinan dari *wire rope*, memiliki ukuran 6x19, hal ini berarti pada *wire rope* terdapat 6 *strand*, dan pada satu *strand* terdapat 19 *wire*<sup>[15]</sup>. Gambaran bentuk penampang melintang dari *wire rope* dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 4 Struktur dan bagian dari tali baja (*wire rope*)<sup>[18]</sup>



**Gambar 2. 5** Penampang melintang *Wire Rope* <sup>[17]</sup>

### 2.3.2 Karakteristik *Wire Rope*

Penguat yang digunakan pada komposit ini adalah, kawat baja karbon tinggi. Kawat baja karbon tinggi mempunyai kekuatan yang tinggi, banyak digunakan untuk aplikasi struktural terutama untuk *suspension bridge* kawat baja harus tahan terhadap beban tarik, dan harus tahan terhadap kegagalan akibat kegagalan fatik, karena kawat baja sering digunakan untuk aplikasi struktural. Sifat dan karakteristik dari wire rope yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.5. Sifat mekanik yang dibutuhkan untuk *wire rope* harus memenuhi<sup>[15]</sup> :

- a) Kekuatan yang tinggi
- b) *Ductility* yang memadai
- c) *Bendability*, kemampuan untuk wire rope untuk dapat ditekuk
- d) Ikatan yang kuat antara *wire*, *strand*, dan gabungan *strand*
- e) *Low relaxation*, untuk mengurangi beban
- f) Korosi minimum

**Tabel 2. 5** Sifat Mekanik *Wire Rope*<sup>[19]</sup>

Properties Wire Rope	Spesifikasi
Standar material	ANSI/API Spec. 9A/2004
Diameter <i>rope</i>	1.42 mm
Diameter kawat	22.00 mm
Kekuatan tarik kawat	1960 N/mm <sup>2</sup>
<i>Breaking load</i>	176.52 kN

## 2.4 Adhesif

Adhesif secara luas digunakan untuk menggabungkan dan merakit (assembly) dari dua material, secara keuntungan penggabungan dua material dengan menggunakan adhesif adalah biaya yang rendah dan bisa beradaptasi untuk produksi dengan tingkat yang tinggi. Ikatan adhesif adalah proses dimana adhesif berperan sebagai agen untuk menahan dua substrat secara bersamaan kedua substrat tersebut, kedua substrat dalam hal ini adalah matriks dan penguat. Polyester-based polyurethane sering digunakan dibandingkan dengan dengan adhesif polyether karena properties kohesif dan adhesif urethane lebih kuat<sup>[20]</sup>. Beberapa keuntungan yang didapat penggabungan material dengan penggunaan adhesif dibandingkan dengan metode penggabungan lainnya antara lain<sup>[21]</sup> :

- a. Adhesif dapat menggabungkan material dengan jenis yang berbeda
- b. Pada penggunaan adhesif distribusi tegangan seragam ketika substrat diberi pembebanan
- c. Adhesif dapat digunakan untuk menyambung substrat yang sangat tipis

Polimer adhesif yang dijual pasaran dibagi menjadi empat kategori, yaitu : *solvent-based*, *water-based*, *100% solids (hot melt)*, dan *radiation cured*, dari keempat tipe adhesif tersebut dapat dibedakan<sup>[20]</sup> :

### a. *Solvent-based* adhesif

Merupakan adhesif yang dibuat dengan cara melarutkan material padat yang cocok dengan cairan organik yang dibutuhkan, menghasilkan larutan dalam fasa cair. dimana memberikan efek pembasahan pada substrat, lalu larutan adhesif tersebut akan kering melalui evaporasi, sehingga meninggalkan lapisan adhesif yang padat.

### b. *Water-based* adhesif

Pada adhesif tipe ini mengandung beberapa material tradisional, sebagai contoh animal glue atau gums yang berasal dari sumber alami. biasanya adhesif yang berbasis air yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah PVA (*poly vinyl acetate*), keuntungan yang didapat adalah pengaturannya yang cepat, penekanan yang lebih sebentar dan dapat diaplikasikan pada variasi yang luas. Secara umum PVA digunakan untuk

substrat yang memiliki pori atau lubang atau *permeable* untuk *moisture* untuk menguap. Dua substrat dapat digabungkan selama adhesif masih dalam keadaan basah sementara *moisture* dapat diserap oleh substrat dengan evaporasi atau permeabiliti

c. *Hot Melt* adhesif

*Hot melt* adhesif merupakan thermoplastik dimana lelehan (*molten*) diaplikasikan kepada substrat, pengaturan adhesif ini harus cepat, tidak mengandung pelarut sama sekali dan 100% solid, hal ini berarti tidak ada evaporasi selama curing. *Melt* adhesif yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah EVA (ethylene-vinyl acetate), yang banyak digunakan untuk menggabungkan sampul pada buku.

d. *Radiation-cured* adhesif

Adhesif tipe ini diaplikasikan, benda yang ingin kita gabungkan ter-expose cahaya UV (ultra violet), sehingga adhesif tipe ini mengalami masa curing ketika terkena cahaya UV. Bentuk radiasi ini menginisiasi energi adhesif untuk polimerisasi dari *low-molecular-weight unsaturated resin*. adhesif tipe ini banyak yang ditambahkan aditif untuk meningkatkan sifat mekanik terutama *light stabilizer*, adhesif tipe ini yang banyak dipakai adalah tipe *acrylitic*. adhesif ini sering digunakan dalam industri untuk menyambung substrat yang sulit untuk disambungkan.

#### 2.4.1 Adhesif *Polyurethane*

Adhesif *polyurethane* merupakan jenis adhesif yang termasuk kedalam *solvent-based* adhesif, secara luas digunakan untuk menggabungkan elastomer, fabric dan thermoplastik. *Polyurethane* pilihan yang sangat baik untuk menggabungkan logam dengan plastik dan *polyurethane* sangat cocok untuk digunakan pada temperatur yang sangat rendah (cryogenic temperature), dimana kebanyakan adhesif mengalami embrittlement pada temperatur tersebut. Keunggulan lainnya pada *polyurethane* pada suhu yang sangat rendah *polyurethane* masih dapat menjaga kekuatan geser dan ketangguhannya. Karena sifat mekaniknya yang tinggi pada dunia industri, *polyurethane* sering dipakai untuk menggantikan metode penyambungan secara konvensional antara lain dengan menggunakan, paku, mur, dan rivet. Sifat dari adhesif *polyurethane*

berhubungan dengan sifat kutub dari paduan makromolekular yang digunakan pada formulasi. Lebih lanjut lagi dengan adanya *isocyanates* pada komposisi *polyurethane* yang bereaksi dengan aktif hidrogen yang timbul pada lapisan *polyurethane* atau air yang sering berada pada lapisan permukaan substrat. Pada reaksi ini akan menghasilkan ikatan yang kuat<sup>[20]</sup>. Pada penelitian ini menggunakan *polyurethane* dengan merk dagang Seal N Flex 1 (Bostik), pada Tabel 2.6 adalah sifat mekanik dari adhesif tersebut setelah curing

**Tabel 2. 6** Properties adhesif *polyurethane* setelah curing<sup>[22]</sup>

Sifat	Properties
Metode Curing	Moisture Curing
Berat Jenis	1.23 g/ml
Kekuatan tarik	1.3 Mpa
Elongasi	>900 %
Temperatur aplikasi	5 <sup>0</sup> C sampai 35 <sup>0</sup> C
Temperatur Kerja	-40 <sup>0</sup> C sampai +70 <sup>0</sup> C
Full Curing	7 hari pada substrat berpori

#### 2.4.2 Curing Adhesif

Pada adhesif *polyurethane*, ikatan *urethane* (-NHCOO-) dibentuk dengan reaksi *isocyanate* (-NCO) dan alkohol. *Isocyanate* adalah material yang sangat reaktif dan sangat bereaksi dengan molekul aktif hidrogen, seperti air, amina, dan juga *urethane*. Dengan adanya reaksi antara *isocyanates* dengan molekul aktif hidrogen akan menghasilkan ikatan yang kuat, reaksi tersebut akan menghasilkan curing<sup>[20]</sup>.

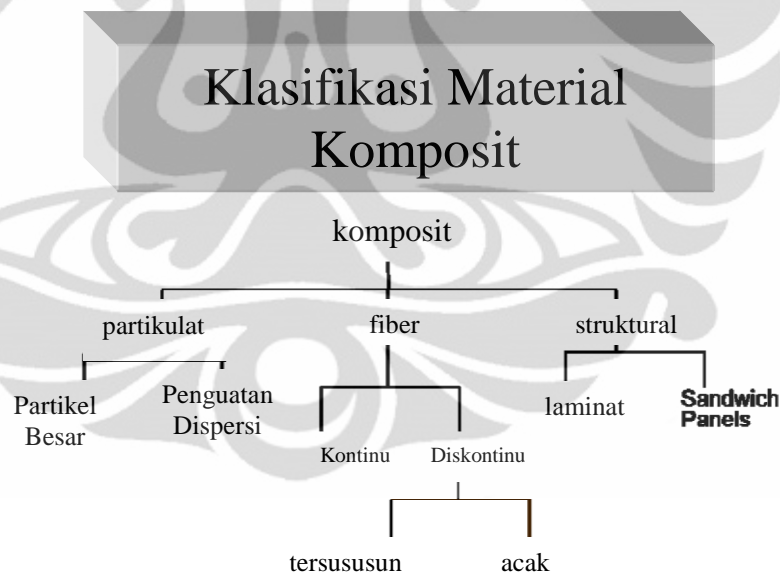
Pada adhesif *polyurethane* curing baik pada temperatur berkisar antara 2-40<sup>0</sup>C dengan kelembapan relatif sekitar 40-70%<sup>[23]</sup>. Laju curing bergantung kepada banyaknya molekul aktif hidrogen dan komposisi kimia *polyurethane* yaitu banyaknya *isocyanates* pada *polyurethane*, semakin banyak molekul aktif hidrogen dan *isocyanates* maka ikatan semakin kuat dan laju curing makin cepat sehingga kelembapan sangat berpengaruh pada proses curing pada adhesif *polyurethane* ini<sup>[23]</sup>.

## 2.5 Komposit

### 2.5.1 Definisi Komposit

Komposit material adalah kombinasi dari material yang berbeda yang digabungkan untuk mendapatkan fungsi yang istimewa. Kombinasi material dapat berupa jenis material yang sama (logam dengan logam) maupun jenis material yang berbeda (keramik dengan plastik). Material komposit dibuat untuk memperoleh properties yang tidak dipunyai oleh material individual. Komposit diproduksi untuk mengoptimalkan material properties seperti kekuatan, ketahanan kimia, konduktivitas thermal dsb. pada material komposit jika perpaduan terjadi pada skala makroskopis maka disebut komposit, akan tetapi jika perpaduan terjadi secara mikroskopis (molekular level) maka disebut *alloying* atau paduan<sup>[24]</sup>.

Berdasarkan bentuk dan penguat komposit dibagi menjadi tiga yaitu partikel, fiber dan struktural. Struktur pembagian komposit berdasarkan bentuk dan penguat dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini



**Gambar 2. 6** Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk dan penguat<sup>[24]</sup>

### 2.5.2 Matriks

Matriks merupakan fasa pada komposit yang menjadi bagian penting pada komposit, karena matriks merupakan unsur/fasa terbanyak pada komposit. Matriks menjadi bagian yang dominan pada komposit hal ini sehingga matriks menentukan jenis komposit yang akan digunakan atau dibuat, hal ini dapat dilihat



dari penamaan komposit secara umum yaitu berdasarkan matriks. Pembagian komposit berdasarkan matriks dibagi menjadi tiga yaitu MMC (Metal Matrix Composites), PMC (Polymer Matrix Composites), dan CMC (Ceramic Matrix Composites). beberapa fungsi dari matriks pada komposit adalah<sup>[24]</sup> :

- a. Mentransfer tegangan ke serat/penguat
- b. membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat
- c. melindungi serat dari lingkungan luar
- d. Menahan retakan yang menyebar diantara penguat
- e. menahan penguat dari orientasi yang dibutuhkan

### 2.5.3 Penguat

Penguat pada komposit berfungsi untuk memberikan kekuatan pada komposit, penguat umumnya akan menahan beban atau tegangan yang akan diaplikasikan pada komposit syarat material untuk menjadi penguat antara lain harus mempunyai kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan matriks penyusunnya. pembagian komposit berdasarkan penguatnya dibagi menjadi tiga yaitu, *particulate, fiber dan struktural* seperti yang terdapat pada gambar 2.6

### 2.5.4 Antarmuka

Antarmuka pada komposit merupakan hal yang sangat penting karena berpengaruh pada ikatan antara matriks dengan penguatnya. Antarmuka pada komposit sangat bergantung pada pembasahan permukaan (*wettability*) antara matriks dengan penguatnya, makin baik *wettability* maka semakin baik antarmuka yang terbentuk. Ikatan antara matriks dan penguat mempunyai pengaruh akan properties dari komposit jika ikatan antar matriks dan penguat baik, dalam hal ini antarmuka antar matriks dan penguat baik maka properties baik, akan tetapi jika antarmuka buruk maka kekuatan dari komposit akan menurun<sup>[5]</sup>.

## 2.6 Komposit Balistik

Pengembangan ilmu material terus berkembang salah satunya dengan pengembangan komposit balistik dimana penelitian terus dilakukan demi mendapatkan material ringan yang tahan terhadap balistik. Penelitian yang dilakukan oleh Paul J. Hogg<sup>[8]</sup> menyebutkan bahwa komposit merupakan solusi

bagi armor dan kebutuhan akan mobilitas dan transportasi Penelitian yang dilakukan adalah seberapa besar armor yang terbuat dari komposit fibre dapat menyerap energi kinetik dari peluru, aluminium foam yang dilapisi oleh keramik pada bagian permukaan kemudian pada bagian tengah dilapisi oleh serat carbon, didapatkan hasil peluru tidak dapat menembus komposit. Daya rusak dari pengujian balistik juga dapat dilihat bahwa penggunaan aluminium foam tidak hanya meningkatkan kemampuan balistik secara berulang kali, tetapi juga menghalangi peluru untuk terpental balik dan meminimalisasi kerusakan pada sisitem armor.

Penelitian lebih lanjut oleh Montgomery et al<sup>[29]</sup>, yang meneliti tentang kendaraan tempur yang terbuat dari paduan titanium. Paduan titanium Ti-6Al-4V yang dibuat dengan *Electron-Beam Cold-Hearth-Melting* dan dilakukan proses pengerasan melalui *heat-treatment* dilakukan pengujian balistik dengan menggunakan 20 mm FSP V<sub>50</sub> dan .50 cal AP V<sub>50</sub>, didapatkan hasil material tersebut dapat menghentikan peluru yang berkecepatan rata-rata 950-980 m/s untuk 20 mm FSP V<sub>50</sub> dan 650-700 m/s untuk .50 cal AP V<sub>50</sub>. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Peijen M.C.P et al<sup>[30]</sup>, penelitian tersebut mengenai paduan Ti-6Al-4V. Pengujian balistik menggunakan 12.7 dan 14.5 mm AP didapatkan hasil untuk V<sub>50</sub> rata-rata material dapat menghentikan peluru dengan kecepatan 900 m/s dan untuk V<sub>90</sub> rata-rata material dapat menghentikan peluru dengan kecepatan 850 m/s.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh French A. Mark<sup>[31]</sup> dimana menggunakan komposit untuk membuat kendaraan AFVs lebih ringan dengan menggunakan metode modelling. Didapatkan hasil membuat kendaraan AFVs mempunyai massa yang lebih ringan, meningkatkan kemampuan balistik terhadap amunisi yang kecil, mengurangi *spalling* pada material atau kerusakan pada bagian belakang armor dan mengurangi jumlah part pada mobil tersebut.

Komposit banyak digunakan penggunaan untuk dijadikan sebagai material armor, karena ringan, kemampuannya menyerap energi dan *strength-to-weight ratio* yang tinggi.

## 2.7 Teori Mikromekanik

Teori mikromekanik digunakan untuk menghitung dan memprediksi sifat dari komposit laminat, dalam pembuatan komposit laminat kombinasi antara matriks dan penguat sangat penting untuk itu perlu adanya prediksi antar material penyusun dari komposit dan sifat yang akan dihasilkan pada komposit tersebut. Mikromekanik mempelajari tentang tingkatan konstituen, pengamatannya berupa diameter serat, ukuran partikel, susunan serat, orientasi serat semua hal tersebut sangat mempengaruhi sifat mekanik dari komposit<sup>[25]</sup>.

Fraksi volume

dimana ;  $v_c$  = volum komposit

$$V_m = \frac{v_m}{v} \quad (2.1)$$

$$V_f = \frac{v_f}{v} \quad (2.2)$$

dimana,  $V_c = V_m + V_f$

$$V_m + V_f = 1$$

Modulus elastisitas longitudinal ; isostrain ( $\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f$ )

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.3)$$

Modulus elastisitas transversal ; isostress ( $\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f$ )

$$\frac{1}{E_2} = \frac{v_f}{E_f} + \frac{v_m}{E_m} \quad (2.4)$$

Modulus geser ( $G_{12}$ ) dan poisson's ratio ( $\nu_{12}$ )

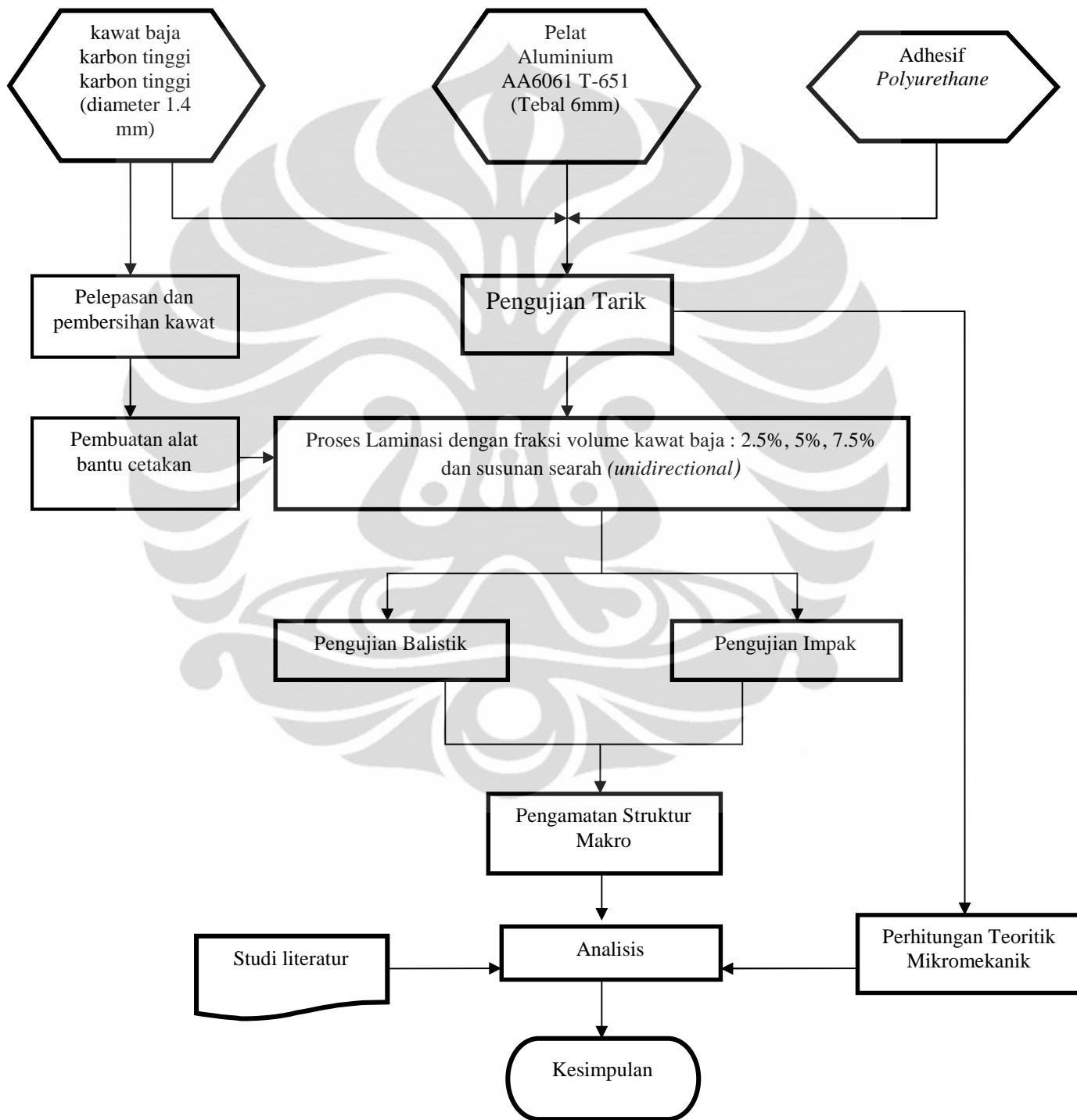
$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_f}{G_f} + \frac{v_m}{G_m} \quad (2.5)$$

$$\nu_{12} = \nu_f v_f + \nu_m v_m \quad (2.4)$$

$$\nu_{12} = \nu_f v_f + \nu_m v_m \quad (2.5)$$

**BAB 3**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

- a. Mesin Press hidrolik dengan merk Krisbow
- b. Mesin Bor
- c. Mesin gergaji duduk (Band Saw Machine)
- d. Cutting Wheel
- e. Alat uji kekerasan rockwheel dengan merk Rocky FR-1AN
- f. Alat uji tarik plastik LF Plus Series Digital
- g. Pistol P2 PINDAD
- h. Senapan Laras Panjang
- i. Kamera SLR E50 merk Canon
- j. Jangka Sorong
- k. Gergaji Tangan
- l. Batang Baja U5
- m. Ulir Panjang (drat)
- n. Rivet
- o. Tang
- p. kunci pas ukuran 8 dan 20
- q. Mur
- r. Timbangan

#### 3.2.2 Bahan

- a. Pelat AA 6061-T651 sebagai bahan untuk matriks komposit berdimensi 30.5 cm x 30.5 cm x 6 mm.
- b. Kawat baja karbon tinggi berdiameter 1.4 mm digunakan sebagai reinforcement pada pembuatan komposit ini.
- c. Adhesif Polyurethane dengan merk dagang Seal n Flex (Bostik) digunakan sebagai perekat dua substrat antara matrik dan penguat (wetting agent)

### 3.3 Prosedur Pembuatan Sampel Komposit

#### 3.3.1 Perhitungan Fraksi Volume Sampel Komposit

Jumlah Variabel fraksi volume yang digunakan dalam perancangan komposit ini adalah 2.5%, 5%, dan 7.5%. Jumlah fraksi volume disini mempunyai arti adalah banyaknya jumlah penguat yang digunakan dalam pembuatan sampel komposit tahan peluru, dalam hal ini adalah banyaknya jumlah kawat baja yang digunakan dalam perancangan komposit, sehingga perlu dihitung jumlah kawat baja yang dibutuhkan dalam perancangan komposit tahan peluru ini. Perhitungan jumlah penguat (kawat baja) dihitung menggunakan rumus hukum campuran (rule of mixture) seperti pada persamaan 3.1.

$$V = V_{Al} \quad V_{kawat} \quad (3.1)$$

Perhitungan fraksi volume dari material-material penyusun komposit tersebut berdasarkan volume aluminium atau volume kawat berbanding dengan volume komposit, berdasarkan persamaan 3.2 dan 3.3

$$v = \frac{V_{Al}}{V_{komposit}} \quad (3.2)$$

$$v = \frac{V_{kawat}}{V_{komposit}} \quad (3.3)$$

Volume aluminium dapat diketahui dengan perhitungan luas daerah dari aluminium (berdasarkan standard NIJ 0108.01) dikali dengan tebal aluminium, setelah volume aluminium diketahui dicari volume dari komposit dengan menggunakan persamaan 3.3, setelah volume komposit diketahui maka dicari volume dari kawat baja karbon tinggi dengan menggunakan persamaan 3.2. Mendapatkan fraksi volume dari kawat baja karbon tinggi dapat menggunakan persamaan 3.4. Lalu setelah mendapatkan volume dari kawat baja karbon tinggi kita mencari banyaknya jumlah kawat dengan menggunakan persamaan 3.5. Sehingga didapatkan banyaknya jumlah kawat yang dibutuhkan dalam penyusunan komposit pada masing-masing fraksi volume

$$v = \frac{V_{kawat}}{V_{komposit}} \quad (3.4)$$

$$n = \frac{a \text{ at penguat}}{\text{satu buah} \quad a \text{ at}} \quad (3.5)$$

Berikut adalah perhitungan untuk banyaknya kawat baja, pada perancangan komposit :

Dimensi pelat AA 6061 T-651 :

panjang = 30.5 cm, lebar = 30.5 cm, tebal = 2 x 0.6 = 1.2 cm

Volume Aluminium =  $V_{Al} = 30.5 \times 30.5 \times 1.2 = 1116.3 \text{ cm}^3$

Dimensi 1 batang kawat:

panjang 30.5 cm, diameter kawat = 1.4 mm = 0.14 cm

Volume 1 batang kawat =  $\frac{1}{4} \pi (0.14)^2 \times 30.5 = 0.47 \text{ cm}^3$

**Untuk fraksi volume kawat 2.5 % :**

$$\frac{V}{\%} = \frac{V}{100 \%}$$

$$\frac{1116.3}{\%} = \frac{V}{100 \%}$$

$$V = 1116.3 \text{ cm}^3$$

$$V_{kawat} = V_{Al} = 1116.3 \times \frac{2.5}{100} = 27.9 \text{ cm}^3$$

$$\text{Banyaknya kawat} = \frac{V_{kawat}}{V_{\text{volume 1 kawat}}} = \frac{27.9}{0.47} = 61 \text{ batang kawat.}$$

**Untuk fraksi volume kawat 5 % :**

$$\frac{V}{\%} = \frac{V}{100 \%}$$

$$\frac{1116.3}{\%} = \frac{V}{100 \%}$$

$$V = 1116.3 \text{ cm}^3$$

$$V_{kawat} = V_{Al} = 1116.3 \times \frac{5}{100} = 55.8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Banyaknya kawat} = \frac{V_{kawat}}{V_{\text{volume 1 kawat}}} = \frac{55.8}{0.47} = 125 \text{ batang kawat.}$$

**Untuk fraksi volume kawat 7.5 % :**

$$\frac{V}{\%} = \frac{V}{100 \%}$$

$$\frac{1116.3}{\%} = \frac{V}{100 \%}$$

$$V = 1116.3 \text{ cm}^3$$

$$V_{kawat} = V_{Al} = 1206.8 - 1116 = 90.5 \text{ cm}^3$$

$$\text{Banyaknya kawat} = \frac{V_{kawat}}{V_{volume\ kawat}} = \frac{90.5}{0} = 193 \text{ batang kawat}$$

Sehingga dari hasil perhitungan didapatkan dari hasil perhitungan berupa volume dari matriks aluminium, volume dari penguat kawat baja karbon tinggi, dan volume dari komposit dari masing-masing fraksi volume (tabel 3.1), selain itu dari data perhitungan penguat kawat baja karbon tinggi kita bisa menentukan banyaknya jumlah kawat yang dibutuhkan dalam pembuatan komposit pada masing-masing fraksi volume (tabel 3.2)

**Tabel 3. 1** Data Volume aluminium, penguat kawat baja, komposit pada masing-masing fraksi volume

% volume kawat baja	Volume Aluminium (cm <sup>3</sup> )	Volume Komposit (cm <sup>3</sup> )	Volume Penguat (cm <sup>3</sup> )
2.5	1116.3	1144.9	28.6
5	1116.3	1175.1	58.8
7.5	1116.3	1206.8	90.5

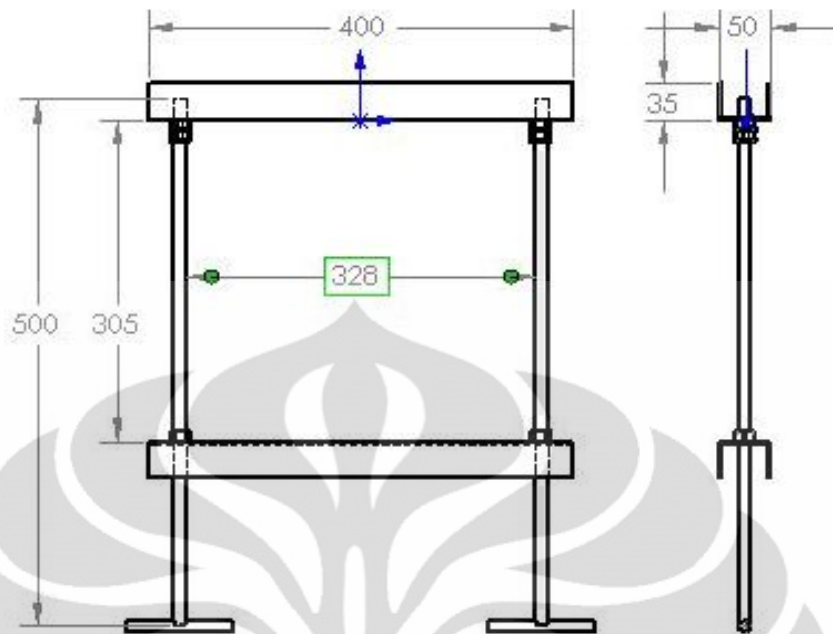
**Tabel 3. 2** Banyaknya jumlah kawat pada masing-masing fraksi volume komposit

% volume kawat baja	Jumlah kawat
2.5	61
5	125
7.5	193

### 3.3.2 Pembuatan Alat Bantu Perancangan Komposit

Penguat yang digunakan berupa kawat baja karbon tinggi, kawat tersebut berupa pilinan sehingga untuk memudahkan proses laminasi perlu dibuat suatu alat untuk meluruskan kawat. Pertama kita harus membuat suatu desain untuk model alat bantu ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2. Alat bantu cetakan dibuat menggunakan material yang mudah dicari dan diperjual-belikan secara komersil. Bahan yang digunakan yaitu Batang besi berbentuk U, Batang berulir (drat), mur, dan rivet untuk mengikat kawat baja. (gambar 3.7)



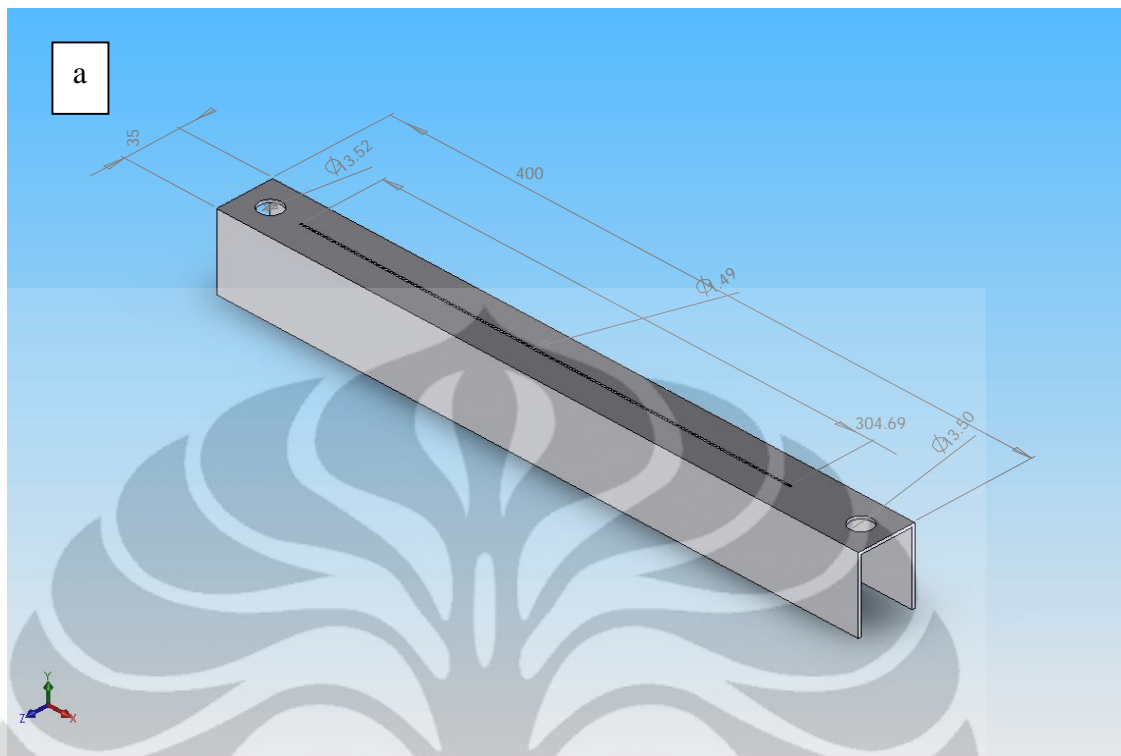


**Gambar 3. 2** Gambar desain teknik alat bantu perancangan komposit

Pembuatan alat bantu cetakan digunakan batang U-5, batang besi berbentuk U dengan lebar 5 cm). Untuk pembuatan komposit dengan fraksi volume 2.5%, batang besi U dipotong sebanyak dua buah dengan panjang masing-masing sebesar 40 cm, Kemudian pada kedua batang besi U tersebut dilakukan pelubangan dengan menggunakan bor, bor yang digunakan berdiamater 1.5 mm. Batang U dilubangi pada bagian tengah sebanyak 120 lubang yang disusun sejajar memanjang sepanjang 30.5 cm hal ini dimaksudkan agar kawat baja karbon tinggi dapat dimasukkan satu persatu pada lubang tersebut. Jarak antara satu lubang dengan lubang lainnya sekitar 2.55 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3

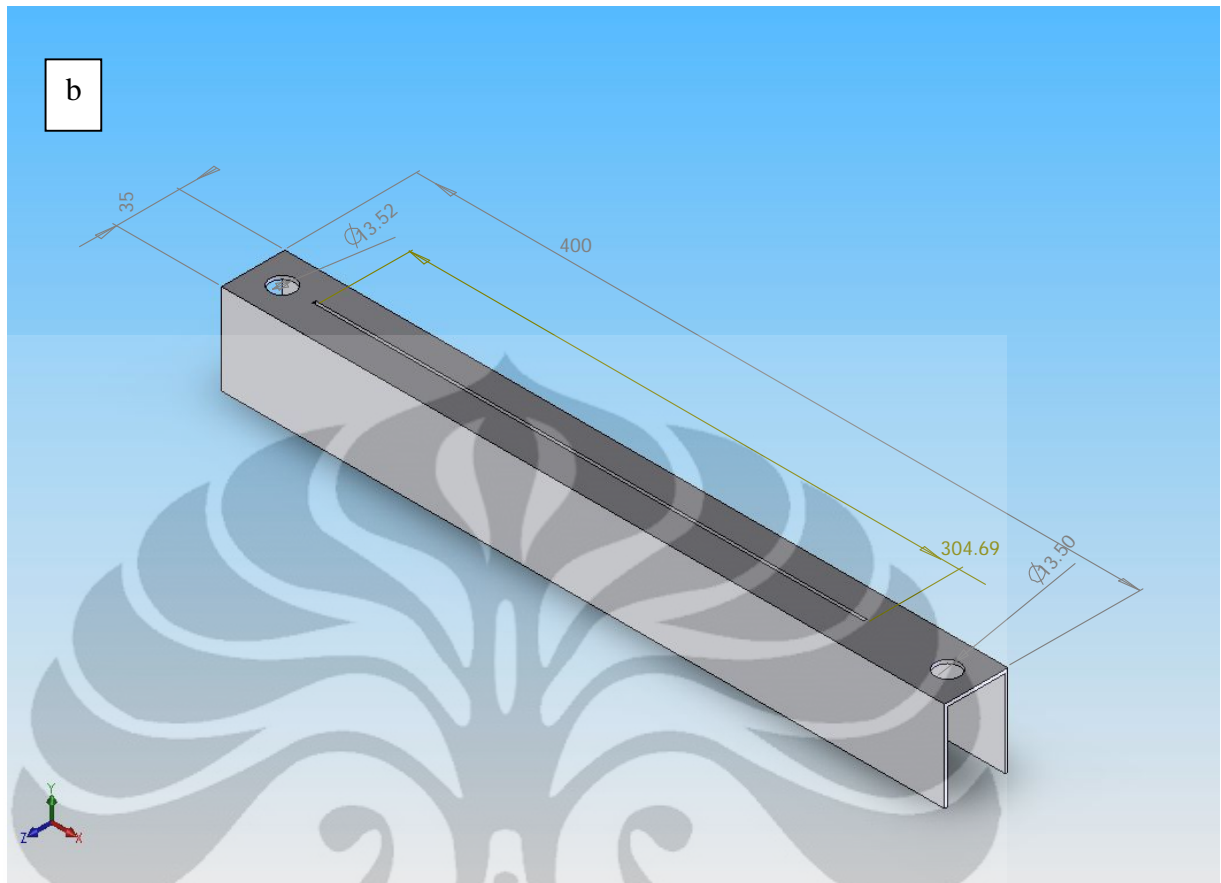
Untuk pembuatan komposit dengan fraksi volume 5% dan 7.5%, pelubangan batang besi U menggunakan cutting wheel, sehingga tidak ada jarak antara satu lubang dengan lubang lainnya, atau dengan kata lain lubang yang dibuat berupa lubang yang memanjang dan lurus sepanjang 30.5 cm, gambar desain dapat dilihat pada Gambar 3.4

Pada bagian ujung batang besi berulir (drat) disambung dengan batang besi lainnya sehingga batang besi berulir seperti huruf T (Gambar 3.5)



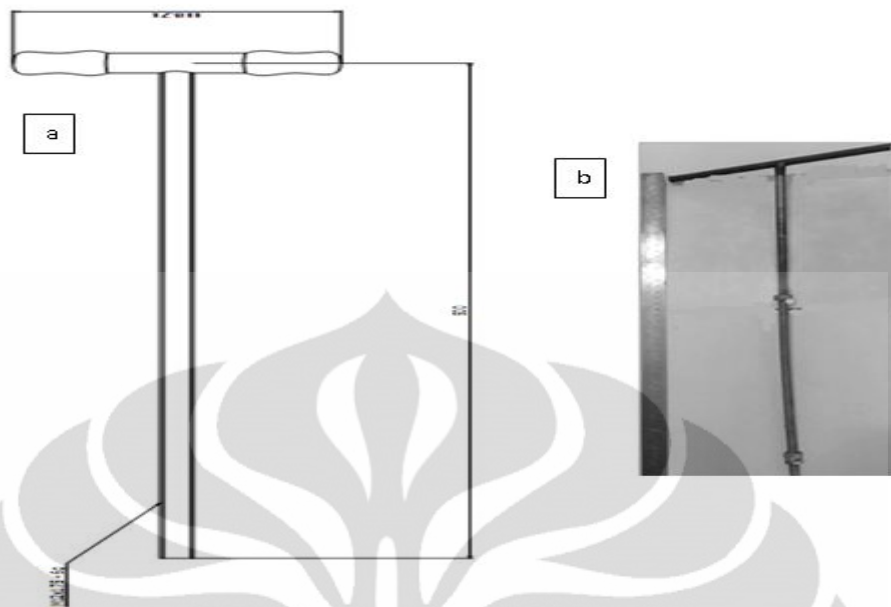
**Gambar 3. 3** Batang besi U untuk pembuatan komposit fraksi volume 2.5% (a) Ilustrasi dimensi (b) Gambar aktual





**Gambar 3. 4** Batang besi U untuk pembuatan komposit dengan fraksi volume 5% dan 7.5% (a) Gambar aktual (b) Ilustrasi dimensi

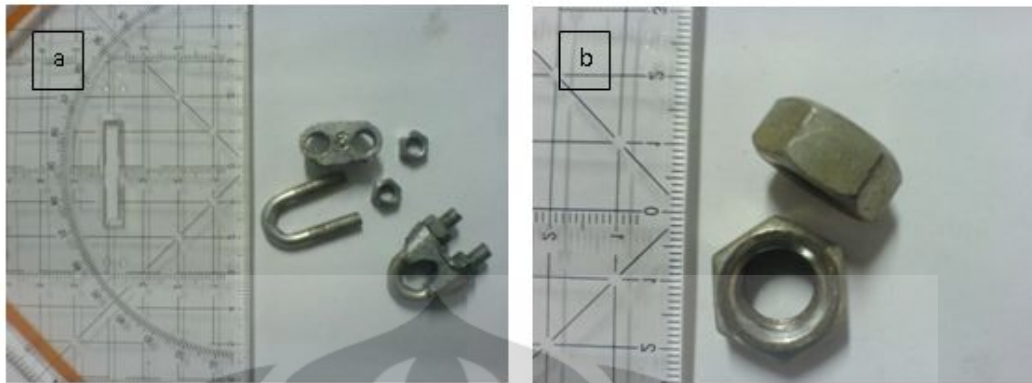
Selanjutnya untuk memasukkan batang besi berulir (drat), batang besi U pada bagian pinggirnya dilubangi dengan menggunakan bor dengan mata bor berdiameter 13.5 mm. Batang besi U dilubangi dengan maksud agar batang besi berulir (drat) dapat masuk, dengan bantuan mur (mur dimasukkan pada batang besi berulir), batang besi ulir dapat mendorong batang besi U. Selanjutnya dua buah batang besi U sejajar disambung dengan dua buah batang besi berulir sejajar, mekanisme penyambungan dengan menggunakan mur sehingga alat bantu pembuatan komposit berbentuk persegi dengan dua batang besi U sejajar dan dua batang besi berulir sejajar (seperti pada Gambar 3.6). Mekanisme pada alat bantu pembuatan komposit ini adalah, batang besi berulir mendorong batang besi U (dengan bantuan mur) sehingga jarak antara batang besi U yang sejajar tersebut dapat diatur, hal ini dimaksudkan agar kawat dapat tertarik (dengan mengatur jarak antara batang besi U) sehingga kawat baja karbon tinggi dapat lurus.



**Gambar 3. 5** Batang berulir untuk alat bantu perancangan komposit (a) ilustrasi dimensi (b) gambar aktual



**Gambar 3. 6** Alat bantu perancangan komposit



**Gambar 3. 7** Alat bantu untuk perancangan komposit (a) rivet (b) mur

### 3.3.3 Persiapan Sampel

Pada proses pembuatan sampel komposit ini diawali dengan proses preparasi sampel, preparasi sampel meliputi pemotongan bahan, pengamplasan bahan, pengujian komposisi, pengujian tarik bahan

#### a. Uji komposisi Aluminium AA6061 T-651

Material yang digunakan sebagai matriks adalah aluminium AA6061 T-651, pelat tersebut mempunyai ketebalan sekitar 6 mm. Untuk mengetahui komposisi pelat aluminium tersebut dilakukan uji komposisi kimia dengan menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES). Pengujian komposisi dari AA6061 T-651 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3. 3** Komposisi AA 6061 T-651 pada uji spectroscopy

Unsur	% Komposisi	Unsur	% Komposisi
Al	97.42	Pb	0.017
Si	0.6	Bi	0.073
Mg	0.73	Cr	0.2
Cu	0.16	Ti	0.064
Mn	0.063	Sn	0.011
Zn	0.061	V	0.0049
Ni	0	Ca	0.0008
Fe	0.64	Be	0.0009



b. Pemotongan pelat AA6061 T-651

Pada pembuatan komposit balistik ini pelat aluminium yang digunakan adalah AA6061 dengan tebal sekitar 6 mm. Sebelum digunakan untuk matriks pelat aluminium 6061 dilakukan pemotongan dengan dimensi 30.5 cm x 30.5 cm . Pemotongan pelat aluminium dilakukan sebanyak 6 buah, ukuran dimensi didapat berdasarkan standard NIJ 0108.1 (untuk pengujian balistik) dapat dilihat pada Gambar 3.8(a). Sedangkan untuk sampel pengujian impak pelat aluminium AA6061 T-651 dipotong dengan ukuran 5.5 cm x 1 cm (Gambar 3.8(b)). Pemotongan pelat aluminium untuk pengujian balistik dipotong dengan menggunakan mesin potong jig saw (Gambar 3.9), sedangkan pemotongan pelat aluminium untuk pengujian impak dipotong dengan menggunakan gergaji tangan.



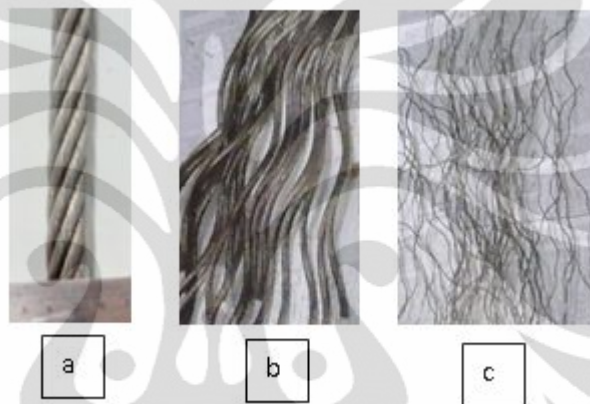
**Gambar 3. 8** Aluminium untuk sampel uji balistik (b) Aluminium untuk sampel uji impak



**Gambar 3. 9** Proses Pemotongan pelat AA6061 T-651 menggunakan mesin *jig saw*

### c. Pemotongan Kawat Baja Karbon Tinggi

Kawat Baja karbon tinggi dipotong dengan panjang 50 cm. Lalu kawat baja karbon tinggi tersebut dilepaskan pilinannya sehingga dari *strand* kawat didapat kawat tunggal (satu *wire*), susunan kawat dari *wire rope* yaitu 6x19 yang mempunyai arti pada satu buah *wire* besar (Gambar 3.10(a)) terdapat 6 buah *strand* kecil (Gambar 3.10 (b)), dari tiap *strand* kecil terdapat 19 *wire* yang berdiameter 1.42 mm (Gambar 3.10 (c)). *Wire* yang berdiameter 1.42 mm tersebut yang digunakan sebagai penguat komposit. Batang kawat tersebut kemudian disusun berdasarkan fraksi volume komposit yaitu 2.5% , 5% dan 7.5%.



**Gambar 3. 10** (a) Satu wire besar sebelum dilepas (b) Strand kecil (c) wire berdiameter 1.42 mm

### d. Pengamplasan pelat AA6061 T-651

Pada permukaan Aluminium AA6061-T651 dilakukan pengamplasan secara manual. Pengamplasan dilakukan pada salah satu sisi aluminium AA6061 T-651 dengan menggunakan kertas amplas 120 mesh, pengamplasan dilakukan satu arah. Serpihan-serpihan logam sisa hasil pengamplasan dibersihkan. Tujuan dilakukan pengamplasan pada permukaan aluminium AA6061 T-651 adalah untuk memperkasar permukaan. semakin kasar permukaan dari aluminium maka akan meningkatkan pembasahan dengan adhesif. Sehingga substrat dapat menempel dengan lebih baik.

### e. Pengamplasan Kawat Baja Karbon Tinggi

Sebelum dilakukan pengamplasan pada kawat baja karbon tinggi, kawat baja karbon tinggi dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan kain bersih,

hal ini dikarenakan pada kawat baja karbon tinggi banyak terdapat pelumas. Setelah pelumas dibersihkan lalu dilakukan pengamplasan dengan kertas amplas 120 *mesh*, sisa-sisa logam hasil pengamplasan dibersihkan. Tujuan dilakukan pengamplasan pada kawat baja karbon tinggi adalah untuk memperkuat daya rekat antara kawat baja karbon tinggi dengan adhesif, dengan mekanisme meningkatkan pembasahan antara kawat baja karbon tinggi dengan adhesif.

#### f. Pemakaian adhesif polyurethane

Adhesif Polyurethane yang dipakai berupa elastomer dengan merk Seal N Flex diproduksi oleh Bostik Australia Ply Ltd. Bentuk dari polyurethane berupa sausage. Tiap kemasan polyurethane berisi 600 ml (Gambar 3.11). Pada setiap proses laminasi komposit, polyurethane yang digunakan sebanyak 300 ml



**Gambar 3. 11** Adhesif *polyurethane* 600 ml yang digunakan dalam pembuatan komposit

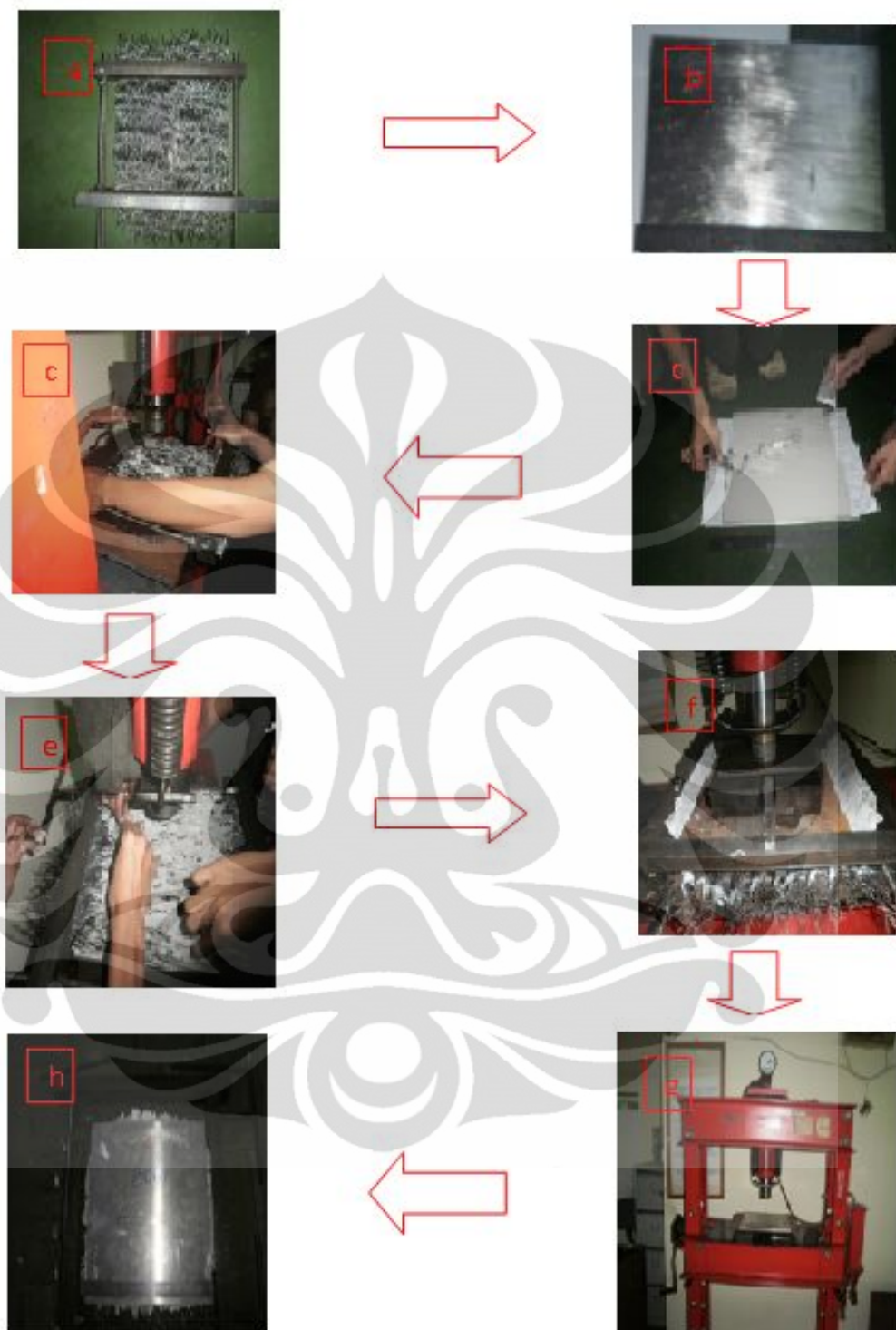
### 3.3.4 Proses Laminasi Komposit

Seluruh proses laminasi dapat dilihat pada Gambar 3.12. Laminasi komposit dimulai dengan menyusun kawat baja karbon tinggi pada alat bantu perancangan komposit. Kawat tersebut dimasukkan pada lubang yang terdapat batang U (alat bantu perancangan komposit), setelah semua kawat masuk (banyaknya jumlah kawat yang masuk tergantung pada fraksi volume dari komposit), kawat-kawat tersebut disusun sedemikian rupa hingga rapi dan panjangnya antar kedua sisi kawat baja sama. Setelah kawat tersusun dengan rapi pada kedua ujung sisi kawat masing-masing diikat dengan menggunakan rivet, tiap satu rivet dapat mengikat sekitar 5-10 buah kawat. Tujuan pengikatan adalah untuk menahan kawat ketika proses pelurusan dilakukan. Mekanisme yang terjadi



adalah kawat baja diikat dan tertahan oleh rivet, lalu rivet tertahan oleh batang besi U ketika proses pelurusan dilakukan. Proses pelurusan dilakukan dengan mendorong batang besi U (tempat disusunnya kawat), satu sisi kawat tertahan sedangkan sisi yang lainnya kawat tertarik oleh gaya dorong yang diberikan oleh batang berulir yang mendorong batang besi U hingga batas maksimal, sehingga kawat lebih lurus dibandingkan dengan sebelumnya (Gambar 3.12 (a)). Proses selanjutnya adalah pengamplasan dua pelat aluminium AA6061 T-651 pada bagian permukaan yang akan diberikan adhesif yang dimaksudkan untuk meningkatkan pembasahan aluminium pada adhesif (Gambar 3.12 (b)). Proses selanjutnya adalah pemberian 100 ml adhesif pada kedua permukaan AA6061 T-651 yang telah dilakukan pengamplasan dan diratakan secara manual menggunakan tangan (Gambar 3.12 (c)). Selanjutnya satu pelat aluminium diletakkan pada salah satu sisi cetakan hingga kawat yang telah diluruskan tersebut menempel pada alas aluminium yang telah diberi lapisan adhesif (Gambar 3.12 (d)). Setelah itu diberikan kembali adhesif polyurethane pada lapisan kawat baja (baik atas kawat baja maupun sela-sela kawat baja), sebanyak kurang lebih 100 ml (Gambar 3.12 (e)). Proses dilanjutkan dengan pemberian adhesif polyurethane pada kawat baja, dan meletakkan pelat aluminium lainnya yang telah diberikan adhesif polyurethane, sehingga pelat komposit terbentuk (Gambar 3.12 (f)).

Setelah proses laminasi selesai, dilanjutkan dengan penekanan (*pressing*) pada aluminium komposit. Tujuan proses penekanan adalah agar lapisan adhesif polyurethane lebih padat dan void-void yang terbentuk pada lapisan adhesif dapat diminimalisir pada saat curing. Selain itu proses penekanan dimaksudkan untuk mendapatkan ketebalan minimalis dengan menipisnya komposit maka sifat mekanik akan meningkat karena penyerapan dan transfer energi dari matriks ke penguat komposit semakin efektif. Proses penekanan menggunakan mesin tekan hidrolik (hidrolik press) dengan merk krisbow (Gambar 3.12 (g)). Proses penekanan dilakukan pada tekanan ~300 bar atau ~30 MPa (Gambar 3.12 (h)), proses penekanan ini dilakukan selama 12 jam. Setelah 12 jam komposit diangkat dari mesin press, kemudian dipisahkan dari cetakan dengan menggunakan gerinda potong.

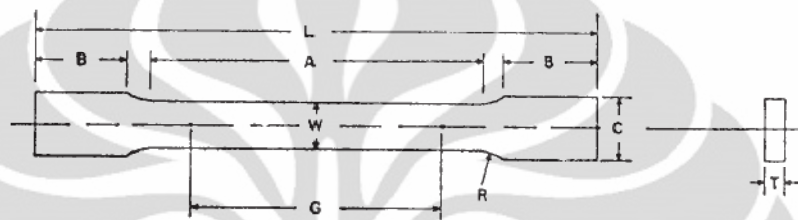


**Gambar 3. 12** (a) Kawat yang telah diluruskan (b) Aluminium AA 6061 T-651 yang telah diampelas (c) pemberian adhesif pada aluminium (d) peletakkan aluminium pada salah satu sisi kawat baja (e) pemberian adhesif pada kawat (f) peletakkan aluminium pada sisi yang lain kawat sekaligus proses *pressing* (g) mesin *press* krisbow (h) aluminium komposit yang telah selesai di-*press*

### 3.4 Prosedur Pengujian

#### 3.4.1 Uji Tarik Pelat AA 6061 T-651

. Pada pengujian tarik pelat AA 6061 T-651 menggunakan standard ASTM E 8 (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*). Sampel yang digunakan memiliki ukuran seperti yang dilihat pada gambar 3.13. Alat uji tarik yang digunakan adalah *Universal Testing Machine Servopulser Shimadzu*. (gambar 3.16)



**Gambar 3. 13** Bentuk dan dimensi sampel uji tarik AA6061 T-651

Keterangan :

L = Panjang sampel

W = Luas penampang sampel pada bagian *necking*

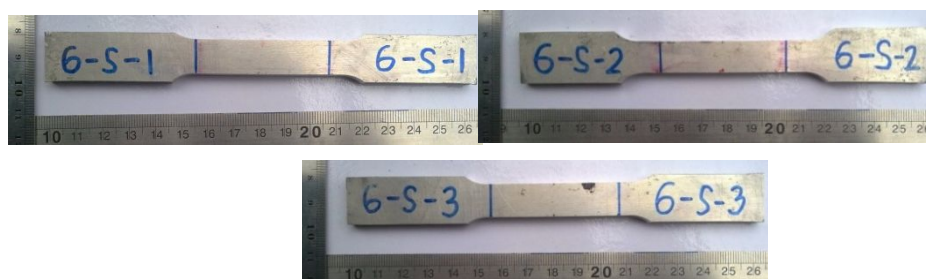
T = Tebal sampel

C = Lebar bagian grip

G = Panjang ukur (*gage length*)

**Tabel 3. 4** Ukuran sampel uji tarik AA6061 T-651

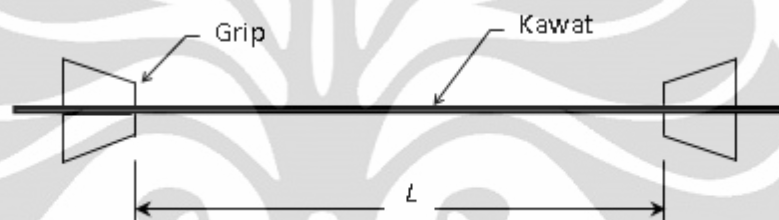
Kode Sampel	L (mm)	C (mm)	W (mm)	T (mm)	G (mm)
6-S-1	162.20	17.75	12.55	5.85	50
6-S-2	161.90	24.03	12.38	5.95	50
6-S-3	162.20	18.13	12.63	5.90	50



**Gambar 3. 14** Penandaan *gage length* pada sampel uji tarik pelat AA 6061 T-651 (a) 6-S-1, (b) 6-S-2, (c) 6-S-3.

### 3.4.2 Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi

Pada perancangan komposit kali ini, pengujian tarik kawat baja karbon tinggi menggunakan standar JIS G 3525 (*wire rope*). Dimensi dari sampel uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.15. Panjang diantara grip ( $L$ ) sekitar 100 mm untuk ukuran kawat yang berdiameter kurang dari 1 mm, atau sekitar 200 mm untuk kawat yang berdiameter lebih dari 1 mm. Pada pengujian kawat baja karbon tinggi dijepit dengan grip lalu dilakukan penarikan hingga kawat tersebut putus. Pengujian tarik untuk kawat baja karbon tinggi ini menggunakan *Universal Testing Machine Servopulser Shimadzu* (Gambar 3.16)



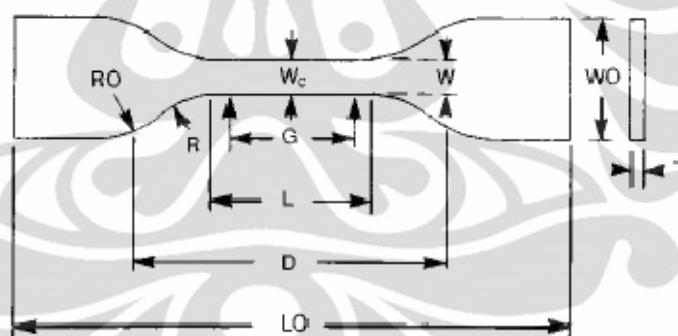
**Gambar 3. 15** Sampel Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi



**Gambar 3. 16** *Universal Testing Machine Servopulser Shimadzu*, digunakan untuk pengujian tarik aluminium dan kawat baja karbon tinggi

### 3.4.3 Uji Tarik Adhesif Polyurethane

Pengujian tarik adhesif polyurethane dilakukan berdasarkan standard ASTM D 638 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*). Dimensi sampel untuk uji tarik adhesif dapat dilihat pada Gambar 3.17. Sebelum pengujian terlebih dahulu membuat cetakan kayu sehingga berbentuk persegi dengan ukuran 15 cm x 15 cm, pada bagian alas berupa aluminium seperti pada gambar 3.18. Setelah cetakan terbentuk lalu masukan adhesif polyurethane kedalam cetakan tersebut, setelah itu proses selanjutnya adalah dengan menekan adhesif dengan lembaran aluminium, lalu diamkan hingga adhesif tersebut curing pada temperatur ruang. Setelah adhesif curing lembaran adhesif dilepaskan dari cetakan, selanjutnya pembentukkan sampel sesuai dengan dimensi menggunakan gunting dan cutter dan hasil yang didapat seperti pada Gambar 3.19 Pengujian tarik adhesif polyurethane ini menggunakan alat uji tarik plastik LF Plus Series Digital (Gambar 3.19)



Gambar 3. 17 Dimensi sampel uji tarik adhesif *polyurethane*

Keterangan :

W = Lebar bagian *necking*

L= Panjang bagian daerah *necking*

WO = Lebar keseluruhan

LO = Panjang keseluruhan

G = Panjang ukur (*gage length*)

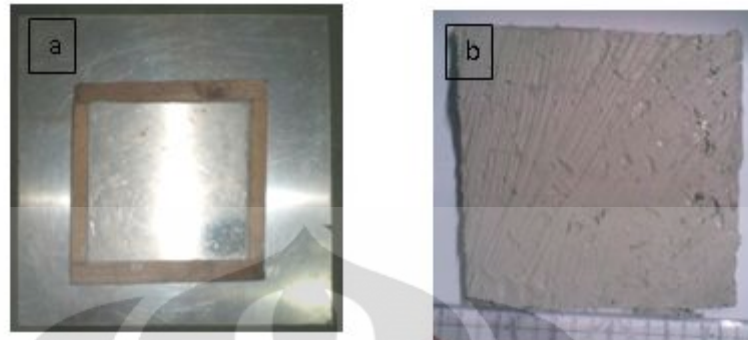
D = Jarak antar *grip*

R = Jari-jari *fillet*

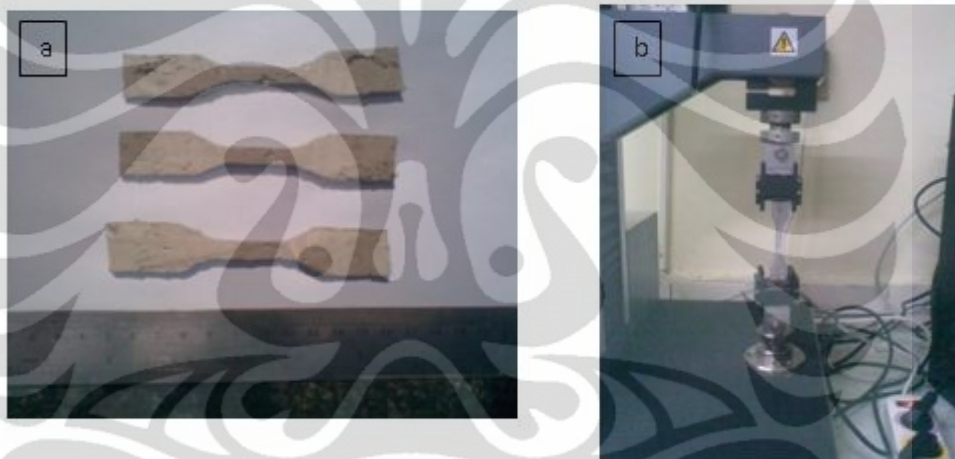
RO = Jari-jari *Outer*

Penamaan dimensi	Ukuran dimensi (mm)
W	6
L	33
WO	19
LO	115
G	25
D	65
R	14
RO	25





**Gambar 3. 18** (a) cetakan untuk pembuatan sampel uji tarik adhesif *polyurethane* (b) sampel uji tarik setelah *curing* hasil dari cetakan



**Gambar 3. 19** (a) sampel pengujian tarik adhesif setelah dibentuk (b) Mesin uji tarik plastik LF Plus Digital Series

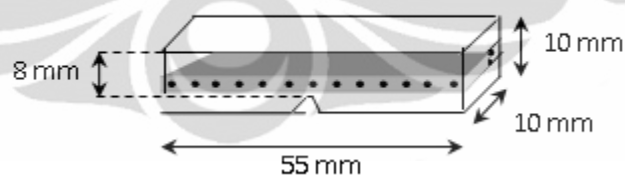
#### 3.4.4 Pengujian Impak Komposit

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui seberapa besar material tersebut dapat menyerap energi yang diberikan, dalam hal ini energi yang dimaksud adalah beban kejut atau beban impak. Pengujian impak dilakukan untuk mengukur ketahanan impak dari suatu material. Pada pengujian impak dapat diketahui jenis perpatahan yang terjadi dengan mengamati permukaan patahan setelah dilakukan pengujian impak. Energi yang diserap oleh material dapat terlihat dengan membaca skala penunjuk yang tertera pada mesin pengujian impak (satuan energi yang diberikan dalam satuan joule)

Pengujian impak komposit menggunakan standard ASTM E 23 (*Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*). Dimensi dari sampel pengujian disamakan dengan dimensi standard tersebut akan tetapi ketebalan dimensi sampel disesuaikan dengan ketebalan komposit laminasi yang dibuat, sampel pengujian impak dibuat dengan metode laminasi yang sama dengan sampel pengujian balistik pada salah satu sisi bagian permukaan komposit dibuat takik berbentuk “v” dengan sudut  $45^{\circ}$ . Pengujian impak dilakukan dengan 3 buah sampel untuk masing-masing fraksi volume, sehingga total keseluruhan jumlah sampel impak adalah 9 buah (gambar 3.21). Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji impak yang terdapat pada laboratorium DT (Destructive Test) DMM FTUI (Gambar 3.22). Pengujian sampel impak menggunakan metode charpy (adanya takik berbentuk “v” dengan sudut  $45^{\circ}$ , dan arah pembebanan dilakukan pada arah depan takik). Dimensi sampel uji impak berukuran 55 x 10 x 10 mm seperti pada gambar 3.20. Selanjutnya harga impak dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan 3.8.

$$= - \quad (3.8)$$

Dengan HI adalah harga impak, E adalah energi yang diserap oleh material (dapat dibaca pada skala penunjuk alat uji), dan A adalah luas daerah dibawah takik.



**Gambar 3. 20** Dimensi sampel uji impak komposit



**Gambar 3. 21**Sampel uji impak (a) fraksi 2.5% (b) fraksi 5% (c) 7.5%



**Gambar 3. 22.** Alat uji Impak

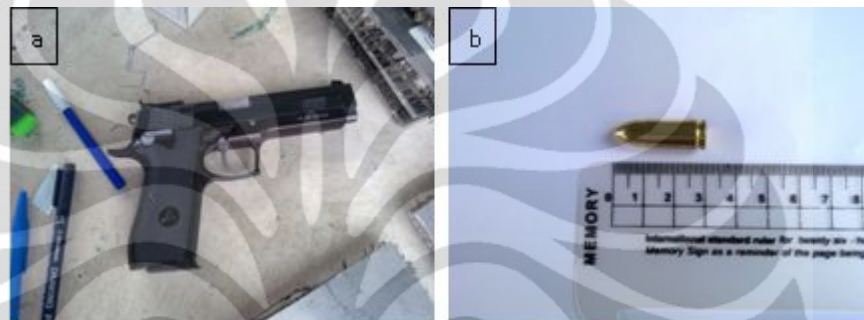
### **3.4.5 Pengujian Balistik Aluminium**

Pengujian balistik ini dilakukan di PT PINDAD yang berlokasi di Bandung. Standar yang digunakan adalah NIJ 0108.01 dengan dimensi untuk sampel uji tembak berukuran 30.5 cm x 30.5 cm. Standar NIJ ini diaplikasikan untuk semua material yang tahan balistik (*armor material*) yang dapat memberikan perlindungan terhadap tembakan. Sampel uji balistik dilakukan dua kali pengujian tembak dengan senjata yang berbeda pada masing-masing sampel uji balistik yang berbeda fraksi volume. Sebelum dilakukan uji tembak sampel aluminium komposit diletakkan pada suatu penahan sampel (*backing plate*) seperti pada Gambar 3.23, hal ini dimaksudkan agar penahan tersebut dapat memegang dan menahan sampel agar tegak sehingga permukaan komposit dapat diuji balistik, penahan sampel juga berfungsi sebagai penyangga ketika proyektil menumbuk permukaan komposit sehingga posisi sampel tetap dan tidak jatuh ketika proyektil menumbuk permukaan komposit.





**Gambar 3. 23** Backing Plate untuk menahan sampel uji balistik pada pengujian balistik



**Gambar 3. 24** Peralatan untuk pengujian balistik tipe II (a) Senjata P2 Pindad produksi PINDAD  
(b) amunisi kaliber 9 mm



**Gambar 3. 25** Peralatan untuk pengujian balistik tipe III (a) Senjata Laras Panjang SPR-1  
(b) Amunisi kaliber 7.62 mm

Sampel uji dilakukan dua kali penembakan, pada penembakan yang pertama menggunakan jenis senjata tipe II (Higher Velocity). Pada pengujian balistik tipe ini menggunakan amunisi dengan kaliber 9 mm MU1-TJ (Gambar 3.24) dengan panjang selonsong 19 mm. Jenis senjata yang dipakai dalam pengujian ini adalah jenis Pistol P2 PINDAD (produksi PINDAD). Dengan rata-rata kecepatan tembak  $380 \pm 15$  m/s. Jarak tembak yang dipakai dalam pengujian ini berjarak 5 m (Gambar 3.26), antara jarak penembak (laras senjata api) dengan target (sampel komposit uji balistik) .

Pada pengujian yang kedua menggunakan jenis senjata Tipe III (High-Powered Rifle). Jenis amunisi yang digunakan kaliber 7.62 mm MU2-TJ (Gambar 3.25), dengan panjang selongsong 51 mm. Jenis senjata yang digunakan merupakan jenis senjata laras panjang yang berjenis SPR-1, dengan kecepatan tembak rata-rata  $837 \pm 15$  m/s. Jarak tembak yang dipakai dalam pengujian yang kedua ini berjarak 15 m (Gambar 3.27), antara jarak penembak (laras senjata api) dengan target (sampel komposit uji balistik).



**Gambar 3. 26.** Proses Uji balistik tipe II penembak berjarak 5 m dari benda uji



**Gambar 3. 27** Proses uji balistik tipe III penembak berjarak 15 m dari benda uji

### **3.4.6 Pengamatan Struktur Makro Aluminium Komposit**

Pada pengamatan struktur makro dilakukan pada sampel hasil uji balistik, pengamatan dilakukan pada daerah yang terkena peluru dan daerah sekitar perforasi peluru. Foto makro dilakukan untuk mengetahui bentuk perforasi peluru, mekanisme perforasi peluru dan respon material aluminium komposit terhadap perforasi peluru. Sebelum dilakukan foto makro, sampel yang sudah

dilakukan pengujian impak dipotong dengan menggunakan gerinda potong (cutting wheel), pemotongan dilakukan dengan mengalirkan air agar pelat komposit tidak panas (Gambar 3.28).



**Gambar 3. 28.** Proses pemotongan pelat komposit hasil uji coba balistik

Sampel uji balistik yang sudah terdapat jejak peluru dipotong persegi dengan ukuran 10 cm x 10 cm dimana hasil jejak peluru terdapat pada bagian tengah (center) sampel yang telah dipotong persegi tersebut. Selanjutnya pada bagian tengah perforasi peluru dipotong menjadi dua bagian sehingga dapat diamati penampang dari hasil perforasi proyektil peluru. Foto makro dilakukan dengan menggunakan kamera SLR dengan merk canon (Gambar 3.29)



**Gambar 3. 29** Kamera SLR yang digunakan untuk foto struktur makro

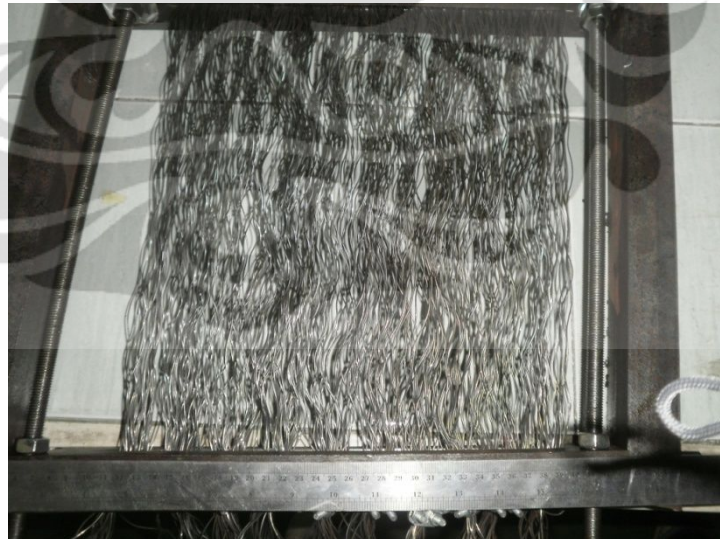


## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Fabrikasi Komposit Aluminium

#### 4.1.1 Analisis Kelurusan Kawat Penguat Komposit Aluminium

Pada pembuatan aluminium komposit ini penguat yang digunakan berupa kawat baja (*wire rope*), yang terdiri dari beberapa satu-kesatuan *strand* dari tiap *strand* tersebut merupakan kesatuan dari *wire* yang dipilin, sehingga pada *wire* 1.4 mm ketika dilepaskan dari *strand*, *wire* tersebut agak bergelombang spiral memanjang atau dapat dikatakan berbentuk *helix* memanjang. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa kawat yang digunakan pada penguat komposit aluminium belum lurus sempurna ketika dilepaskan dari *strand*-nya. Untuk itu kawat baja tersebut harus diluruskan agar memudahkan dalam proses laminasi komposit. Pada proses laminasi komposit ini digunakan alat bantu cetakan yang telah dijelaskan pada bab 3.3.2, alat bantu cetakan tersebut digunakan selain untuk meletakkan penguat dan matrik, alat tersebut digunakan untuk meluruskan kawat baja sehingga memudahkan dalam proses laminasi komposit (Gambar 4.1)



**Gambar 4. 1** Kawat penguat karbon tinggi yang diluruskan dengan alat bantu cetakan

Alat bantu pembuatan komposit tidak mampu untuk meluruskan kawat secara sempurna atau 100% lurus, hal ini disebabkan ketika kawat baja tersebut ditarik secara terus menerus (gaya tarik diberikan oleh batang besi U yang

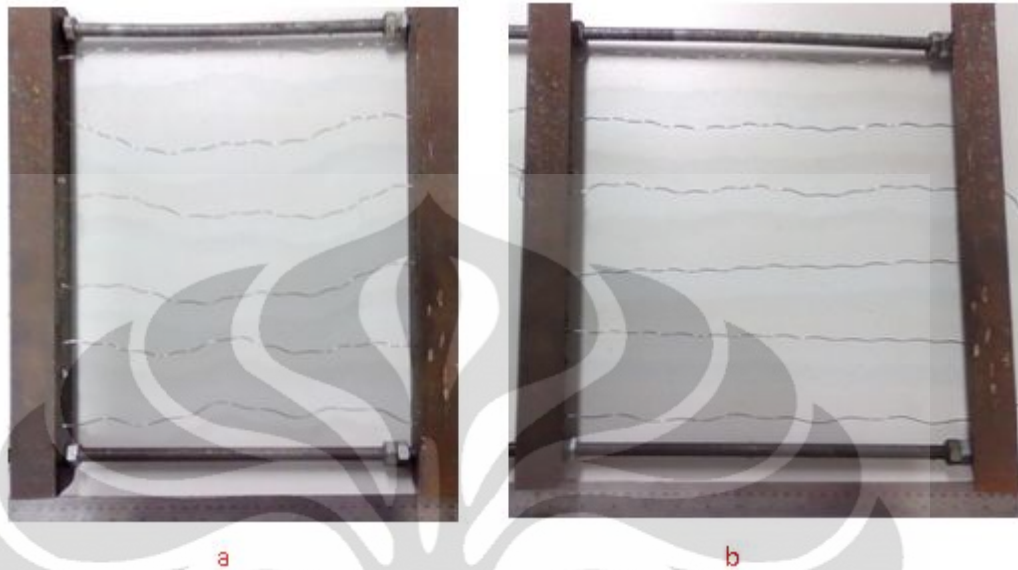
terdorong oleh batang besi berulir), maka ketika mencapai titik maksimal kawat baja tersebut akan memberikan reaksi sehingga batang besi U tidak dapat menahan beban mengakibatkan batang besi U akan bengkok kearah dalam kemudian dilanjutkan dengan bengkoknya batang besi berulir (drat). Ketika kawat baja ditarik maka material kawat baja tersebut akan memberikan reaksi terhadap alat bantu tersebut, alat bantu pembuatan komposit menarik kawat baja hanya pada daerah elastis alat bantu tidak dapat menarik kawat baja pada daerah plastis kawat, kekuatan kawat yang tinggi sebesar  $1960 \text{ N/mm}^{2[19]}$  maka jika dilakukan penarikan kawat secara terus menerus pada titik tertentu alat bantu tidak dapat menahan beban hingga menyebabkan alat bantu akan rusak (*failed*).

Diketahui bahwa pada penguat kawat baja karbon tinggi tidak dapat lurus secara sempurna atau lurus 100%, sehingga untuk mengetahui seberapa besar persentase dari kelurusan kawat maka dilakukan simulasi atau percobaan yang mewakili sifat dari kawat baja karbon tinggi tersebut. Meskipun pada simulasi ini tidak menggambarkan dari keseluruhan kawat karena aktualnya pada proses pelurusan kawat distribusi tegangan pada kawat tidak merata sehingga persentase kelurusan pada tiap kawat tidak merata dan tidak sama. Akan tetapi dengan dilakukannya simulasi ini, mewakili sebagian besar kawat yang tertarik oleh alat bantu cetakan

Untuk mengetahui persentase kelurusan kawat, maka dilakukan suatu simulasi, simulasi dimulai dengan menaruh kawat yang belum diluruskan atau kawat yang masih bergelombang pada alat bantu cetakan, lalu kemudian panjang kawat tersebut diukur dengan menggunakan tali. Tali tersebut berguna untuk menyesuaikan bentuk kawat baja yang bergelombang, alur kawat yang bengkok dapat diikuti oleh tali tersebut, lalu setelah itu panjang tali tersebut diukur. Didapatkan panjang kawat sebelum ditarik oleh alat bantu cetakan (gambar 4.2)

Simulasi berikutnya adalah mengukur panjang kawat setelah ditarik dengan alat bantu cetakan, mekanisme simulasi sama dengan simulasi yang telah dijelaskan diatas, akan tetapi sebelum diukur dengan menggunakan tali terlebih dahulu kawat ditarik dengan alat bantu cetakan. Setelah kawat ditarik maka diukur dengan menggunakan tali, tali mengikuti alur bentuk kawat setelah itu

barulah diukur panjang tali, barulah didapatkan panjang kawat setelah ditarik dengan menggunakan alat bantu cetakan (Gambar 4.2)



**Gambar 4. 2** (a) kawat sebelum diluruskan (b) kawat setelah diluruskan

Didapatkan data hasil panjang kawat baja karbon tinggi sebelum dan sesudah ditarik dengan menggunakan alat bantu cetakan, lalu kedua data tersebut dibandingkan untuk mendapatkan persentase kelurusan kawat setelah ditarik dengan menggunakan alat bantu cetakan. Perhitungannya dilakukan dengan membandingkan kawat sebelum ditarik dengan panjang sebenarnya dan kawat sesudah ditarik dengan panjang sebenarnya. Perhitungan persentase kelurusan kawat sebagai berikut :

$$\% \text{ kelurusan kawat} = \frac{\text{jarak antara dua batang}}{\text{panjang kawat sebenarnya}} \times 100\% \quad (4.1)$$

**Data yang didapatkan :**

Panjang kawat sebelum ditarik = 27 cm

Panjang kawat setelah ditarik = 31.5 cm

Panjang sebenarnya = 33.4 cm

**Perhitungan persentase kelurusan kawat :**

$$\frac{\text{Panjang kawat sebelum ditarik}}{\text{Panjang kawat sebenarnya}} = \frac{27 \text{ cm}}{33.4 \text{ cm}} = 81 \%$$

$$\frac{\text{Panjang sebenarnya}}{\text{Panjang}} = \frac{31.5 \text{ cm}}{33.4 \text{ cm}} = 94\%$$

**Tabel 4. 1** Data hasil simulasi pelurusan kawat

Panjang kawat sesungguhnya (cm)	Sebelum diluruskan		Sesudah diluruskan	
	Jarak antar ujung kawat	% kelurusan	Jarak antar ujung kawat	%kelurusan
33.40	27	81	31.50	94

Didapatkan dari perhitungan bahwa, penggunaan alat bantu cetakan dapat meningkatkan kelurusan kawat baja karbon tinggi, hal tersebut dapat dilihat dari persentase kelurusan kawat sebelum ditarik dibandingkan dengan persentase kelurusan kawat sesudah ditarik. Persentase kelurusan kawat meningkat dari 81 % menjadi 94 %, atau terjadi peningkatan sebesar 13 %. Nilai persentase 94 % kelurusan kawat merupakan persentase sampai sejauh mana kawat baja karbon tinggi dapat ditarik oleh batang besi U atau merupakan tingkat kelurusan maksimal kawat baja karbon tinggi yang dapat dicapai dengan menggunakan alat bantu pelurus kawat. Kelurusan yang semakin tinggi mengakibatkan kawat baja semakin tegang, sehingga memudahkan dalam proses laminasi komposit, selain itu dengan lurusnya kawat diharapkan celah antar kawat semakin kecil sehingga ketika peluru ditembakkan peluru tidak dapat melewati celah antar kawat hal ini dikarenakan posisi kawat lebih kokoh dan stabil pada posisinya dibandingkan jika kawat baja tidak diluruskan atau ditarik. Jika proyektil berpenetrasi kedalam aluminium energi dari proyektil dapat diserap oleh aluminium dan mengurangi kecepatan peluru[32 tribologi balistik]. Kawat baja diharapkan dapat menyerap energi gesekan putaran peluru ketika peluru telah menembus aluminium dengan cara membuat kawat baja karbon tinggi terdeformasi secara plastis hingga kawat putus. Jika kawat baja tidak dalam posisi lurus maka ditakutkan jika proyektil berpenetrasi kedalam maka kawat baja akan terjadi pergeseran yang dapat dilewati oleh proyektil sehingga tidak dapat menghalangi pergerakan dari proyektil untuk berpenetrasi.

#### 4.1.2 Perhitungan Fraksi Volume Secara Aktual

Pada Bab 3 dijelaskan tentang perhitungan fraksi volume awal komposit, pada bab tersebut dijelaskan bahwa perhitungan tersebut hanya memperhitungkan volume dari matriks aluminium AA6061-T651 dan volume dari penguat kawat baja karbon tinggi, sedangkan pada kenyataannya pada percobaan ini juga menggunakan adhesif *polyurethane* sebanyak 300 ml untuk setiap komposit dengan masing-masing volume fraksi yang berbeda. Sehingga untuk mengetahui densitas dari komposit, massa komposit, dan kekuatan komposit secara teoritis maka penambahan dari adhesif juga perlu diperhitungkan.

Pada Tabel 3.1 dapat diketahui volume dari matriks aluminium dan volume dari penguat kawat baja karbon tinggi. Dengan adanya penambahan volume adhesif *polyurethane* sebanyak 300 ml, maka perhitungan pun berubah dimana fraksi volume aluminium berubah, fraksi volume kawat baja karbon tinggi berubah maka perhitungan pada komposit aluminium juga mengalami perubahan. Sehingga untuk menghitung fraksi volume dari masing-masing konstituen penyusun aluminium komposit ini dapat menggunakan persamaan 4.2

$$v = v_A + \sum v_i \quad (4.2)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas setelah penambahan adhesif 300 ml untuk setiap komposit dengan fraksi volume yang berbeda maka volume dari tiap konstituen dan fraksi volume dari tiap konstituen dapat dilihat pada tabel 4.2

**Tabel 4. 2** Fraksi volume aktual bahan penyusun komposit aluminium

% fraksi volume kawat yang dirancang	Volume Teoritis (cm <sup>3</sup> )				% Fraksi Volume		
	Aluminium	kawat baja	adhesif	komposit	Aluminium	kawat Baja	adhesif
2.5	1116.3	28.6	300	1444.9	77.26	1.98	20.76
5	1116.3	58.8	300	1475.1	75.68	3.98	20.34
7.5	1116.3	90.5	300	1506.8	74.08	6.01	19.91

Dari data diatas kita dapat mengetahui tentang sifat komposit aluminium komposit yang telah kita buat, kita dapat membandingkan data tentang volume



aluminium secara teoritik dengan volume komposit secara aktual. Data aluminium komposit aktual didapat dengan mengukur luas pelat aluminium komposit dikalikan dengan tebal aluminium komposit pada masing-masing komposit dengan fraksi volume yang berbeda. Dari hasil percobaan yang dilakukan ketebalan komposit pada tiap fraksi volume cenderung meningkat. Data untuk volume aktual komposit dapat dilihat pada Tabel 4.3. Data tersebut memperlihatkan ketebalan komposit masing-masing fraksi volume yang dikalikan dengan luas permukaan komposit aluminium, sedangkan untuk luas permukaan masing-masing komposit dengan fraksi volume yang berbeda memiliki nilai yang sama. Perhitungan volume aktual komposit aluminium dapat dilihat pada tabel 4.3

**Tabel 4.3** Volume aktual dan tebal komposit aluminium

% Fraksi Volume kawat baja	Luas permukaan aluminium komposit (cm <sup>2</sup> )	Tebal aluminium komposit (cm)	Volume aktual aluminium komposit (cm <sup>3</sup> )
2.5	930.25	1.650	1534.91
5		2.010	1869.80
7.5		2.210	2055.85

Dari Tabel 4.2 dan 4.3 terlihat bahwa volume teoritik dan volume aktual dari komposit jauh berbeda. Volume aktual memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan volume komposit teoritik yang artinya terdapat *void* di dalam komposit. *Void* dapat disebabkan oleh udara yang terjebak ketika proses laminasi dilakukan. Adhesif yang digunakan adalah *polyurethane*, Adhesif mengalami proses evaporasi<sup>[20]</sup> dimana pada proses tersebut adhesif akan melepaskan uap air yang kemudian terperangkap..

Untuk meminimalisasi *void* setelah proses laminasi dilakukan proses penekanan (*pressing*) menggunakan mesin press hidraulik, penekanan dilakukan dengan menggunakan tekanan sekitar 300 MPa atau sekitar 30 Bar. Alasan menggunakan tekanan sekitar 300 MPa adalah dengan melihat cairan adhesif *polyurethane* sedikit keluar dari celah samping komposit aluminium, dengan keluar cairan adhesif *polyurethane* maka semua rongga pada bagian tengah komposit telah terisi penuh. Pada penelitian ini dilakukan percobaan jika kita melakukan proses penekanan dibawah tekanan 300 MPa maka komposit aluminium masih memiliki tebal yang besar, jika pada komposit laminat semakin

tebal komposit maka kekuatan mekaniknya akan turun, sedangkan jika semakin tipis komposit maka kekuatan mekanik akan meningkat <sup>[5]</sup>,

**Tabel 4. 4** Volume dan tebal komposit secara aktual dan teoritik

% fraksi volume	luas permukaan komposit teoritik (cm <sup>2</sup> )	volume komposit teoritik (cm <sup>3</sup> )	tebal komposit teoritik (cm)	luas permukaan komposit aktual (cm <sup>2</sup> )	volume komposit aktual (cm <sup>3</sup> )	tebal komposit aktual (cm)
2.5	930.25	1444.9	1.553	930.25	1534.91	1.650
5	930.25	1475.1	1.586	930.25	1869.80	2.010
7.5	930.25	1506.8	1.619	930.25	2055.85	2.210

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat pada fraksi volume 5% dan 7.5% perbedaan volume dan tebal komposit aluminium berbeda jauh, hal ini disebabkan karena adanya udara yang terperangkap pada komposit.

Diperkirakan perbedaan volume aktual dan teoritik komposit disebabkan oleh void yang berada pada komposit. Untuk menghitung *void* yang terdapat pada komposit aluminium kita dapat mengurangi antara volume aktual dengan volume teoritik. Setelah mendapatkan volume void kita dapat membaginya dengan volume aktual komposit sehingga didapatkan persentase dari void yang terbentuk pada komposit aluminium tersebut. Untuk mencari persentase void dapat digunakan persamaan 4.3

$$\% v \quad i = \frac{\text{olu } \text{or } i}{\text{olu } \text{ko } \text{pos } \text{aktual}} \times 100\% \quad (4.3)$$

**Tabel 4. 5** Void yang terbentuk pada komposit aluminium

% fraksi volume komposit	volume void yang terbentuk (cm <sup>3</sup> )	% void yang terbentuk
2.5	90.01	5.86
5	394.70	21.10
7.5	549.05	26.70

Dapat dilihat dari data diatas bahwa pada komposit aluminium dengan fraksi volume 2.5 % void yang terbentuk 5.86 %, sedangkan untuk komposit

aluminium dengan fraksi volume 5 % dan 7.5%, persentase void naik secara signifikan yaitu sebesar 21.10% dan 26.70%. Hal ini dikarenakan semakin besar fraksi volume penguat kawat baja komposit akan semakin sulit untuk dilakukan penekanan hal ini dikarenakan semakin banyak serat penguat maka rongga komposit semakin padat akan serat penguat kawat baja karbon tinggi, sehingga ketika dilakukan penekanan maka kawat baja akan memberikan reaksi terhadap penekanan yang dilakukan, maka ketika penekanan dilepaskan ketebalan komposit akan meningkat. Selain itu mesin press hidrolik yang digunakan pada percobaan tidak bisa menjaga tekanan konstan dalam periode waktu yang lama, sehingga ketebalan komposit akan meningkat ketika komposit lamina diambil dari mesin press. Reaksi kawat baja karbon tinggi terhadap penekanan ditambah mesin press hidrolik yang tidak bisa menjaga tekanan dengan konstan menyebabkan timbulnya rongga pada komposit selama proses curing, rongga tersebut akan menyebabkan udara terperangkap sehingga akan menimbulkan *void* pada komposit.

Melalui perhitungan fraksi volume penyusun komposit lamina selain dapat menghitung volume dari komposit dari percobaan ini dapat menghitung massa dari komposit aluminium. Massa secara teoritis dapat diketahui melalui perhitungan densitas dari komposit aluminium yang dihitung menggunakan hukum campuran (*rule of mixture*) yang ditunjukkan pada persamaan 4.4

$$= \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (4.4)$$

Data yang didapatkan dari supplier, dapat diketahui densitas dari aluminium AA6061 T-651 adalah  $2.66 \text{ g/cm}^3$ , kawat baja  $7.81 \text{ g/cm}^3$  dan densitas dari adhesif  $1.23 \text{ g/cm}^3$ . Menggunakan data densitas dari setiap penyusun komposit lamina tersebut maka densitas dari komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4.4, setelah didapatkan densitas komposit maka massa dari komposit dapat diketahui dengan mengalikan densitas dengan volume komposit seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6

**Tabel 4. 6** massa teoritik, massa aktual berdasarkan perhitungan dan massa aktual berdasarkan penimbangan

% Fraksi volume	densitas komposit (gr/cm <sup>3</sup> )	massa teoritik (gr)	massa aktual berdasarkan perhitungan (gr)	massa aktual berdasarkan penimbangan (gr)
2.5	2.47	3568.903	3791.228	3650.00
5	2.57	3791.00	4805.386	3850.00
7.5	2.68	4038.224	5509.678	4250.00

Pada Tabel 4.6 didapatkan massa teoritik dimana nilai tersebut didapat berdasarkan perhitungan awal, volume komposit teoritik dikalikan densitas komposit. Nilai massa aktual berdasarkan perhitungan didapatkan dengan mencari volume komposit aktual kemudian dikalikan dengan densitas komposit. Volume komposit aktual didapat dengan mengkalikan tebal komposit dengan luas komposit. Kemudian nilai massa aktual berdasarkan penimbangan didapatkan dengan menimbang komposit pada timbangan.

Nilai pada massa teoritik dengan massa aktual berdasarkan perhitungan terdapat perbedaan, hal ini disebabkan pada perhitungan massa secara teoritik tebal komposit dianggap tipis atau tidak terdapat rongga pada komposit yang menyebabkan ketebalan komposit meningkat. Pada fraksi volum 2.5 % perbedaan nilainya tidak terlalu jauh, akan tetapi pada fraksi 5% dan 7.5 % terdapat perbedaan nilai yang cukup jauh. Hal tersebut berbanding lurus dengan perbedaan tebal komposit secara teoritik dengan tebal komposit aktual (Tabel 4.4) dan banyaknya void yang terbentuk (Tabel 4.5). Semakin besar fraksi volum maka perbedaan nilai tebal komposit secara teoritik dengan tebal secara aktual akan semakin besar, begitu juga dengan *void* yang terbentuk, semakin besar fraksi volum maka *void* yang terbentuk akan semakin banyak. Hal tersebut yang mempengaruhi perbedaan nilai antara massa teoritik dengan massa aktual berdasarkan perhitungan

Nilai massa aktual berdasarkan penimbangan didapatkan hasil yang mendekati massa teoritik, hal ini membuktikan bahwa ketebalan komposit meningkat dari yang seharusnya. Dengan mengacu pada massa komposit berdasarkan penimbangan seharusnya komposit mempunyai nilai ketebalan yang

lebih kecil. Peningkatan ketebalan disebabkan oleh *void* yang terbentuk pada komposit

#### 4.2. Perhitungan Teoritik Kekuatan Laminat Aluminium Balistik

Pada Tabel 4.7 merupakan nilai dari modulus elastisitas komposit dari masing-masing konstituen. Nilai tersebut didapatkan dari pengujian tarik dari tiap-tiap konstituen penyusun komposit

**Tabel 4. 7** Nilai modulus elastisitas dari tiap konstituen penyusun komposit hasil dari pengujian tarik masing-masing konstituen

Material	Sampel	E (GPa)	E Rerata (GPa)
AA 6061 T-651	1	31.89	29.54
	2	28.03	
	3	28.70	
Adhesif Polyurethane	1	0.00028	0.00027
	2	0.00019	
	3	0.00034	
Kawat baja	1	97.65	112.17
	2	118.42	
	3	120.43	

Dari data tersebut dapat dilihat pada material AA6061 memiliki modulus elastisitas sebesar 29.54 GPa, akan tetapi pada literatur AA6061 memiliki modulus elastisitas sebesar 69 GPa, hal ini diduga disebabkan pada pengujian tarik sampel yang digunakan mempunyai ketebalan 6 mm, sedangkan pada literatur ketebalan sampel pengujian tarik sebesar  $\pm 18$  mm, disebutkan bahwa jika material lebih tebal dibutuhkan gaya yang lebih besar untuk membuat sampel putus<sup>[12]</sup>, selain itu setelah material dilakukan pengujian spectro ternyata komposisi pada material AA 6061 yang dipakai pada penelitian tidak sesuai dengan yang tercantum pada *datasheet*, pada hasil uji spectro komposisi Mg sebesar 0.73 % sedangkan pada data sheet nilai komposisi Mg berkisar 0.8 – 1.2 %. Hal ini mempengaruhi sifat mekanik dari AA 6061 membuat nilai modulus elastisitasnya menjadi turun.

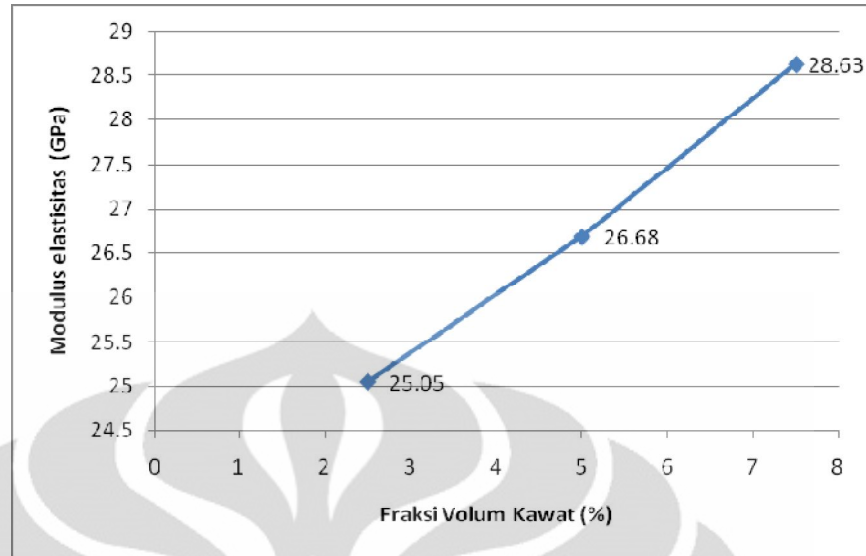
Nilai kekuatan tarik pada adhesif yang digunakan pada penelitian ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan data nilai kekuatan tarik yang terdapat pada *datasheet* sehingga mempengaruhi nilai modulus elastisitas, nilai modulus elastisitas menjadi lebih rendah. Pada pegujian tarik nilai rata-rata kekuatan tarik adhesif sebesar 0.65 MPa sedangkan pada *datasheet* nilai kekuatan tariknya sebesar 1.3 MPa. Hal ini dipengaruhi oleh *curing* sampel, curing yang dilakukan pada percobaan selama 3-4 hari sedangkan pada *datasheet full curing* terjadi pada 7 hari dengan substrat yang berpori<sup>[22]</sup>.

Dari data modulus elastisitas, dilakukan perhitungan mikromekanik dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4 untuk menghitung modulus elastisitas komposit searah serat (longitudinal) dan berlawanan arah serat (transversal). Perhitungan mikromekanik dapat dilihat pada Tabel 4.8

**Tabel 4. 8** Modulus Elastisitas Arah Longitudinal dan Transversal pada Komposit

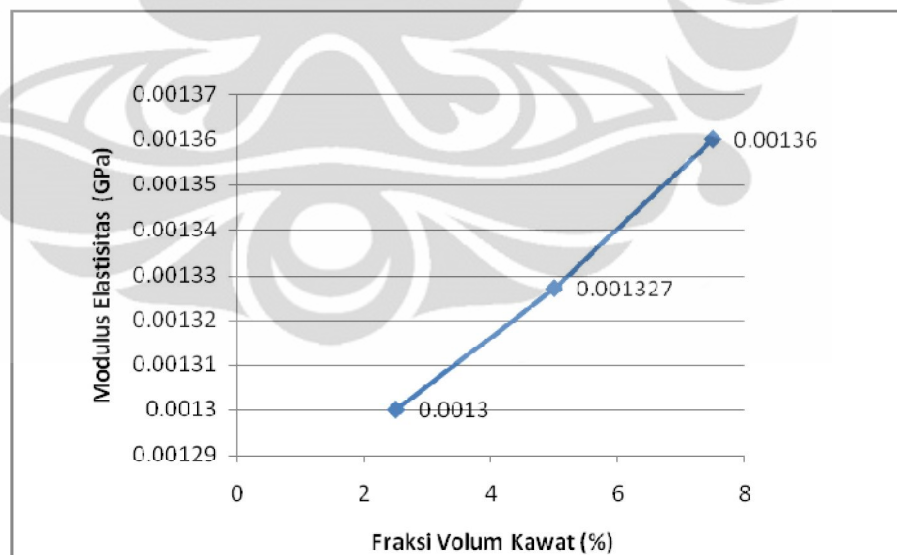
% fraksi volum kawat yang dirancang	Aluminium						E <sup>1</sup> arah longitudinal (GPa)	E <sup>2</sup> arah transversal (GPa)
	AA6061-T651		Kawat baja		Adhesif			
	% vol	E rata-rata (GPa)	% Vol	E rata-rata (GPa)	% Vol	E rata-rata (GPa)		
2.5	77.26		1.98		20.76		25.05	0.00130
5	75.68	29.54	3.98	112.17	20.34	0.00027	26.84	0.00133
7.5	74.08		6.01		19.91		28.63	0.00136

Pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa modulus elastisitas pada arah longitudinal lebih besar dibandingkan dengan modulus elastisitas pada arah transversal. Rasio modulus elastisitas pada arah longitudinal dan arah transversal (E1/E2) lebih besar daripada 1 sehingga dengan rasio tersebut menunjukkan bahwa komposit aluminium bersifat *anisotropy*. Komposit anisotropy mempunyai kekuatan mekanik yang jauh lebih besar pada searah serat (longitudinal) dibandingkan bila berlawanan arah dengan serat (transversal)<sup>[24]</sup>. Dari data tersebut juga menunjukkan semakin tinggi volum fraksi maka kekuatan modulus elastisitas pada arah longitudinal maupun arah transversal semakin besar (gambar 4.3 dan gambar 4.4)



**Gambar 4. 3** Pengaruh fraksi volume kawat terhadap modulus elastisitas komposit arah longitudinal (searah serat)

Pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa modulus elastisitas komposit dengan fraksi volume 2.5% memiliki nilai 25.05 GPa sedangkan untuk komposit dengan fraksi volume 5% dan 7.5% memiliki nilai modulus elastisitas 26.68 GPa dan 28.63 GPa, sehingga seiring dengan penambahan penguat kawat baja karbon tinggi maka kekuatan komposit akan semakin meningkat.



**Gambar 4. 4** Pengaruh fraksi volume kawat terhadap modulus elastisitas komposit arah transversal (berlawanan arah serat)

Pada Gambar 4.4 merupakan grafik modulus elastisitas komposit pada arah transversal (berlawan arah serat), Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada komposit dengan fraksi volume 2.5% kekuatan modulus elastisitas sebesar

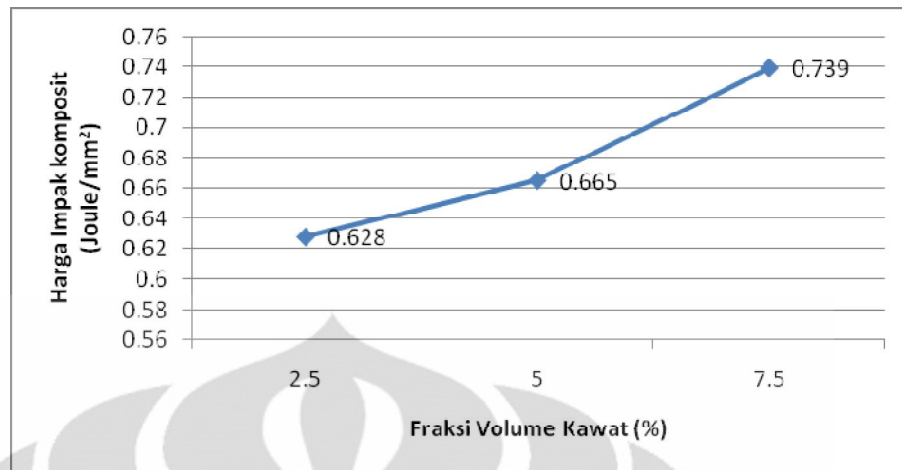
1.3 MPa dan untuk fraksi volume 5% dan 7.5% kekuatan modulus elastisitas sebesar 1.327 MPa dan 1.36 MPa.

Dari kedua data grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak penguat kawat baja karbon tinggi maka modulus elastisitas komposit akan meningkat. Hal ini dipengaruhi fraksi volume dari serat penguat kawat baja karbon tinggi, kekuatan kawat baja karbon tinggi yang cukup besar sehingga mempengaruhi kekuatan dari komposit aluminium. Dengan mengetahui modulus elastisitas komposit kita dapat mengetahui kekuatan komposit sampai daerah elastis material akan tetapi untuk melihat sampai daerah plastis dan perpatahan material digunakan pengujian impak pada komposit.

#### **4.3 Perhitungan Kekuatan Impak Komposit Aluminium**

Hasil pengujian impak ditampilkan pada Gambar 4.5. Pada saat melakukan pengujian impak, skala ukur yang didapat adalah energi yang diserap oleh material komposit aluminium, skala tersebut terbaca dalam satuan joule sehingga untuk mendapatkan harga impak (HI) kita harus menggunakan persamaan 3.8. Dari data yang didapatkan dapat diketahui bahwa semakin besar fraksi volume pada komposit aluminium maka kekuatan impak juga semakin meningkat (Gambar 4.5), dengan fraksi volume 2.5 % harga impak rata-rata adalah 0.628 Joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan untuk fraksi volume 5 % kekuatan impak meningkat menjadi 0.665 Joule/mm<sup>2</sup>, dan untuk fraksi volume 7.5 % kekuatan impak meningkat signifikan menjadi 0.739 Joule/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impak meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume penguat kawat baja karbon tinggi





**Gambar 4.5** Pengaruh persentase fraksi volume kawat terhadap harga impak komposit aluminium

Semakin tinggi harga impak maka, kemampuan komposit untuk menyerap energi juga semakin besar, sehingga ketika proyektil berpenetrasi maka diharapkan semakin besar energi yang diserap maka kemampuan komposit terhadap ketahanan balistik juga semakin besar

Selain dari harga impak, dari pengujian ini kita juga dapat melihat perpatahan yang terjadi pada aluminium komposit dengan fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5% (Gambar 4.6) dari gambaran perpatahan yang terjadi kita dapat menganalisa terhadap karakteristik komposit aluminium tersebut

Fraksi Volum Kawat 2.5 %

Fraksi Volum Kawat 5 %



Fraksi Volum Kawat 7.5 %



**Gambar 4. 6** Foto bentuk patahan impact pada komposit aluminium dengan penguat kawat baja karbon tinggi (a-c) Fraksi volum 2.5 %, (d-f) Fraksi volum 5 %, (g-i) Fraksi volum 7.5 %. Foto tampak atas dan tampak samping.

Dari gambar perpatahan diatas dapat diketahui bahwa aluminium terjadi perpatahan akan tetapi pada kawat baja karbon tinggi tidak terjadi perpatahan sehingga energi yang diterima oleh matriks tidak dapat ditransfer sempurna pada kawat baja karbon tinggi akan tetapi kawat baja karbon tinggi cukup baik dalam menyerap energi dapat dilihat pada beberapa sampel kawat baja bertransformasi plastis. Adhesif pada sampel dapat terlihat tidak mengalami putus (*break*) sehingga adhesif cukup baik dalam mempertahankan kekuatannya, dilihat dari perpatahan pada aluminium dengan fraksi volum 2.5 % (Gambar 4.6 a-c) celah yang terbentuk cukup besar, dibandingkan dengan fraksi volume 5% dan 7.5% , hal ini disebabkan penguat kawat baja pada komposit aluminium fraksi volume 2.5% lebih sedikit dibandingkan dengan fraksi volume 5% dan 7.5%. Pada sampel uji impact tidak ada pelepasan , akan tetapi pada beberapa sampel (Gambar 4.6 e, h, i) pada bagian belakang terjadi delaminasi antara matriks dengan adhesif, hal ini disebabkan ikatan antara aluminium dan adhesif tidak cukup kuat menahan beban impact sehingga terjadi delaminasi.

Pada sampel dengan fraksi volume 7.5 % (Gambar 4.6 g-i)), gap (celah) yang terbentuk tidak begitu lebar hal ini disebabkan oleh fraksi volume kawat baja yang lebih besar dibandingkan dengan fraksi volume 2.5% sehingga penyerapan energi lebih banyak, dari sampel juga terlihat bahwa kawat baja karbon tinggi berdeformasi plastis sehingga adanya energi yang diserap oleh penguat kawat baja karbon tinggi. Pada beberapa sampel uji impact tidak terjadi pelepasan (delaminasi) antara matriks dengan adhesif (Gambar 4.6 a,b,c,d,f,i) yang artinya ikatan antar kedua konstituen tersebut cukup erat, akan tetapi masih terdapat void pada sampel uji impact tersebut sehingga energi yang diserap belum maksimal. Pada sampel h dan i seperti yang terlihat pada gambar 4.6 (h,i) terjadi pelepasan pada matriks belakang sebab tidak adanya penahan pada belakang komposit tersebut. Pada penelitian J hogg, Paul <sup>[8]</sup> menyebutkan bahwa pada bagian belakang komposit armor dibutuhkan penahan (*backing layer*) agar dapat meminimalisasi *Spalling* dan kerusakan pada bagian belakang komposit ketika dilakukan pengujian balistik.

## 4.4 Pengaruh Fraksi Volume Kawat Terhadap Karakteristik Balistik Aluminium Komposit

### 4.4.1 Dimensi Perforasi

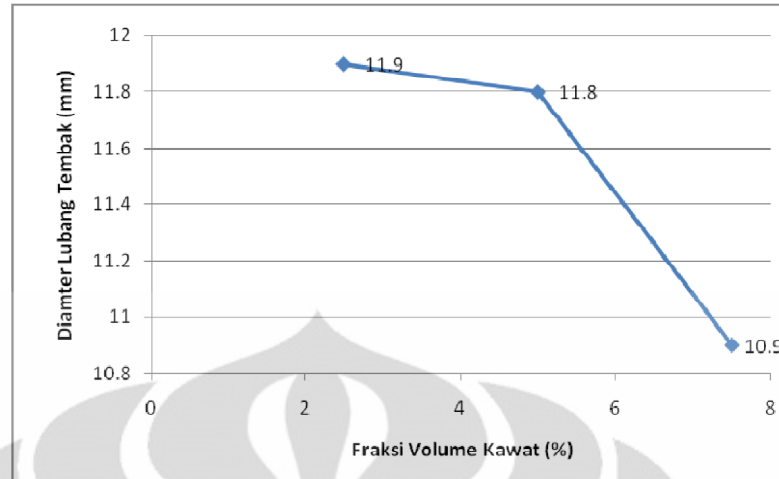
**Tabel 4. 9** Diameter jejak perforasi proyektil peluru 9 mm dan 7.62 mm pada komposit aluminium dengan masing-masing fraksi volume

% fraksi volum kawat yang dirancang	Diameter proyektil		
	9 mm	7.62 mm	
	diameter lubang tembak (mm)	bagian depan pelat diameter lubang tembak (mm)	bagian belakang pelat diameter lubang tembak (mm)
2.5	11.9	8.01	12.5
5	11.8	7.95	12.5
7.5	10.9	7.81	11.6

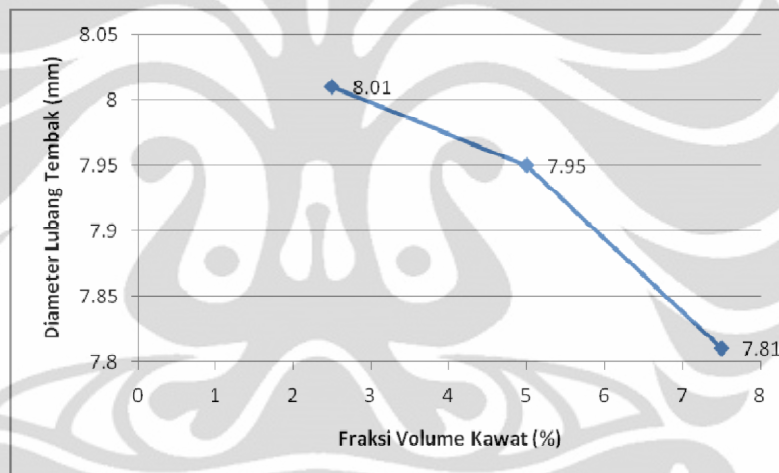
Tabel 4.9 dan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa fraksi volume penguat kawat baja mempengaruhi dari kekuatan balistik aluminium dapat dilihat dari diameter lubang tembak dan bentuk perforasi dari proyektil peluru 9 mm dan 7.62 mm. Gambar 4.7 menunjukkan diameter lubang tembak terhadap uji balistik 9 mm komposit. Gambar 4.8 menunjukkan diameter lubang tembak bagian depan pelat komposit terhadap uji balistik 7.62 mm dan Gambar 4.9 menunjukkan diameter lubang tembak bagian belakang pelat komposit terhadap uji balistik 7.62 mm. Gambar 4.7 menunjukkan diameter lubang tembak untuk masing-masing fraksi volum kawat 2.5 %, 5 % dan 7.5 % sebesar 11.9 mm, 11.8 mm dan 10.9 mm.

Pada pengujian balistik 9 mm peluru tidak dapat menembus pelat komposit, dalam hal ini berarti energi kinetik peluru dapat diserap oleh komposit sepenuhnya dengan membuat komposit aluminium terdeformasi plastis. Diameter lubang tembak menandakan seberapa besar komposit terdeformasi, semakin kecil diameter lubang tembak menandakan bahwa semakin besar energi kinetik peluru yang diserap oleh penguat kawat baja karbon tinggi. Hal ini berbanding lurus yaitu semakin banyak penguat kawat baja karbon tinggi, diameter lubang tembak semakin kecil. Energi kinetik peluru diterima oleh matriks aluminium kemudian diteruskan ke penguat kawat baja karbon tinggi<sup>[24]</sup>, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 dimana terdapat kawat baja karbon tinggi yang terdeformasi secara plastis.

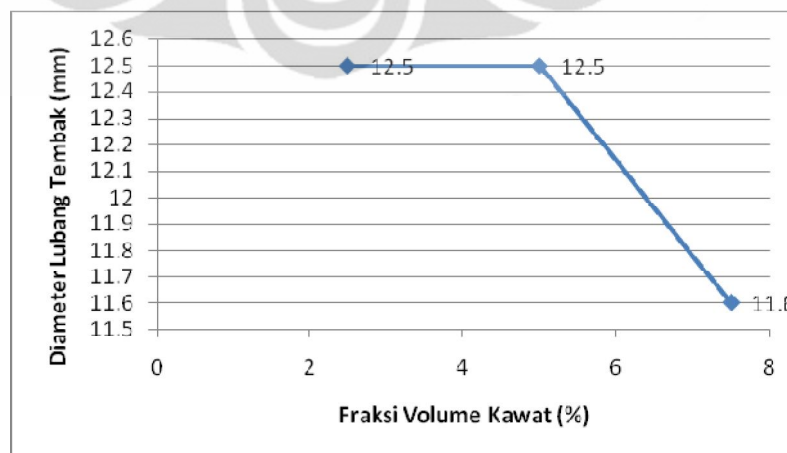




**Gambar 4. 7** Pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak uji balistik dengan menggunakan peluru 9 mm



**Gambar 4. 8** Pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak bagian depan pelat komposit pada pengujian balistik dengan menggunakan peluru 7.62 mm

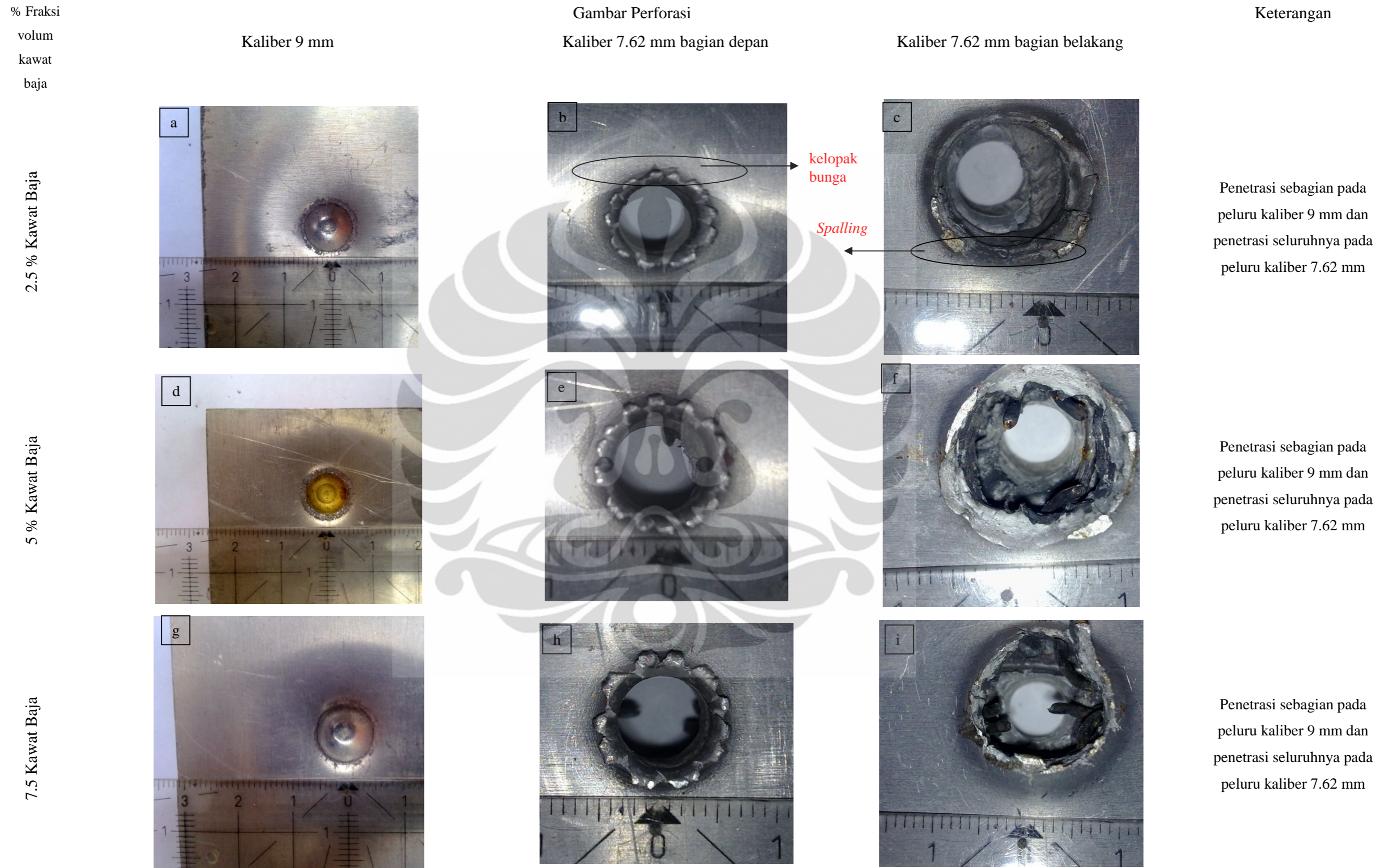


**Gambar 4. 9** Pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak bagian belakang pelat komposit pada pengujian balistik dengan menggunakan peluru 7.62 mm

Tabel 4.9 menunjukkan pada pengujian balistik 7.62 mm, diameter lubang tembak yang dihasilkan pada bagian depan pelat komposit sebesar 8.01 mm, 7.95 mm, dan 7.81 mm untuk masing- masing fraksi volum penguat kawat baja 2.5 ,5 ,dan 7.5 %. Komposit alumnum tidak dapat menahan peluru 7.62 mm menyebabkan peluru tembus ke dalam dan merusak komposit. Diameter lubang tembak yang dihasilkan pada bagian depan pelat komposit dihasilkan akibat kecepatan peluru yang sangat tinggi sehingga mengakibatkan permukaan meleleh akibat panas yang tinggi. Panas tersebut berasal dari gesekan peluru yang tinggi dengan permukaan komposit, panas tersebut membuat daerah yang terkena tembakan membentuk struktur poros yang halus<sup>[32]</sup>. Semakin besar fraksi volum penguat kawat baja diameter lubang tembak semakin kecil, hal ini menandakan semakin tinggi penguat kawat baja maka semakin tinggi pengaruhnya dalam menahan peluru.

Tabel 4.9 menunjukkan diameter lubang tembak pada bagian belakang pelat komposit dengan menggunakan peluru 7.62 mm, diameter lubang tembak dihasilkan sebesar 12.5 mm, 12.5 mm, dan 11.6 mm untuk masing-masing fraksi volume 2.5, 5, dan 7.5%. Semakin tinggi fraksi penguat kawat baja diameter lubang tembak semakin kecil, akan tetapi pada fraksi volume 5 % memiliki diameter lubang tembak yang sama dengan fraksi volume 2.5%, hal ini diduga pada komposit dengan fraksi volum 5 % menembus bagian komposit yang memiliki kerapatan kawat yang rendah (renggang). Pernyataan tersebut didukung oleh data pada subbab 4.1, dimana distribusi kerapatan kawat komposit tidak merata akibat tingkat kelurusan kawat yang tidak bisa lurus 100 %.



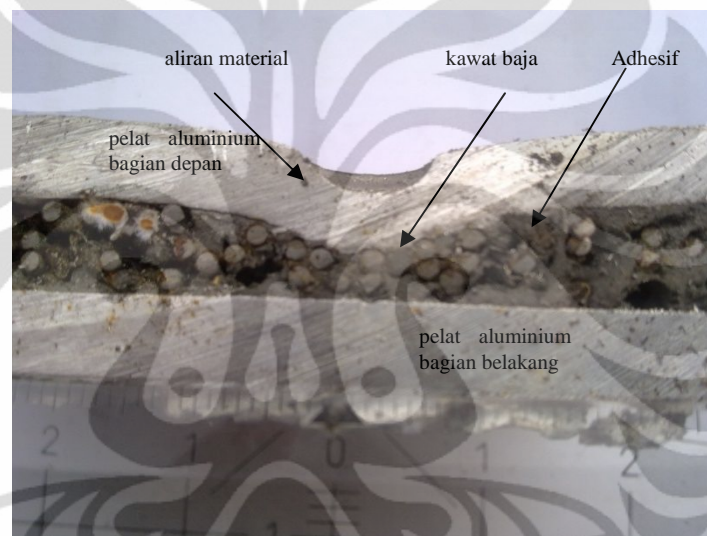


**Gambar 4. 10** Bentuk perforasi pelat komposit aluminium dengan variasi fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%, 5%, dan 7.5%, akibat penetrasi proyektil berdiameter 9 mm dan 7.62 mm (a-c) fraksi volum 2.5 %, (d-f) fraksi volum 5 %, (g-i) fraksi volum 7.5 %.



#### 4.4.2 Analisa Makro Perforasi

Pada penampang melintang komposit dapat diamati pada Gambar 4.14 adanya kerusakan yang terjadi akibat proyektil 9 mm mengakibatkan aliran material (Gambar 4.10) berdeformasi plastis pada daerah dimana terjadinya impak balistik. Aliran material tersebut berupa lingkaran yang mengikuti bagian ujung proyektil peluru. Sedangkan untuk penampang melintang kerusakan pelat komposit yang disebabkan oleh proyektil berdiameter 7.62 mm, selain menyebabkan matriks aluminium berdeformasi plastis, peluru 7.62 mm juga menyebabkan kawat baja karbon tinggi berdeformasi hingga putus (Gambar 4.11)

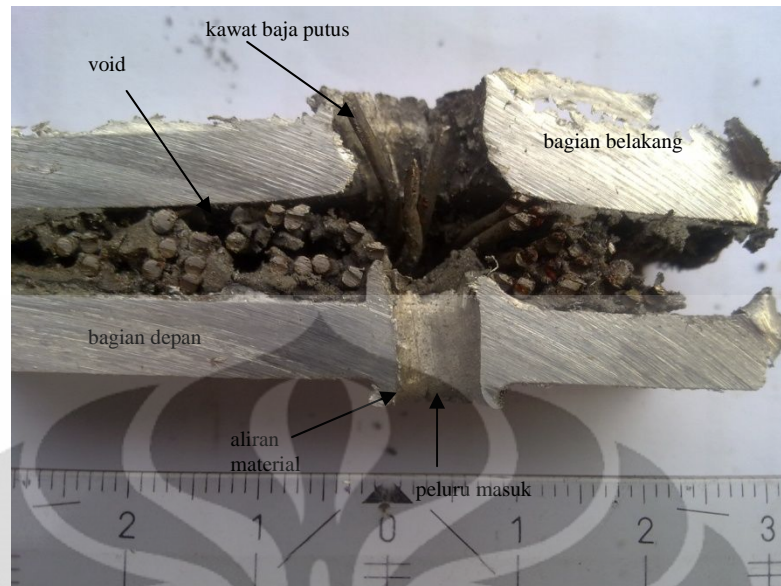


**Gambar 4. 11** Penampang melintang kerusakan komposit dengan fraksi volum 7.5 % pada pengujian balistik dengan peluru kaliber 9 mm

Pada pengujian balistik dengan menggunakan proyektil 9 mm, dapat dilihat bahwa proyektil 9 mm tidak dapat menembus pelat aluminium komposit, peluru tertahan sehingga menyebabkan aliran material pada bagian permukaan pelat komposit. Dapat diketahui bahwa energi yang diberikan oleh peluru dapat diserap oleh pelat komposit, peluru pun tidak dapat menembus pelat aluminium sehingga dapat diketahui bahwa energi dari peluru lebih kecil dari batas energi impak yang dapat diterima oleh komposit aluminium.

Pada Gambar 4.11 adalah bentuk penampang melintang dari komposit aluminium dengan menggunakan proyektil 7.62 mm pada bagian depan pelat komposit dapat dilihat terjadinya aliran material yang keluar seperti bentuk kelopak bunga, aliran material tersebut adalah pelat aluminium yang terdeformasi

plastis akibat mekanisme gerak peluru yang berputar ketika mulai berpenetrasi ke dalam komposit aluminium. Daya impact besar yang disebabkan oleh peluru berdiameter 7.62 mm, akibat ujung proyektil yang runcing mengakibatkan rusaknya permukaan aluminium dan ketika peluru berpenetrasi ke dalam gerak peluru yang memutar merusak bagian dalam pelat komposit. Mekanisme yang terjadi penguat dan adhesif menahan laju peluru dengan cara menyerap energi yang diberikan oleh peluru tersebut. Hal tersebut dapat dilihat dari penguat kawat baja karbon tinggi yang putus dan adhesif yang rusak akibat gerak peluru yang berpenetrasi ke dalam komposit aluminium. Ketika kawat baja karbon tinggi sudah putus maka selanjutnya peluru akan menembus bagian belakang komposit aluminium. Pada bagian belakang diameter lubang tembak pelat komposit memiliki struktur yang lebih kasar dibandingkan pada bagian depan pelat komposit. Hal ini disebabkan oleh mekanisme penetrasi peluru ketika menembus pelat komposit, mekanisme yang terjadi adalah pada saat peluru menumbuk bagian permukaan komposit panas yang dihasilkan oleh gaya gesek peluru pada permukaan komposit menyebabkan permukaan material komposit meleleh, daerah yang meleleh tersebut membentuk struktur poros yang halus dan aliran material keluar seperti kelopak bunga. Setelah menumbuk permukaan komposit kecepatan peluru berkurang akibat adanya perpindahan energi kinetik peluru kepada material, karena kecepatan peluru telah berkurang diameter lubang belakang komposit menjadi lebih kasar akibat kecepatan gesek yang lebih rendah dibandingkan ketika peluru mulai berpenetrasi pada bagian permukaan komposit<sup>[32]</sup>. Akibatnya lubang tembak pada bagian permukaan komposit lebih kecil dan halus, sedangkan pada bagian belakang komposit lebih besar dan kasar, pada penelitian karamis M. B et al<sup>[32]</sup> menyebutkan bahwa semakin kasar bagian material yang terkena peluru maka tahanan peluru material semakin baik. Sehingga semakin ke bagian belakang tahanan komposit semakin baik, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.14 dimana pada bagian depan komposit diameter lubang tembak memiliki struktur yang halus, sedangkan pada bagian belakang memiliki struktur yang kasar



**Gambar 4. 12** Penampang melintang komposit dengan fraksi volum 7.5 % pada pengujian balistik dengan diameter peluru 7.62 mm

Pada perforasi secara makro ini dapat dilihat antarmuka antara adhesif dengan pelat aluminium. Pemotongan sampel secara melintang juga dapat melihat void yang terbentuk akibat proses laminasi yang kurang sempurna pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pembasahan adhesif pada pelat komposit kurang sempurna dapat dilihat bahwa sedikit sekali adhesif yang menempel pada permukaan pelat komposit, dan terlihat pada beberapa kawat baja karbon tinggi terdapat kawat yang tidak ada lapisan adhesif pada bagian permukaannya, Gambar 4.12 adalah gambar komposit aluminium komposit yang dibuka (dibelah) sehingga bagian dalam komposit dapat terlihat. Pembasahan adhesif yang kurang sempurna dikarenakan ketika melakukan proses penekanan, mesin *press* tidak dapat memberikan gaya yang konstan pada periode waktu yang lama (tekanan selalu turun), sehingga ketika melakukan proses *curing* rongga terbentuk akibatnya pembasahan antara adhesif dengan bagian permukaan komposit menjadi kurang sempurna.



**Gambar 4.13** Penampang melintang komposit setelah dibuka (dibelah). (a) fraksi volume 2.5%  
(b) fraksi volume 5%

Dapat dilihat pada gambar adhesif yang menempel pada permukaan aluminium sangat sedikit sehingga, pembasahan antara adhesif dengan aluminium kurang baik dan juga adanya beberapa kawat baja karbon tinggi yang tidak dilapisi adhesif secara merata sehingga kawat baja tidak dapat mempertahankan posisinya (Gambar 4.12 (b)), selain itu banyaknya rongga pada bagian tengah komposit aluminium yang, rongga tersebut dikenali sebagai *void* pada komposit yang menurunkan sifat mekanik pada komposit hal ini berkorelasi dengan volume komposit yang besar akan tetapi berat komposit yang ringan seperti yang telah dibahas pada subbab 4.1.2. Sehingga kekuatan komposit menurun akibat timbulnya *void* yang terbentuk selama proses laminasi.

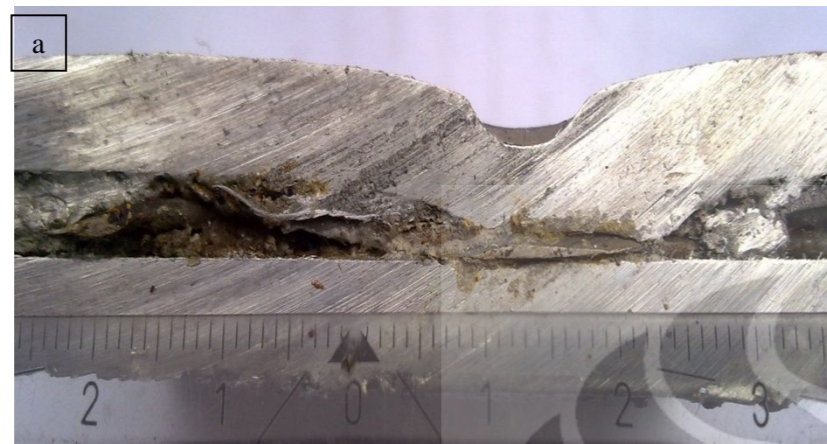


% Fraksi Volume  
Kawat Baja

Proyektil 9 mm

Proyektil 7.62 mm

2.5 % Kawat Baja



5 % Kawat Baja



7.5 % Kawat Baja



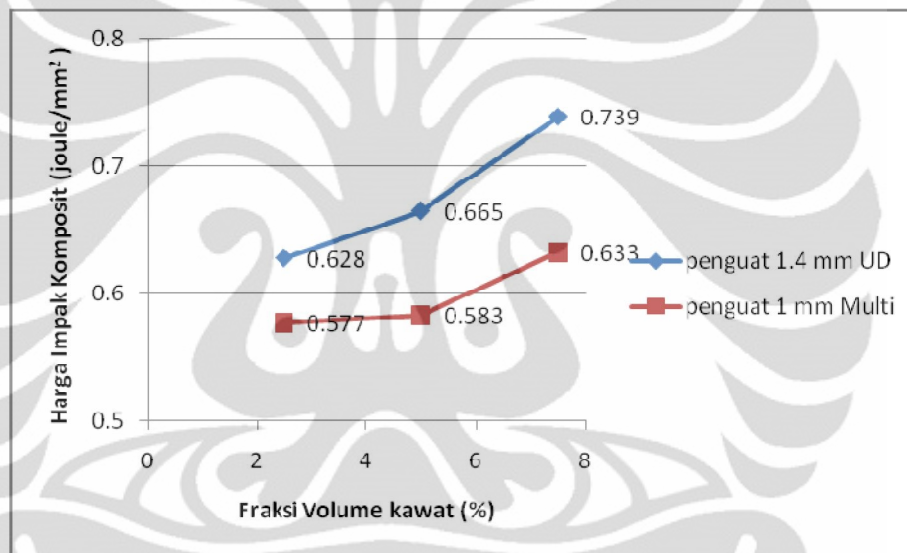
**Gambar 4. 14** Penampang melintang pada perforasi komposit aluminium dengan diameter proyektil 9 mm dan 7.62 mm (a-b) fraksi volum 2.5 %. (c-d) fraksi volum 5 % (e-f) fraksi volum 7.5 %



#### 4.5 Perbandingan Sifat Mekanik Komposit Aluminium AA 6061-T651 Penguat Kawat Baja 1.4 mm Susunan Satu Arah dengan Komposit Aluminium AA6061-T651 Penguat Kawat Baja 1 mm Susunan ( $0^0/90^0/0^0$ )

##### 4.5.1 Kekuatan Impak Komposit

Kekuatan impak komposit merupakan, sifat mekanik dari komposit tersebut sampai sejauh mana material komposit tersebut dapat menerima dan menyerap energi sampai material tersebut mencapai kegagalan (*failure*). Dari (Gambar 4.15) dapat dilihat perbandingan kedua data kekuatan impak komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm susunan satu arah dengan komposit penguat kawat baja 1 mm susunan *multidirectional*.



**Gambar 4. 15** Perbandingan pengaruh fraksi volume kawat terhadap harga impak komposit AA6061 penguat kawat baja 1.4 mm susunan satu arah dengan harga impak komposit AA6061 penguat kawat baja 1 mm susunan *multidirectional*.

Dari gambar 4.15 dapat diketahui bahwa pada komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm memiliki nilai harga impak yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit dengan penguat kawat baja 1 mm, perbedaan harga impak rata-rata pada kedua komposit tersebut sebesar 11 %. Aluminium dan adhesif yang dipakai merupakan aluminium dan adhesif dengan jenis yang sama, sedangkan yang berbeda adalah penguat dan susunan penguat. Pada pengujian tarik kawat baja nilai modulus elastisitas yang didapat sama, karena bahan penyusun kawat baja karbon tinggi merupakan jenis material yang sama hanya diameter kawat baja yang berbeda, pada pengujian tarik diameter kawat baja tidak terlalu



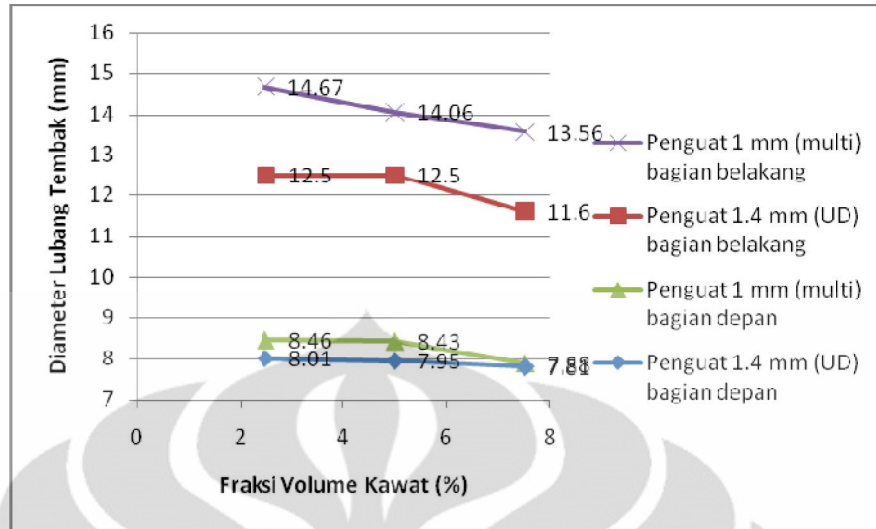
mempengaruhi nilai modulus elastisitas, hal ini diperkuat dari keterangan *vendor* dimana *tensile strength* antara kawat baja berdiameter 1 mm dengan 1.4 mm memiliki nilai yang sama sehingga nilai modulus elastisitas tidak jauh berbeda. Hal lain yang mempengaruhi adalah susunan penguat kawat baja karbon tinggi dimana pada komposit dengan penguat kawat baja 1 mm mempunyai susunan ( $0^0/90^0/0^0$ ), sedangkan untuk komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm mempunyai susunan satu arah (*unidirectional*). Pada komposit dengan penguat 1.4 mm susunan penguat kawat baja karbon tinggi lebih rapat sehingga transfer energi ketika beban impak diberikan pada komposit lebih merata dibandingkan dengan komposit dengan penguat kawat baja 1 mm. Susunan penguat kawat baja pada komposit 1 mm lebih renggang dibandingkan dengan susunan penguat pada komposit 1.4 mm (Gambar 4.16) sehingga menyebabkan harga impak menjadi lebih rendah. Dapat dilihat pada komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm, harga impak pada masing-masing fraksi volume adalah 0.628, 0.665, dan 0.739 joule/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing fraksi volume 2.5% , 5% dan 7.5%. Sedangkan untuk komposit dengan penguat kawat baja 1 mm harga impak pada masing-masing fraksi volume adalah 0.577, 0.583, dan 0.633 joule/mm<sup>2</sup> untuk masing-masing fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5%. Pada perbandingan kedua harga impak pada masing-masing komposit ditemukan kesamaan yaitu semakin besar fraksi volume penguat kawat baja, maka kecenderungan harga impak akan semakin meningkat.



**Gambar 4. 16** Perbandingan susunan kawat penguat pada volum fraksi 5 % (a) AA6061 penguat kawat baja 1 mm (b) AA6061 penguat kawat baja 1.4 mm

#### 4.5.2 Diameter Perforasi Komposit

Pada pembahasan sebelumnya dapat diketahui bahwa diameter perforasi berpengaruh terhadap kekuatan komposit untuk menahan laju peluru pada pengujian balistik. Pada gambar 4.17 dapat dilihat perbandingan diameter lubang tembak antara komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm dengan komposit dengan penguat kawat baja 1 mm. Pada gambar 4.17 dapat dilihat bahwa besarnya nilai diameter lubang tembak antara kedua komposit tidak jauh berbeda secara signifikan, nilai diameter lubang tembak untuk bagian belakang komposit penguat kawat baja 1.4 mm sebesar 12.5, 12.5, dan 11.6 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5, dan 7.5 % sedangkan diameter lubang tembak komposit bagian belakang komposit penguat kawat baja 1 mm sebesar 14.67, 14.06, dan 13.56 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5 dan 7.5 %. Untuk bagian depan komposit berpenguat 1.4 mm diameter lubang tembak memiliki nilai 8.01, 7.95, dan 7.81 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5 dan 7.5%. Sedangkan untuk bagian depan komposit berpenguat 1 mm diameter lubang tembak memiliki nilai 8.46, 8.43, dan 7.88 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5 dan 7.5 %.



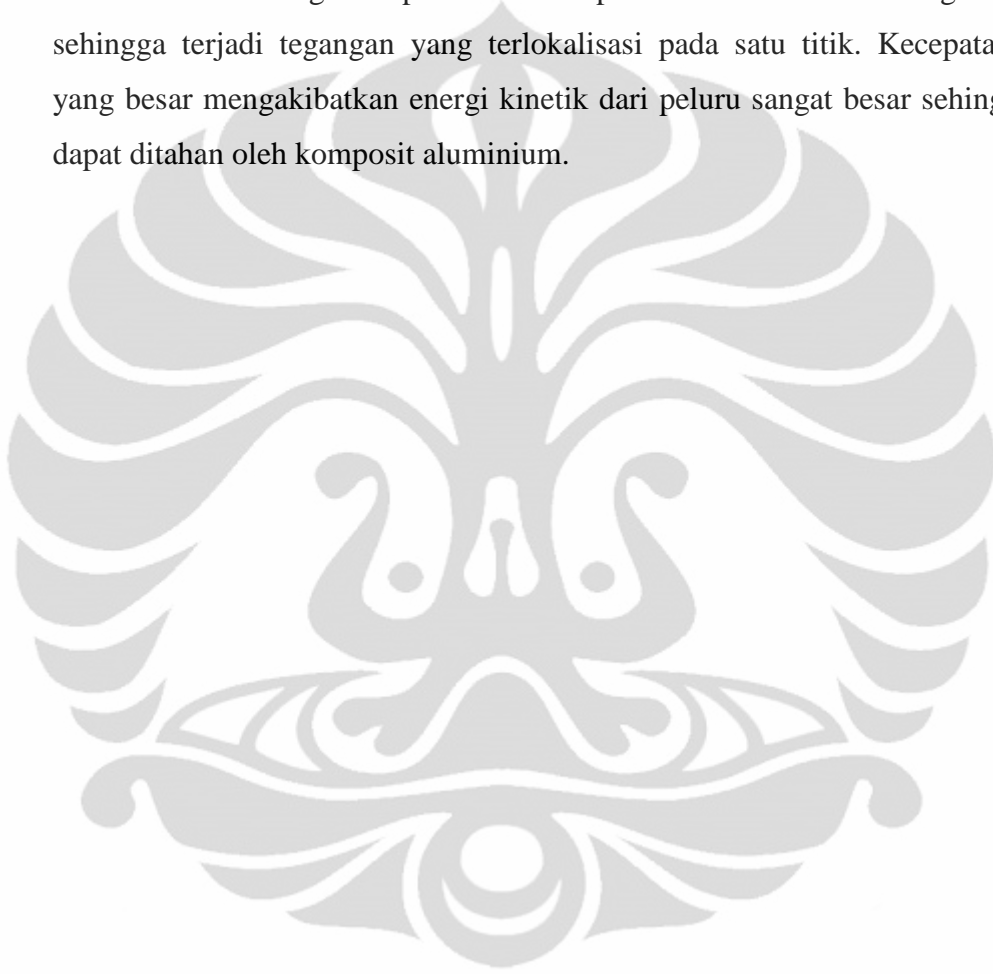
**Gambar 4. 17** Perbandingan pengaruh fraksi volum kawat terhadap diameter lubang tembak komposit AA6061 penguat kawat baja 1 mm dengan komposit AA6061 penguat kawat baja 1.4 mm

Pada perbandingan kedua grafik diatas dapat dilihat semakin tinggi penguat kawat baja karbon tinggi maka kecenderungan diameter perforasi peluru akan semakin kecil, akan tetapi pada komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm diameter perforasi bagian belakang lebih kecil dibandingkan dengan diameter perforasi bagian belakang komposit dengan penguat kawat baja 1 mm hal ini diduga disebabkan susunan pada kawat baja komposit dengan penguat 1.4 mm lebih rapat (Gambar 4.16) sehingga energi yang diserap lebih besar, hal tersebut berkaitan dengan kekuatan impak, pada komposit dengan penguat kawat baja 1.4 mm kekuatan impak lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan penguat kawat baja 1 mm. Selain data perbandingan hasil perforasi pada pengujian balistik kita dapat melihat struktur secara makro seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 dan melihat perbandingan penampang melintang pada kedua komposit seperti yang terlihat pada Gambar 4.19.

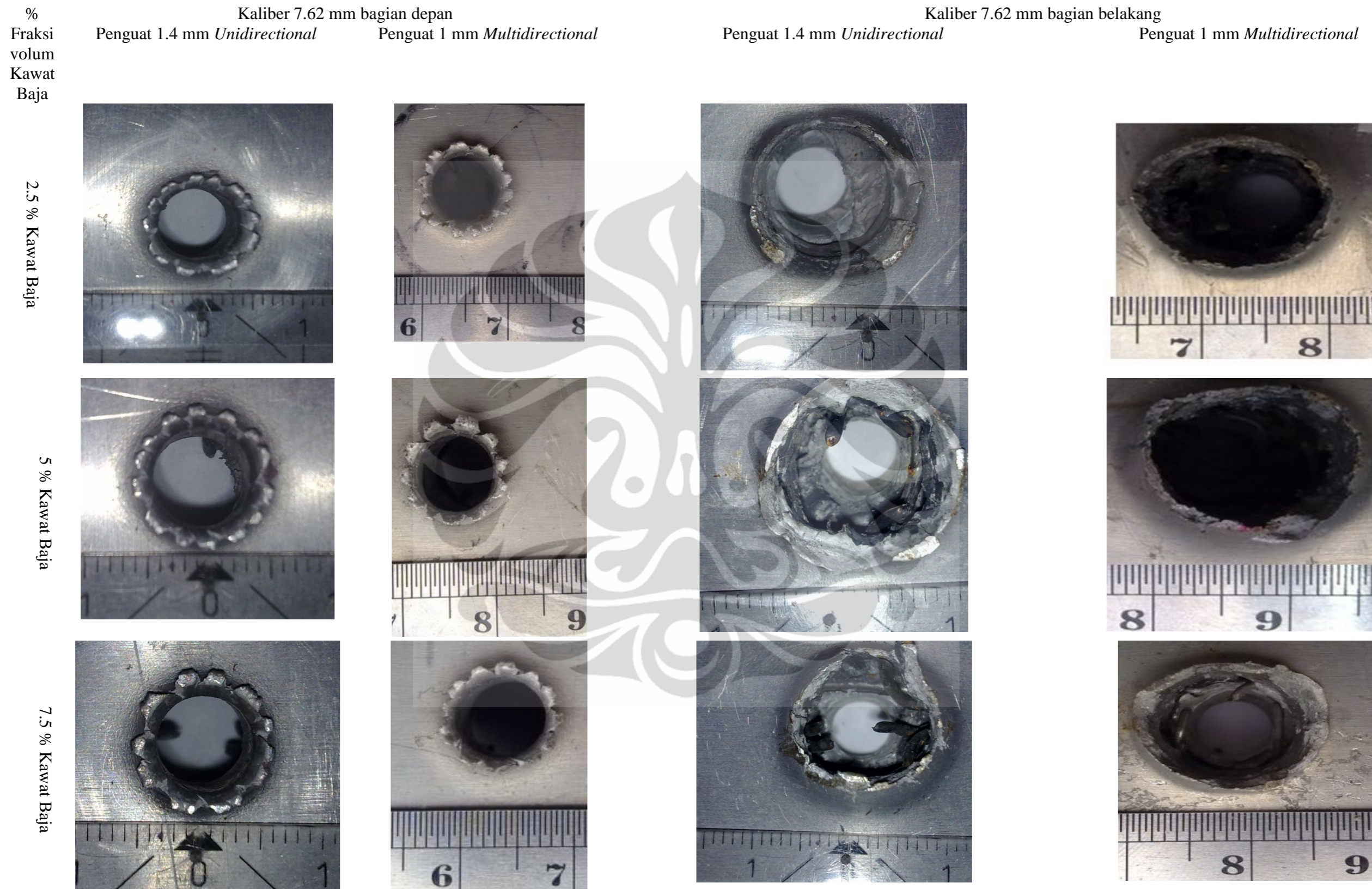
Pada kedua tabel berikut dapat terlihat pada komposit dengan penguat kawat baja 1 mm, bagian belakang komposit terlihat lubang perforasi yang lebih besar, dan juga pada bagian belakang komposit tersebut terlihat petalling yang lebih sedikit akibat dari lubang yang besar hal ini diduga karena tahanan komposit pada komposit dengan penguat kawat baja 1 mm lebih sedikit diakibatkan

susunan kawat penguatnya.. Akan tetapi mekanisme lubang yang terbentuk sama yaitu akibat gerak peluru yang memutar.

Dilihat dari struktur penampang melintang dapat dilihat bahwa pada komposit dengan penguat 1 mm pada bagian tengah komposit banyak terdapat kawat yang putus dan terdeformasi plastis akibat dengan putaran gerak peluru hal ini diakibatkan energi dari peluru tidak dapat ditransfer keseluruh bagian material sehingga terjadi tegangan yang terlokalisasi pada satu titik. Kecepatan peluru yang besar mengakibatkan energi kinetik dari peluru sangat besar sehingga tidak dapat ditahan oleh komposit aluminium.







**Gambar 4. 18** Perbandingan bentuk perforasi antara komposit aluminium penguat kawat baja 1.4 mm dengan komposit aluminium penguat kawat baja 1 mm

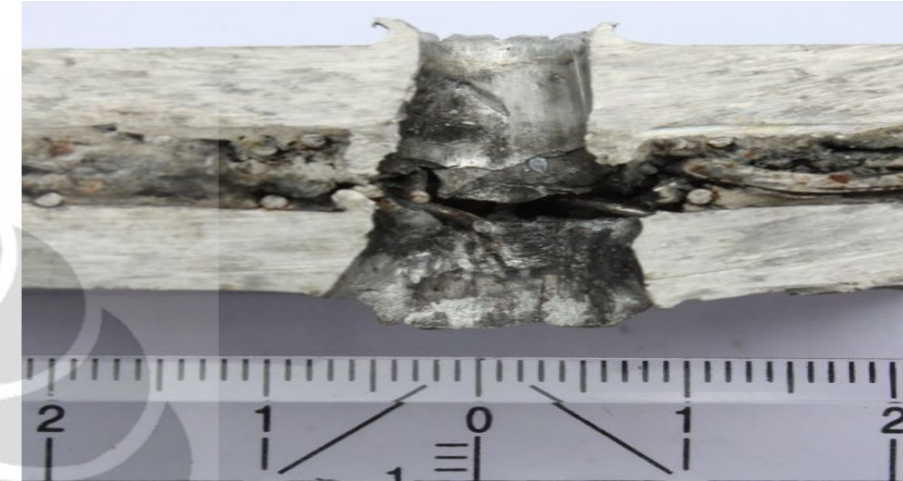


%  
Fraksi  
Volum  
Kawat  
Baja

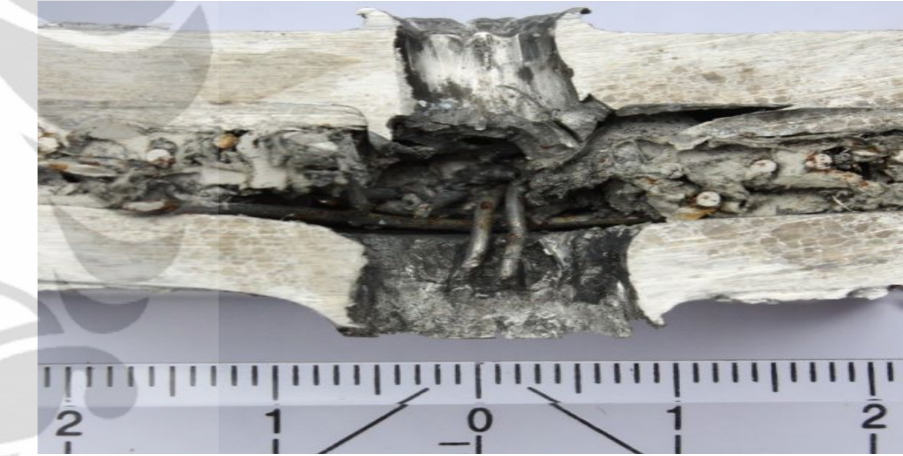
Komposit dengan penguat kawat 1.4 mm

Komposit dengan penguat kawat 1 mm

2.5 % Kawat Baja



5 % Kawat Baja



7.5 % Kawat Baja



**Gambar 4. 19** Perbandingan bentuk penampang melintang hasil uji balistik 7.62 mm antara komposit aluminium penguat kawat baja 1.4 mm dengan komposit aluminium penguat kawat baja 1 mm

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Sebelum diluruskan dengan cetakan kelurusan kawat 81 %, Akan tetapi setelah dibantu cetakan kelurusan kawat mencapai 94 %
2. Penambahan fraksi volume kawat baja dapat meningkatkan ketahanan material dalam menahan beban impact. Harga impact yang diperoleh yaitu  $0.628 \text{ J/mm}^2$ ,  $0.665 \text{ J/mm}^2$ , dan  $0.739 \text{ J/mm}^2$  masing-masing untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %.
3. Berdasarkan perhitungan mikromekanik, modulus elastisitas komposit yang didapatkan sebesar 25.05 GPa, 26.84 GPa, dan 28.63 GPa masing-masing untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 % untuk arah longitudinal (searah serat). Modulus elastisitas komposit pada arah transversal (berlawanan arah serat) sebesar 0.00130 GPa, 0.00133 GPa dan 0.00136 GPa untuk masing-masing fraksi volume penguat kawat baja 2.5%, 5% dan 7.5%.
4. Uji balistik dengan menggunakan diameter peluru 9 mm menghasilkan diameter lubang tembak 11.9, 11.8, dan 10.9 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5, dan 7.5 %. Sedangkan pengujian balistik dengan menggunakan diameter 7.62 mm menghasilkan diameter lubang tembak pada bagian depan komposit sebesar 8.01, 7.95, dan 7.81 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5 dan 7.5 %, sedangkan untuk bagian belakang komposit menghasilkan diameter lubang tembak sebesar 12.5, 12.5, dan 11.6 mm untuk masing-masing fraksi volum 2.5, 5 dan 7.5 %. Pada pengujian balistik 9 mm (Tipe II standar NIJ 0108.01) peluru tidak dapat menembus komposit sehingga ketahanan komposit baik, akan tetapi komposit kurang baik pada pengujian balistik 7.62 mm (Tipe III standar NIJ 0108.01), karena pada pengujian ini komposit dapat ditembus oleh peluru.
5. Pada analisis secara makro pengujian balistik dengan peluru 7.62 mm diameter lubang tembak pada permukaan komposit lebih halus dibandingkan dengan diameter lubang tembak pada bagian belakang komposit, pada analisa secara makro didapatkan pembasahan antara adhesif dengan aluminium kurang baik dapat dilihat dengan adanya *void* pada komposit.



6. Kekuatan impak komposit dengan penguat 1.4 mm lebih besar dibandingkan dengan komposit dengan penguat 1 mm, diameter lubang tembak pada komposit dengan penguat 1.4 mm lebih kecil dibandingkan dengan komposit penguat 1 mm.
7. Kemampuan balistik komposit aluminium dengan penguat kawat baja 1.4 mm lebih tinggi dibandingkan dengan komposit aluminium dengan penguat kawat baja 1 mm, dapat dilihat dari diameter lubang tembak komposit penguat 1 mm lebih besar dibandingkan dengan komposit penguat 1.4 mm. Hal ini disebabkan oleh susunan penguat kawat baja pada komposit penguat 1 mm lebih renggang dibandingkan dengan komposit penguat 1.4 mm.

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan kawat yang telah lurus, hal ini dilakukan agar memudah proses laminasi komposit
2. Pada permukaan matriks sebaiknya dipakai material yang keras atau dilakukan mekanisme pengerasan, hal ini dilakukan agar dapat menghalangi penetrasi peluru ketika menghantam permukaan komposit
3. Proses pressing sebaiknya dilakukan dengan tekanan yang konstan dengan periode waktu tertentu agar hasil yang didapatkan lebih maksimal dan *void* dapat diminimalisir. Proses curing pada adhesif sebaiknya diperlama sehingga adhesif telah curing secara sempurna.
4. Pemilihan adhesif yang tepat, sebaiknya pemilihan adhesif yang bukan dari jenis *moisture curing* sehingga pada waktu curing tidak menyerap air yang bisa menimbulkan *void* pada komposit

## DAFTAR REFERENSI

1. <http://www.tni-au.mil.id/forum/printable.asp?m=7391&mpage=3>  
diakses pada 20 November 2010.
2. <http://www.tni.mil.id/news.php?q=dtl&id=113012006112706>  
diakses pada 21 November 2010
3. <http://indoforce.tripod.com>  
diakses pada 5 Februari 2011
4. <http://www.keytometals.com/Articles/Art52.htm>  
diakses pada 6 Maret 2011
5. F.L. Matthews, R.D. Rawlings. 1994. *Composite Materials : Engineering and Science*. London : Chapman & Hall
6. Tim Penyusun Kamus Pusat Bahasa. (2008). *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta : Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional
7. Lerner, K. Lee dan Lerner, Brenda Wilmoth. (2004). *Gale Encyclopedia of Science* (3<sup>rd</sup> ed). Canada : Thomson Learning, Inc
8. J hogg, Paul (2005), *Composites for Ballistic Applications*, London : University of London
9. NIJ Standard 0108-01. 1985. *Ballistic Resistant Protective Materials*. Washington : National Institute of Justice
10. Myungsoo Park, Jeonghoon Yoo, Dong-Teak Chung. (2005). An optimization of a multi-layered plate under ballistic impact. *International Journal of Solids and Structures*, 42, 123–137.
11. *Composite Armor Material*.(2001). US Patent No : 006216579.
12. J. Randolph Kissell, Robert L Ferry.2002. *Aluminium Structures A Guide to Their Specifications and Design 2<sup>nd</sup> Edition*. New York : John Wiley & Sons
13. ASM Handbook Volume 2.1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee
14. W.D. Callister. 2004. *Materials Science and Engineering, 6<sup>th</sup> edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc
15. <http://www.google.co.id/US3Aofficial=strand+of+wires+in+wire+rope.pdf>, diakses pada 14 Mei 2011

16. ASM Handbook Volume 1. 1993. *Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys*. ASM International Handbook Committee
17. <http://timeltd.ca/products/hoisting-lifting/wire-rope/>  
diakses pada 8 April 2011
18. ASTM A 1023 : *Standard Specification for Stranded Carbon Steel Wire Ropes for General Purposes*. (2002). USA : ASTM International
19. *Certificate of Test Steel Wire Rope*. USHA SIAM steel industry Public co. Ltd. 2009
20. E Hudgin. Donald. (2006). *Plastic Technology Handbook*. USA : Taylor & Francis Group
21. Gerd Habenicht. (2009). *Applied Adhesive Bonding : A Practical Guide for Flawless Results*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
22. Technical Data Sheet. Seal N Flex 1 : Polyurethane construction joint sealant. Australia : Bostik
23. Petrie, Edward M. (2000). *Handbook of Adhesives and Sealants*. McGraw-Hill, Inc
24. Hull, D., & Clyne, T. W. (2000). *An Introduction to Composite Materials (2nd ed.)*. Cambridge : Cambridge University Press
25. Gibson, Ronald F. (1994). *Principles of Composite Material Mechanics*. Singapura : McGraw-Hill, Inc
26. Ubeyli, M., Yildirim, R. Orhan, & Demir, T. (2008). Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys. *Materials and Design*, 29, 2009-2016
27. A.B. Jha, N. Shiresha, S.V.S.N Murty, V. Diwakar, K. SreeKumar. *Ballistic Impact Testing of AA2219 Aluminium Alloy Welded Plates and Their Metallurgical Characterization*. Indian J. Eng. Matter. Sci vol.12 (2005) 221-226
28. B Srivathsa & N Ramakrishnan.(1997). *On The Balistic Performance of Metallic Materials*. Bull. Mater.Sci, Vol 20, No 1, pp 111-123
29. Jonathan S. Montgomery & Martin G.H Wells.(2001), *Titanium Armor Applications in Combat Vehicles*. Titanium Overview JOM.
30. M.C.P Peijen, J.P.F Bross, S.N Van Trigt, A.M Diederren. *Balistic Protection Against Armour Piercing Projectiles Using Titanium Base Armour*. Royal Netherlands Army, The Hague Netherlands

31. French, A.Mark. *Composite Materials & New Modelling Techniques for Lighters AFVs*. Defence Evaluation and Research Agency (DERA) Chertsey England
32. Karamis M.B et, Cerit A.A.,Nair F. *Review on Balistic Tribology*. Tribology in Industri, Volume 26, No. 3&4, 2004.



## LAMPIRAN

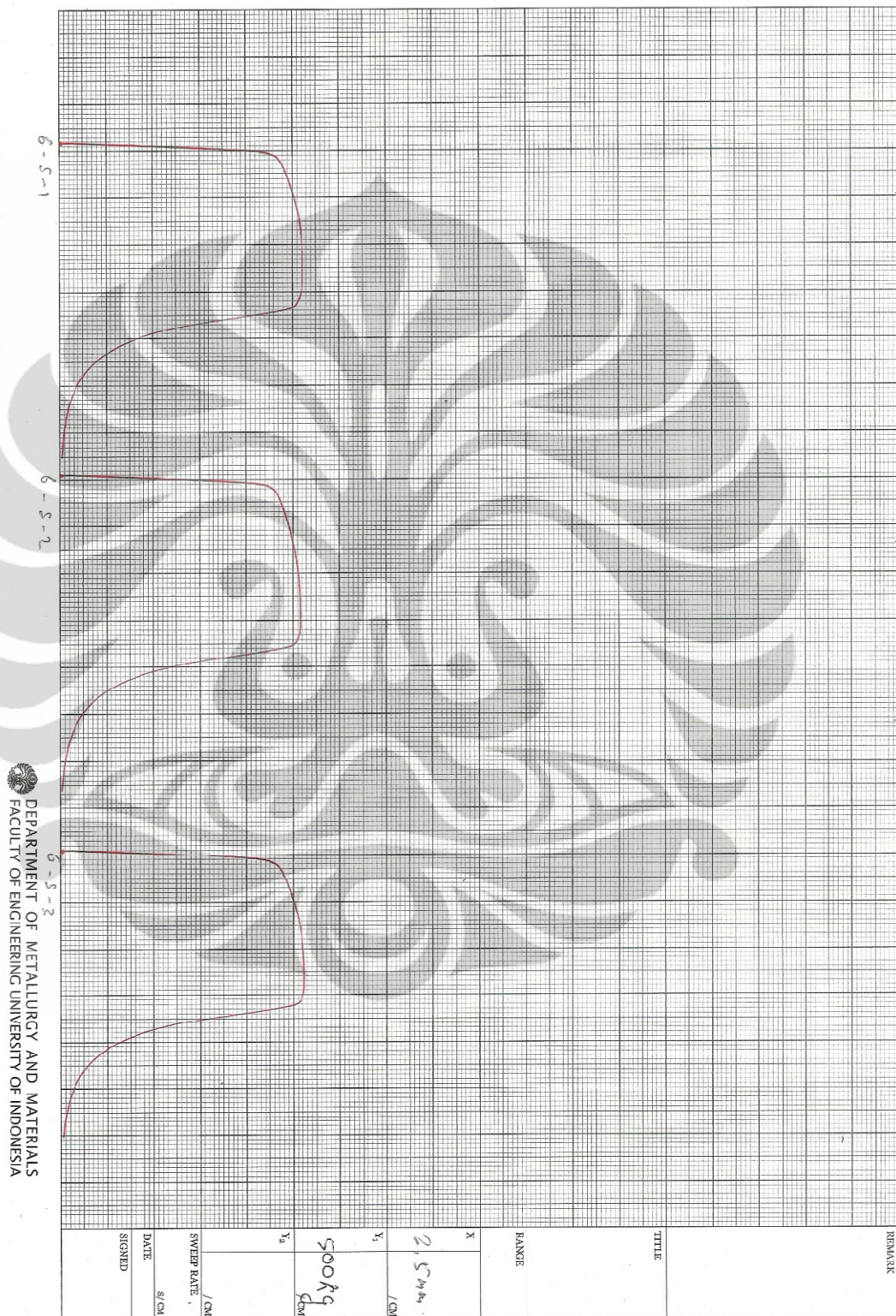
### Lampiran 1. Perhitungan Harga Impak dan Diameter Perforasi

Tabel 1. Perhitungan harga impact.

% Fraksi volume	Sampel	Dimensi		E (joule)	HI (joule/mm <sup>2</sup> )	HI rata-rata
		Lebar (mm)	Tebal (mm)			
2.5	1	13	13	93	0.551	0.628
	2	12	12	90	0.625	
	3	12	12	102	0.708	
5	1	14	12	113	0.673	0.665
	2	14	12	104	0.621	
	3	14	12	118	0.702	
7.5	1	13	12	106	0.679	0.739
	2	13	12	122	0.782	
	3	13	12	118	0.756	



Lampiran 2. Hasil Uji Tarik AA 6061 T-651



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA



### Lampiran 3. Hasil Uji Tarik Adhesif *Polyurethane*



A trademark of AMETEK, Inc.

#### Plastics Tensile Setup, Full Report

These tests were performed using NEXYGEN from Lloyd Instruments, which complies with ISO 527-1.

In order to fully comply with ISO 527-1 you will need to customize this report template, which is stored in the directory NEXYGEN\Program\Reports\. You must add the following information:

- Any additional information required for identifying the material being tested.
- A description of the method of manufacture of the material and preparation of the test specimens.
- A description of any pretreatment.
- A description of the test equipment, including grips and extensometers.

Date	Time	User	Sample	Batch Reference	Sample Reference
12/10/201	10:49:13	RS	Polyurethane		No. 1
0	AM				

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.3000 mm	5.0000 mm	31.500 mm <sup>2</sup>

	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	352.72 N/m	0.27994 MPa	21.656 N	222.26 mm	0.68749 MPa
Deviation	0.00000 N/m	0.00000 MPa	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 MPa
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

	Percentage Strain at Maximum	<TRANSLATION Work to Maximum Load>	<TRANSLATION Load at Break>	<TRANSLATION Extension at Break>	<TRANSLATION Work to Break>
Mean	889.03	<VALUES Work to Maximum Load>	<VALUES Load at Break>	<VALUES Extension at Break>	<VALUES Work to Break>
Deviation	0.00000	<DEVIATION Work to Maximum Load>	<DEVIATION Load at Break>	<DEVIATION N Extension at Break>	<DEVIATION Work to Break>
Coefficient of Variation	0.00%	<COV Work to Maximum Load>	<COV Load at Break>	<COV Extension at Break>	<COV Work to Break>

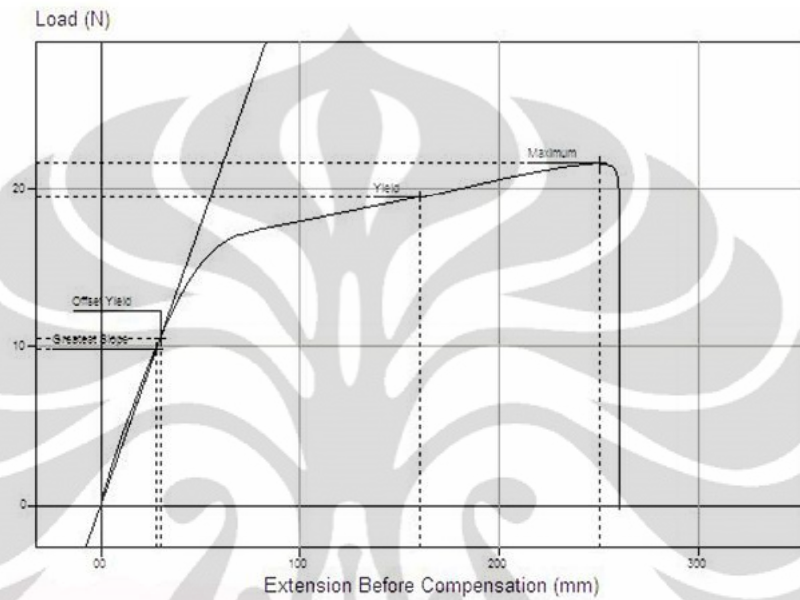
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	19.496 N	132.76 mm			10.560 N	2.1943 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm			0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%			0.00%	0.00%

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd





of Variation





A trademark of AMETEK, Inc.

## Plastics Tensile Setup, Full Report

These tests were performed using NEXYGEN from Lloyd Instruments, which complies with ISO 527-1.

In order to fully comply with ISO 527-1 you will need to customize this report template, which is stored in the directory NEXYGEN\Program\Reports\ . You must add the following information:

- Any additional information required for identifying the material being tested.
- A description of the method of manufacture of the material and preparation of the test specimens.
- A description of any pretreatment.
- A description of the test equipment, including grips and extensometers.

Date	Time	User	Sample	Batch Reference	Sample Reference
12/10/2010	10:16:04 AM	RS	Polyurethane		No. 6

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.5000 mm	6.0000 mm	39.000 mm <sup>2</sup>

	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	297.70 N/m	0.19083 MPa	20.154 N	100.72 mm	0.51676 MPa
Deviation	0.00000 N/m	0.00000 MPa	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 MPa
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

	Percentage Strain at Maximum	<TRANSLATION Work to Maximum Load>	<TRANSLATION Load at Break>	<TRANSLATION Extension at Break>	<TRANSLATION Work to Break>
Mean	402.89	<VALUES Work to Maximum Load>	<VALUES Load at Break>	<VALUES Extension at Break>	<VALUES Work to Break>
Deviation	0.00000	<DEVIATION Work to Maximum Load>	<DEVIATION Load at Break>	<DEVIATION Extension at Break>	<DEVIATION Work to Break>
Coefficient of Variation	0.00%	<COV Work to Maximum Load>	<COV Load at Break>	<COV Extension at Break>	<COV Work to Break>

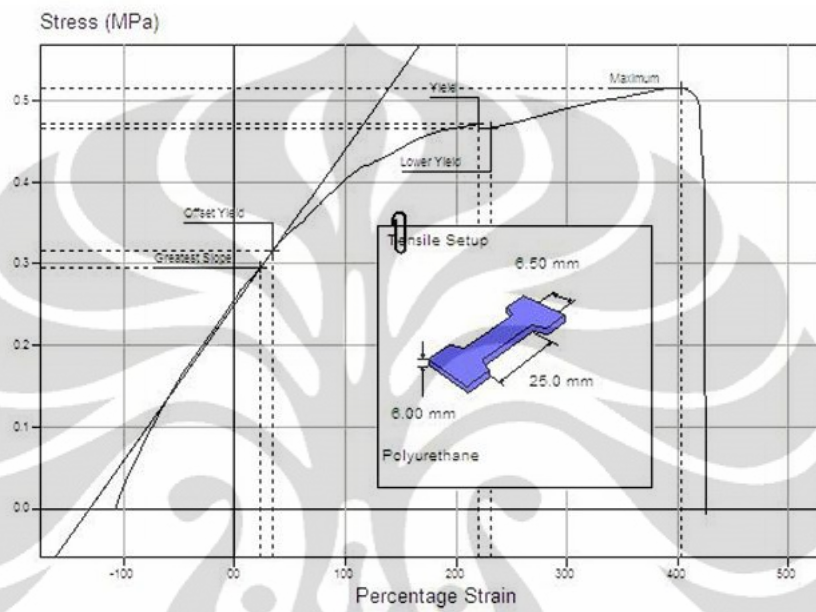
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	18.408 N	54.844 mm	18.234 N	57.919 mm	12.330 N	8.6548 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)



of Variation





### Plastics Tensile Setup, Full Report

These tests were performed using NEXYGEN from Lloyd Instruments, which complies with ISO 527-1.

In order to fully comply with ISO 527-1 you will need to customize this report template, which is stored in the directory NEXYGEN\Program\Reports\.

- a. Any additional information required for identifying the material being tested.
- b. A description of the method of manufacture of the material and preparation of the test specimens.
- c. A description of any pretreatment.
- d. A description of the test equipment, including grips and extensometers.

Date	Time	User	Sample	Batch Reference	Sample Reference
12/10/2010	10:54:09 AM	RS	Polyurethane		No. 7

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.0000 mm	6.5000 mm	39.000 mm <sup>2</sup>

	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	528.68 N/m	0.33890 MPa	26.067 N	157.58 mm	0.66839 MPa
Deviation	0.00000 N/m	0.00000 MPa	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 MPa
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

	Percentage Strain at Maximum	<TRANSLATION Work to Maximum Load>	<TRANSLATION Load at Break>	<TRANSLATION Extension at Break>	<TRANSLATION Work to Break>
Mean	630.34	<VALUES Work to Maximum Load>	<VALUES Load at Break>	<VALUES Extension at Break>	<VALUES Work to Break>
Deviation	0.00000	<DEVIATION Work to Maximum Load>	<DEVIATION Load at Break>	<DEVIATION Extension at Break>	<DEVIATION Work to Break>
Coefficient of Variation	0.00%	<COV Work to Maximum Load>	<COV Load at Break>	<COV Extension at Break>	<COV Work to Break>

	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	23.730 N	61.127 mm	-0.47773 N	173.95 mm	10.828 N	1.9911 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

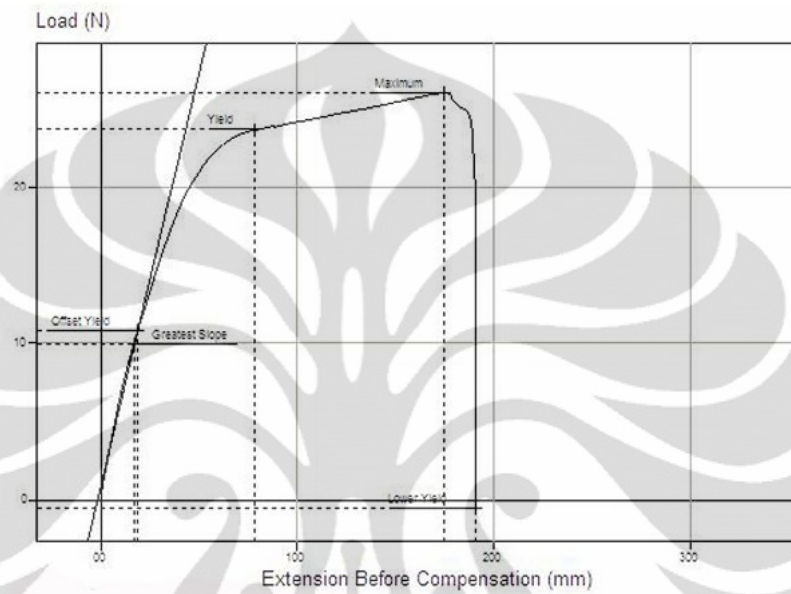


(Lanjutan)

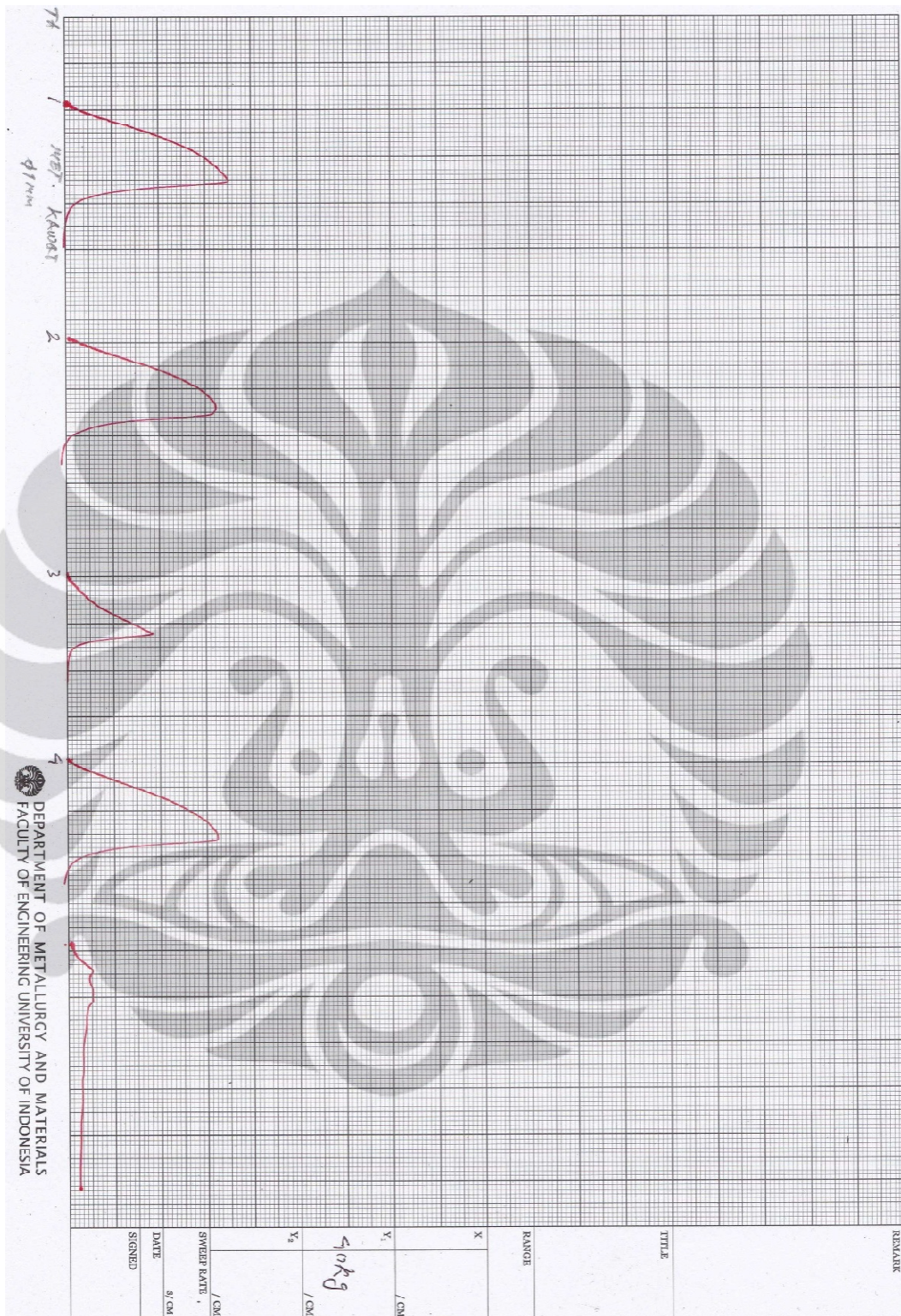


A trademark of AMETEK, Inc.

of Variation



Lampiran 4. Hasil Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi





## Lampiran 5. ASM Material Data Sheet AA 6061 T-651



### Aluminum 6061-T6; 6061-T651

**Subcategory:** 6000 Series Aluminum Alloy; Aluminum Alloy; Metal; Nonferrous Metal

**Close Analogs:**

**Composition Notes:**

Aluminum content reported is calculated as remainder.

Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

**Key Words:** al6061, UNS A96061; ISO AIMg1SiCu; Aluminium 6061-T6, AD-33 (Russia); AA6061-T6; 6061T6, UNS A96061; ISO AIMg1SiCu; Aluminium 6061-T651, AD-33 (Russia); AA6061-T651

Component	Wt. %	Component	Wt. %	Component	Wt. %
Al	95.8 - 98.6	Mg	0.8 - 1.2	Si	0.4 - 0.8
Cr	0.04 - 0.35	Mn	Max 0.15	Ti	Max 0.15
Cu	0.15 - 0.4	Other, each	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.7	Other, total	Max 0.15		

**Material Notes:**

Information provided by Alcoa, Starmet and the references. General 6061 characteristics and uses: Excellent joining characteristics, good acceptance of applied coatings. Combines relatively high strength, good workability, and high resistance to corrosion; widely available. The T8 and T9 tempers offer better chipping characteristics over the T6 temper.

**Applications:** Aircraft fittings, camera lens mounts, couplings, marine fittings and hardware, electrical fittings and connectors, decorative or misc. hardware, hinge pins, magneto parts, brake pistons, hydraulic pistons, appliance fittings, valves and valve parts; bike frames.

Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.7 g/cc	0.0975 lb/in <sup>3</sup>	AA; Typical

**Mechanical Properties**

Property	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	95	95	AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball
Hardness, Knoop	120	120	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell A	40	40	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell B	60	60	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Vickers	107	107	Converted from Brinell Hardness Value
Ultimate Tensile Strength	310 MPa	45000 psi	AA; Typical
Tensile Yield Strength	276 MPa	40000 psi	AA; Typical
Elongation at Break	12 %	12 %	AA; Typical; 1/16 in. (1.6 mm) Thickness
Elongation at Break	17 %	17 %	AA; Typical; 1/2 in. (12.7 mm) Diameter

**(Lanjutan)**

Modulus of Elasticity	68.9 GPa	10000 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Notched Tensile Strength	324 MPa	47000 psi	2.5 cm width x 0.16 cm thick side-notched specimen, $K_t = 17$ .
Ultimate Bearing Strength	607 MPa	88000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
Bearing Yield Strength	386 MPa	56000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
Poisson's Ratio	0.33	0.33	Estimated from trends in similar Al alloys.
Fatigue Strength	96.5 MPa	14000 psi	AA; 500,000,000 cycles completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Fracture Toughness	29 MPa-m <sup>1/2</sup>	26.4 ksi-in <sup>1/2</sup>	$K_{IC}$ ; TL orientation.
Machinability	50 %	50 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	26 GPa	3770 ksi	Estimated from similar Al alloys.
Shear Strength	207 MPa	30000 psi	AA; Typical
<b>Electrical Properties</b>			
Electrical Resistivity	3.99e-006 ohm-cm	3.99e-006 ohm-cm	AA; Typical at 68°F
<b>Thermal Properties</b>			
CTE, linear 68°F	23.6 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$	13.1 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$	AA; Typical; Average over 68-212°F range.
CTE, linear 250°C	25.2 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$	14 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$	Estimated from trends in similar Al alloys. 20-300°C.
Specific Heat Capacity	0.896 J/g $\cdot^\circ\text{C}$	0.214 BTU/lb $\cdot^\circ\text{F}$	
Thermal Conductivity	167 W/m-K	1160 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> $\cdot^\circ\text{F}$	AA; Typical at 77°F
Melting Point	582 - 652 °C	1080 - 1205 °F	AA; Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater; Eutectic melting can be completely eliminated by homogenization.
Solidus	582 °C	1080 °F	AA; Typical
Liquidus	652 °C	1205 °F	AA; Typical
<b>Processing Properties</b>			
Solution Temperature	529 °C	985 °F	
Aging Temperature	160 °C	320 °F	Rolled or drawn products; hold at temperature for 18 hr
Aging Temperature	177 °C	350 °F	Extrusions or forgings; hold at temperature for 8 hr

**References** for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. MatWeb data and tools provided by MatWeb.com, a product of Automation Creations, Inc.



## Lampiran 6. Sertifikat Steel Wire Rope (Diameter Kawat 1.4 mm)

Certificate no: BGK 0810035/06  
Page 1 of 1



### Certificate for Steel Wire Rope

Office	Bangkok	Date of Issue	18 December 2008
Manufacturer	USHA SIAM STEEL INDUSTRIES PUBLIC CO		
Client	USHA SIAM STEEL INDUSTRIES PUBLIC CO.,LTD.	Purchaser	PT. INDOSPICE
Work's order number	E6-254 (E-08-606)	Purchaser's order number	PO# 742 Inv.No.EXP-518/0809 DT.29.11.08
Order Status	Complete	Intended for shipyard number	-
First date of inspection	18 December 2008	Final date of inspection	18 December 2008

This certificate is issued to the above Client to certify that the undersigned Surveyor did at their request attend the manufacturer's works on the dates shown for the purposes of examining and testing the items listed below in accordance with the requirements of Lloyd's Register Asia. The wire rope has been examined and the tests detailed below witnessed by the undersigned with satisfactory results.

#### Particulars

Length	1x1000 m.(REEL.No.1)	Nominal Diameter	16.00 mm.
Number of strands	6	Core of rope	IVRC
Number of wires per strand	19	Grade of zinc coating	-
Diameter of wire	1.03 mm.	Specific weight (kg/m)	-
Specific range of tensile strength of wire	1960 N/mm <sup>2</sup>	Rope construction	6x19
Construction of strand	12/6/1		
Lay (if other than right hand ordinary)	-		
Applicable standard or specification	ANSI/API SPEC 9A/2004		

#### Tests

Samples have been tested in the following manner:

Tensile test	167.00 kN.	Breaking load on full cross section of rope	
Breaking load (kN)	176.52 kN.	Laying up (%)	-
Tests on six wires	before stranding		
(a) Torsion	Test length between grips	-	-
	Number of twists before fracture	min.	max.
(b) Zinc coating	Mass of coating per unit area	min.	max.
(c) Dip	In accordance with		carried out with satisfactory results
(d) Wrap	Diameter of mandrel	-	-
	Condition of coating after 10 wraps	-	-
(e) Bend	Diameter of mandrel	-	-
	Number of bends before fracture	min.	max.
	Condition of coating after	-	bends

#### Identification Marks

Type	Diameter	Length	(Initials)
------	----------	--------	------------

<b>PT. INDOSPICE</b> RIGGING & LIFTING SPECIALIST Jl. Ciputat Raya No. 15 Pondok Pinang Jakarta 12310 Telp. 021- 751 7878, Fax. 021- 751 7887		Authorized by. 
<b>TRUE COPY CERTIFICATE</b>		Initials APT Anek Pongtengbaroen Lloyd's Register Asia Surveyor to Lloyd's Register Asia A member of the Lloyd's Register Group
CUSTOMER NAME : <u>FAK TEKNIK UJ</u>		
PO NO. : <u>DEPT. MEKAWANG &amp; KTR</u>		
LENGTH : <u>20 M + 10 M</u>		Date of issued : <u>31 MAR 2010</u>

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Lloyd's Register Group'. The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

Form 1277 (2004.11)

## Lampiran 7. Technical Data Sheet Adhesif Polyurethane Seal N Flex 1 (Bostik)



### technical data sheet

# SEAL N FLEX 1

## Polyurethane Construction Joint Sealant

### PRODUCT DESCRIPTION

Seal N Flex 1 is a low modulus, one component, and Class-A polyurethane sealant. When cured it will form a tough, flexible seal capable of cyclic expansion and compression movement of 50% ( $\pm$  25%) of the original installed joint width.

Seal N Flex 1 is resistant to normal weathering conditions such as rain, sunlight, snow, sleet, ozone, atmospheric contamination and pollution. Its excellent weather ability enables it to retain its original properties after years of exposure, refer to the CSIRO RILEM LONG- TERM SEALANT DURABILITY STUDY DBCE Doc. 97/196 (M).

### RECOMMENDED USES

#### Sealing joints in:

- Insitu concrete & render
- Precast and tilt up panels
- Brickwork & blockwork
- Plasterboard face and paper lined recessed edges
- Fibre cement sheet
- Aluminium windows
- Granite, sandstone and marble
- GRC, fibreglass & most specialty panel systems (refer "Precautions" page 2)
- Water tanks

### FEATURES & BENEFITS

- Low modulus 50% ( $\pm$  25%)
- Excellent durability
- One component, no mixing required
- Australian made
- Colour range
- Acoustic rating
- Paintable (refer limitations)
- Non staining
- Does not support fungal growth

### APPROVALS AND STANDARDS

- CSIRO RILEM LONG - TERM SEALANT DURABILITY STUDY DBCE Doc. 97/196 (M)
- ISO 11600-Class F-25LM
- DIN 18540 (German) and SNJF (French) approval as a low modulus external joint sealant
- ASTM C.920-87 & 98 (USA) as Type S, Grade NS, Class 25, use NT, G, A, M, &O as an external joint sealant.
- AS4020 Potable water
- AS 1157-1972 Resistance to fungal growth
- Ministry of Agriculture and fisheries New Zealand (Meat, fish, Game, Poultry- All areas)

### PERFORMANCE PROPERTIES

Typical properties after seven days cure at 25°C and 50%RH on correctly primed substrates.

Appearance	Non-sag smooth thixotropic paste
Cure Method	Moisture Curing
Tack free time	6-12 hours
Rate of cure	2 mm/24h on porous substrates
Hardness shore A	30 approx.
Specific Gravity	1.23 g/ml
Tensile strength	> 1.3 N/mm <sup>2</sup>
Chemical resistance	Resistant to dilute acids, alkalis & some solvents. Intermittent contact with diesel and petroleum.
Elongation at break	>900%
Application Temperature	5°C to 35°C
In Service Temperature range	-40°C to +70°C
Full cure	7 days on porous substrates

### PACKAGING

Seal N Flex 1 is supplied in 300ml cartridges and 600ml sausages, 20 per carton.

### COVERAGE

The estimated quantity below is the approximate lineal metre yield, per pack size, for recommended joint dimensions. No allowance for waste or irregular joint geometry.

SIZE	6mm x 6mm	10mm x 10mm	20mm x 10mm
300ml	8.3	3	1.5
600ml	16.7	6	3

Calculation formula  $\frac{W \times D \times L}{1000} = \text{Litres}$

W = Width (mm) D = Depth (mm) L = Length (metres)

### APPLICATION INSTRUCTIONS

#### Preparation:

Clean and dry all surfaces by removing foreign matter and contaminants such as laitance, oil, dust, grease, frost, water, dirt, old sealants, curing agents and any protective coating. Dust and loose particles should be vacuum cleaned. Priming of all surfaces is recommended to achieve stated performance properties. DO NOT USE METHYLATED SPIRITS OR TURPS.



(Lanjutan)

**PRIMING**

For maximum performance on porous surfaces and, in all periodically immersed & submerged applications, use Bostik N49 Primer or Moisture Seal.

N40 primer is recommended for non-porous surfaces. For priming procedures on both porous & non-porous surfaces, refer primer selection guide and Primer Technical Data Sheets. Non-porous primer applied to substrates should not be allowed to dry or evaporate without being wiped with a clean, dry cloth.

**APPLICATION**

Seal-N-Flex 1 should be dispensed from either the cartridge or sausage by means of a caulking gun (available from Bostik). Pierce the membrane at the top of the cartridge and screw on the nozzle. Cut nozzle to give the required angle and bead size. Place the cartridge in a Bostik applicator gun and squeeze the trigger. For sausages, a barrel gun is required; clip the end of the sausage and place in barrel gun. Screw end cap and nozzle on to barrel gun. Using the trigger extrude the sealant, to stop depress using the catch plate. Apply Seal N Flex 1 in a continuous bead using enough pressure to properly fill the joint. Tool off surface of sealant with an appropriate sized spatula or trowel. Apply sufficient pressure to leave a smooth, consistent surface and ensure maximum contact with the interface of the joint.

**JOINT SEALING HINTS**

- Prime prior to the installation of the backing rod
- Always use backing rod for correct sealant geometry & contact with the substrate
- Ensure maximum adhesion to bond face and depth to width ratio of 1:1 up to 12mm and 1:2 from 12– 50mm
- Tool sealant to achieve concave shape

W = between 12 to 50 mm



**PRECAUTIONS**

Seal N Flex 1 should:

- **NOT** be used in chlorinated water such as swimming pools, spas etc.
- **NOT** be used on any material containing bitumen.
- **NOT** be constantly immersed in salt water
- **NOT** be used for glazing applications
- **NOT** be applied to cement based substrates within 28 days of initial pour or set.
- **NOT** be used in trafficable joints greater than 10mm in width
- **NOT** be applied at temperatures below 5°C or above 35°C.
- **NOT** be exposed to water and/or alcohol before it has completely cured.
- **NOT** be finished using wet tooling techniques, such as soapy water
- **NOT** be applied less than 6mm in width and depth
- **Seal N Flex 1 White** may yellow on the surface if exposed to strong natural or artificial UV light for long periods.
- Composite metallic façade systems can be subject to significant daily cyclical movement due to temperature variations. Crimping and bulging of installed sealant before full cure may permanently deform the sealant finish prior to full cure, especially on northern & western elevations in full sunlight. Refer Bostik V70 Silicone TDS for recommended metal façade sealant applications.

**PAINTABILITY**

Bostik Seal 'N' Flex 1 can be painted after full cure. Coatings containing solvents such as enamels, oil based or other coatings may cause the surface of the sealant to react creating a tacky surface.

Surface coatings may discolour in direct contact with cured Seal N Flex 1. Surface coatings may crack and craze as a result of cyclical movement of supporting sealant joint. A field test is recommended to ensure compatibility of any coating with Seal N Flex 1 (refer PATS).

**P.A.T.S (Pretested Adhesion To Substrate)**

**Programme**

Bostik offer a service in which a program has been established to eliminate potential field problems by pretesting Bostik adhesives with samples of building materials to which the adhesive will be applied. This service is available on large projects where pre-application testing will aid in determining the proper surface preparation method to achieve optimum adhesion. Consult a Bostik representative for further information.

**HEALTH AND SAFETY**

- On contact, uncured sealant causes irritation.
- Gloves and protective goggles must be worn during application and use.
- Avoid contact with skin, eyes and avoid breathing in vapour.
- Wear protective gloves when mixing or using
- If poisoning occurs, contact a doctor or Poisons Information Centre.
- If swallowed, do not induce vomiting. Give a glass of water.
- If skin contact occurs, remove contaminated clothing and wash skin thoroughly for a minimum of 15 minutes and see a doctor.
- For more detailed information refer to Material Safety Data Sheet.

**CLEAN-UP**

Clean up uncured material and equipment immediately after use using Bostik Handi Clean Towels. Do not use towels on skin.

**STORAGE**

Store between 5°C and 30°C. Shelf life is two years in original unopened cartridge or sausage.

**Packaging**

Bostik Seal N Flex 1		
ITEM NO	SIZE	COLOUR
256158	300ml Cartridge	Grey
246204	300ml Cartridge	Black
246220	300ml Cartridge	White
216275	600ml Sausage	Grey
217824	600ml Sausage	Limestone
217808	600ml Sausage	Black
216267	600ml Sausage	White
217751	600ml Sausage	Bahama Beige
226203	600ml Sausage	Sandstone
226688	600ml Sausage	Redwood
218626	600ml Sausage	Off White
232440	600ml Sausage	Manilla Sand
242322	600ml Sausage	Classic Bone
232556	600ml Sausage	Epping Grey
Bostik V-70 High Strength Silicone		
661570	400ml Cartridge	Black



(Lanjutan)

The representations and recommendations regarding the products are based on tests which we believe to be reliable. However, no guarantee of their accuracy can be made because of the great range of field conditions and variations encountered in raw materials, manufacturing equipment and methods. Thus, the products are sold with a limited warranty only, and on the condition that purchasers will make their own tests to determine the suitability of the product for their particular purposes. Under no circumstances will Bostik Australia Pty Ltd be liable to anyone except for replacement of the products or refund of the purchase price.

ALL SALES ARE EXPRESSLY LIMITED TO THE TERMS AND CONDITIONS OF SALE OF BOSTIK AUSTRALIA PTY LTD



Quality  
ISO 9001

SAI GLOBAL

FOR FURTHER INFORMATION

HEAD OFFICE

Phone: +61-3-9279 9333  
Fax: +61-3-9279 9240

SYDNEY

Phone: 02 8825 3488  
Fax: 02 8825 3411

[www.bostik.com.au](http://www.bostik.com.au)

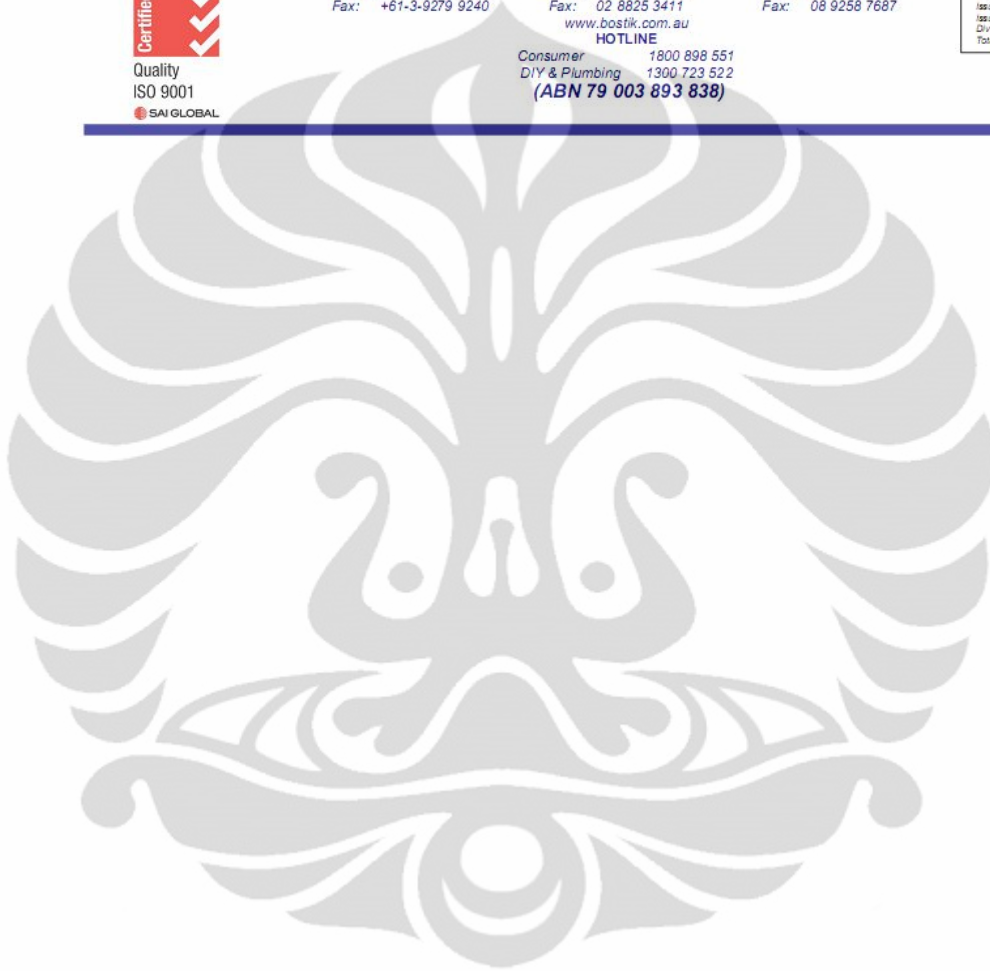
HOTLINE

Consumer 1800 898 551  
DIY & Plumbing 1300 723 522  
(ABN 79 003 893 838)

PERTH

Phone: 08 9258 6218  
Fax: 08 9258 7687

Product:	See/IV Part 1
Issue Date:	Aug 2010
Issue No:	8
Division:	Construction
Total Pages:	3



**Lampiran 8. Hasil Uji Spectro : Komposisi Kimia AA 6061 T-651**

AVERAGE:4061  
12.10.2010 10:48:08

Al	97.42	0.04897
Si	0.60	0.00009
Mg	0.73	0.01413
Cu	0.16	0.00006
Mn	0.063	0.00163
Zn	0.061	0.00275
Ni	< 0.00	0.00438
Fe	0.64	0.04415
Pb	0.017	0.00055
Bi	0.073	0.00253
Cr	0.20	0.00322
Ti	0.064	0.00106
Sn	0.011	0.00570
V	0.0049	0.00076
Ca	0.0008	0.00025
Be	0.0009	0.00000