



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN PELAT KOMPOSIT AA5083 TAHAN PELURU  
DENGAN PENGUAT KAWAT BAJA KARBON TINGGI  
BERDIAMETER 1 mm YANG DISUSUN SATU ARAH DAN  
VARIASI FRAKSI VOLUME 2.5%, 5% DAN 7.5%**

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD RIDWAN  
0706268751**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN PELAT KOMPOSIT AA5083 TAHAN PELURU  
DENGAN PENGUAT KAWAT BAJA KARBON TINGGI  
BERDIAMETER 1 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**

**MUHAMMAD RIDWAN  
0706268751**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Muhammad Ridwan**

**NPM : 0706268751**

**Tanda Tangan:**

**Tanggal : 27 Desember 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Muhammad Ridwan  
NPM : 0706268751  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1 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 : Prof. Dr.-Ing. Bambang Suharno (.....)

Penguji 2 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Desember 2010

## KATA PENGANTAR

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

1. Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Prof. Dr.-Ing. Bambang Suharno, selaku kepala Departemen Metalurgi dan Material FTUI;
3. Dr. Ir. Winarto, selaku sekretaris Departemen Metalurgi dan Material FTUI dan pembimbing akademik;
4. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng, selaku koordinator mata kuliah spesial Departemen Metalurgi dan Material FTUI dan pembimbing akademik;
5. Ibu Ir. Dwi Rahmalina, MT, yang telah banyak memberikan arahan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
6. PT Pindad, yang telah banyak membantu dalam rangka memperoleh data pengujian balistik;
7. Muhammad Yunus Hasanuddin dan Yenni AS, kedua orang tua yang selalu mendukung saya selama 20 tahun dalam moral dan material;
8. Ahmad Afandi, adik yang selalu memberikan dukungan;
9. Galuh Nuansa Putri, seseorang yang telah menjadi inspirasi dalam hidup saya dan selalu mendukung saya dalam berbagai hal;
10. Teman seperjuangan dalam TA komposit aluminium tahan peluru, Novian 'Kobam' Lamanda Putra, Muhammad 'Aam' Nurrahman, Abdan 'Kura' Syakuura, Fariz 'Aming' Ammar Bujakesuma, Hesti 'Iceleciel' Ibrahim dan Henri 'Tarmin' Suropati, terima kasih atas kerja samanya;

11. Para senior yang mengerjakan TA yang sama, komposit aluminium tahan peluru, Ferdian, Riki, Bang Tri, Nduy, terima kasih bantuannya;
12. Para asisten laboratorium korosi dan perlindungan logam 2010, Dito, Andika, Riki, Loorentz, Farhan, Cio, Hasbi, Kiki, Sutan, Idham, dan Bipay, terima kasih atas pengertiannya kalau telat jaga praktikum;
13. Para asisten laboratorium pengecoran, David 'Bercel', Abud, Benny, Oky, Arya, Juris, dan yang lainnya, terima kasih atas pinjaman labnya saat mengerjakan TA;
14. Para asisten laboratorium DT, Lendi, Fahmi, Bastian, Taufik, Denny, terima kasih pinjaman alat uji impaknya;
15. Teman-teman metal 07 yang tidak cukup untuk disebutkan namanya satu per satu, terima kasih atas kebersamaannya selama 3.5 tahun dan semoga dapat terus berlanjut;
16. Bang Mamat dan Bang Jali, terima kasih atas bantuan dan pinjaman alat-alatnya;
17. Pak Nuddin dan pak Zainal, terima kasih atas pengujian yang telah dilakukan.

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

Depok, 19 Desember 2010

Penulis

Muhammad Ridwan

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

---

---

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

Nama : Muhammad Ridwan  
NPM : 0706268751  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik 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 AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1 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/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 27 Desember 2010

Yang menyatakan

(Muhammad Ridwan)

## ABSTRAK

Nama : Muhammad Ridwan  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1 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 AA5083 sebagai matriks yang diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi dan adhesif *polyurethane* yang berperan untuk merekatkan fasa matriks dan penguat.

Variabel pembuatan komposit dilakukan dengan variasi fraksi volume dari kawat yaitu 2.5%, 5% dan 7.5%. Kemudian dilakukan pengujian balistik terhadap proyektil peluru 9 mm dan 7.62 mm, serta pengujian kekuatan impact. Karakterisasi material selanjutnya diukur melalui pengamatan struktur makro dari permukaan patahan dengan kamera yang memiliki resolusi tinggi. Pada tahap akhir, hasil pengujian akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan teoritis mikromekanik.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan fraksi volume kawat baja karbon tinggi akan meningkatkan sifat mekanik dari material komposit aluminium. Dari hasil perhitungan mikromekanik, komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 7.5% memiliki modulus elastisitas terbaik sebesar 39.2 GPa. Berdasarkan hasil pengujian balistik seluruh sampel dapat menahan penetrasi dari proyektil peluru kaliber 9 mm, namun tidak dapat penetrasi dari proyektil peluru kaliber 7.62 mm. Dari hasil pengamatan struktur makro terlihat ikatan antarmuka dari adhesif kurang sempurna sehingga menyebabkan kemampuan komposit aluminium belum optimum.

Kata kunci :

Komposit aluminium, balistik, tahan peluru, laminat, perhitungan mikromekanik, ikatan antarmuka.

## ABSTRACT

Name : Muhammad Ridwan  
Major : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : Design of AA5083 Armor Plates Reinforced by Unidirectional 1 mm High Carbon Steel Wire with 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 AA5083 reinforced with high carbon steel wire and polyurethane adhesive that works to strengthen the matrix and reinforce bonding and composite variables is done by varying the volume fraction of wires that 2.5%, 5% and 7,5%.

We then conducted ballistic testing on the bullet projectile caliber 9 mm and 7.62 mm, and testing the impact strength. Characterization of the material is subsequently measured by observing the macro structure of the fracture surface with a camera that has high resolution. In the final stage, the test results will be compared with theoretical calculations using a micromechanical.

The results of this study indicate that with the addition of the volume fraction of high carbon steel wire will improve the mechanical properties of aluminum composite material. From the micromechanical calculation, aluminum composite with volume fraction of high carbon steel wire of 7.5% has the best elasticity modulus of 39.2 GPa. Based on the results of ballistic tests all samples face penetration rounds of 9 mm bullets, but not for penetrating 7.62 mm bullets. From the observation of the macro structure visible from the adhesive interface bond less than perfect that caused aluminum composites properties is not optimum.

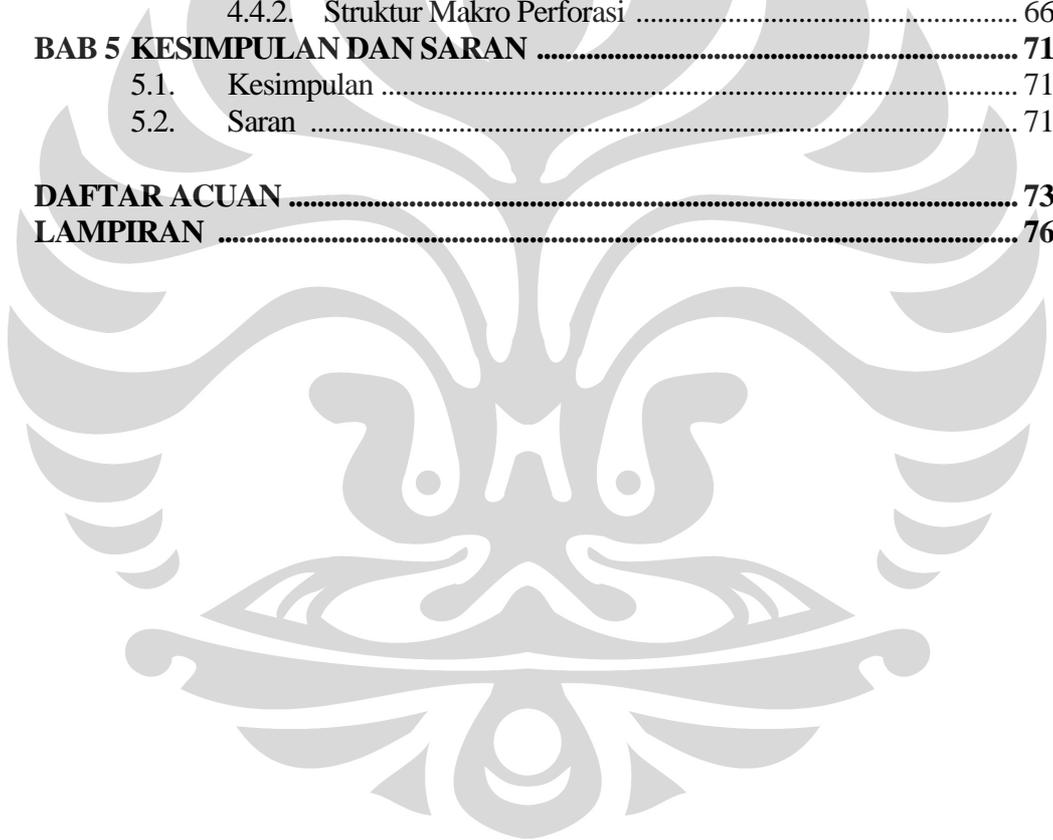
Keyword :

Aluminum composite, ballistic, bullet proof, laminate, micro mechanic calculation, interface bonding.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DARTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<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. Sistem Penandaan Aluminium Tempa .....	9
2.2.2. Aluminium Balistik .....	10
2.2.3. Aluminium 5083 (AA5083) .....	12
2.3. <i>Wire Rope</i> .....	15
2.3.1. Struktur <i>Wire Rope</i> .....	15
2.3.2. Karakteristik <i>Wire Rope</i> .....	16
2.4. Polimer Adhesif .....	17
2.4.1. Pengaruh Adhesif Pada Material Komposit .....	17
2.4.2. Karakteristik Polimer Adhesif <i>Polyurethane</i> .....	18
2.5. Komposit .....	19
2.5.1. Definisi Komposit .....	19
2.5.2. Komposit Balistik .....	20
2.5.3. Teori Makromekanik .....	21
2.5.4. Teori Mikromekanik .....	24
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	26
3.2. Alat dan Bahan .....	27
3.2.1. Alat .....	27
3.2.2. Bahan .....	27
3.3. Prosedur Pembuatan Sampel .....	27
3.3.1. Perhitungan Fraksi Volume .....	27
3.3.2. Pembuatan Alat Bantu Pelurus Kawat .....	29
3.3.3. Persiapan Sampel .....	33
3.3.4. Laminasi Komposit Aluminium .....	35
3.4. Prosedur Pengujian .....	37

3.4.1.	Pengujian Balistik .....	37
3.4.2.	Pengujian Kekuatan Impak Komposit .....	39
3.4.3.	Pengujian Kekuatan Tarik dan Perhitungan Mikromekanik .....	41
3.4.4.	Pengamatan Struktur Makro .....	45
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>46</b>
4.1.	Analisa Desain dan Fabrikasi Komposit Aluminium .....	46
4.1.1.	Perhitungan Fraksi Volume Aktual .....	46
4.1.2.	Analisa Kelurusan Kawat .....	50
4.2.	Perhitungan Teoritis Sifat Mekanik Komposit Aluminium dengan Metode Mikromekanik.....	53
4.3.	Pengaruh Fraksi Volume Kawat Baja Karbon Tinggi Terhadap Kekuatan Impak Komposit Aluminium .....	57
4.4.	Karakteristik Balistik Komposit Aluminium .....	61
4.4.1.	Dimensi Perforasi .....	61
4.4.2.	Struktur Makro Perforasi .....	66
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1.	Kesimpulan .....	71
5.2.	Saran .....	71
<b>DAFTAR ACUAN</b>	<b>.....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>76</b>



## DAFTAR TABEL

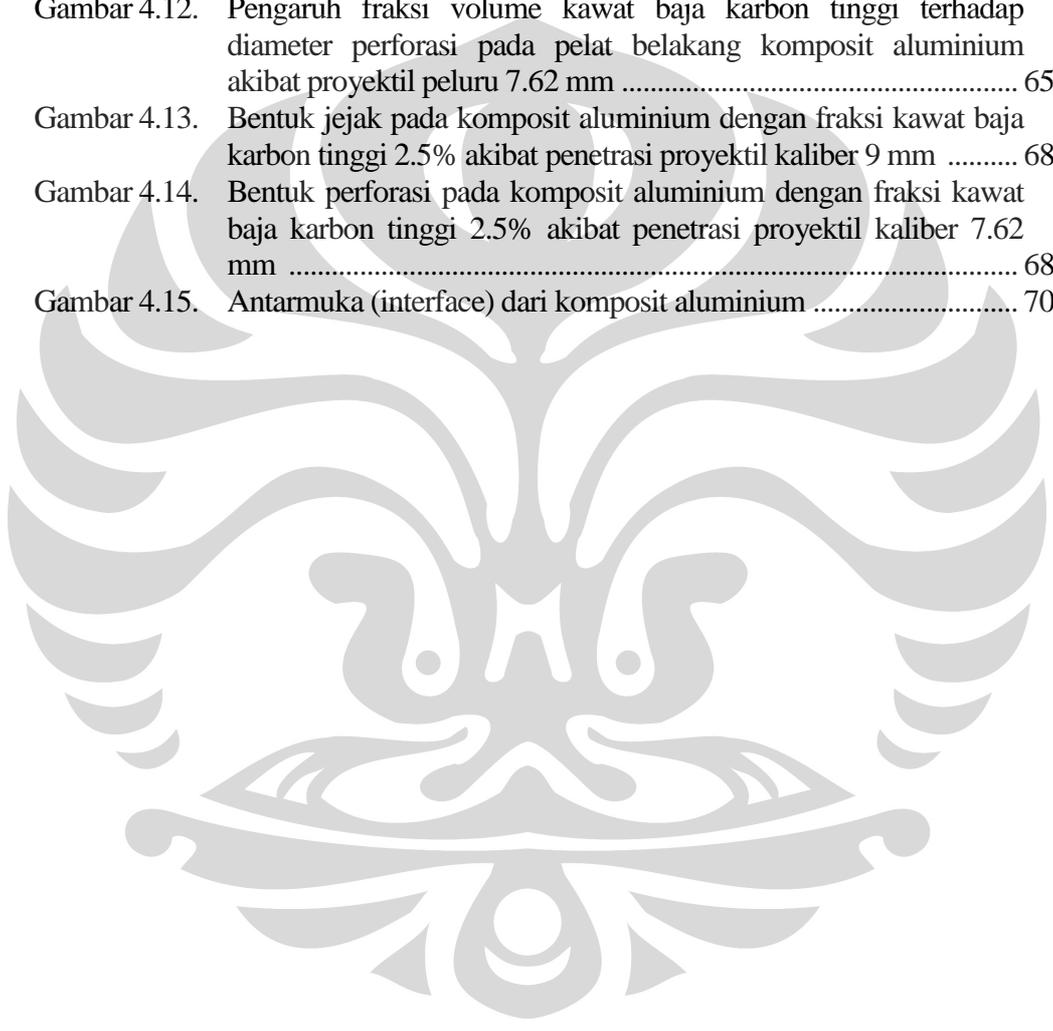
Tabel 2.1.	Klasifikasi tipe material tahan peluru dan proyektil peluru sesuai standar NIJ 0108.01 .....	7
Tabel 2.2.	Klasifikasi tipe material tahan peluru dan proyektil peluru sesuai standar NATO STATNAG 4569 .....	8
Tabel 2.3.	Sistem penandaan aluminium tempa .....	10
Tabel 2.4.	Komposisi AA5083 .....	13
Tabel 2.5.	Sifat mekanik AA5083 H112 .....	13
Tabel 2.6.	Karakteristik sifat mekanik <i>wire rope</i> .....	17
Tabel 2.7.	Karakteristik Seal 'N' Flex 1 .....	19
Tabel 3.1.	Volume komposit, volume matriks aluminium dan volume kawat baja berdasarkan fraksi volume kawat baja penyusun komposit .....	29
Tabel 3.2.	Jumlah kawat baja karbon tinggi yang dibutuhkan untuk setiap komposit berdasarkan fraksi volume kawat penguat .....	29
Tabel 3.3.	Komposisi AA5083 berdasarkan uji <i>spectroscopy</i> .....	33
Table 3.4.	Spesifikasi proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm yang digunakan pada pengujian balistik berdasarkan data PT Pindad .....	39
Tabel 4.1.	Volume teoritis dan fraksi volume aktual konstituen penyusun komposit aluminium .....	47
Tabel 4.2.	Tebal dan volume aktual komposit aluminium .....	47
Tabel 4.3.	Volume dan % void pada komposit aluminium .....	48
Table 4.4.	Perbandingan massa teoritis komposit aluminium hasil perhitungan dan massa hasil penimbangan .....	49
Tabel 4.5.	Hasil simulasi tingkat kelurusan kawat .....	52
Tabel 4.6.	Hasil pengujian tarik konstituen penyusun komposit .....	54
Tabel 4.7.	Modulus elastisitas teoritis komposit aluminium berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi .....	54
Tabel 4.8.	Harga impak dari komposit aluminium berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi .....	57
Tabel 4.9.	Bentuk perforasi pada pelat komposit aluminium dengan variasi komposisi kawat baja karbon tinggi 2.5%, 5% dan 7.5%, akibat proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm .....	62
Tabel 4.10.	Diameter jejak dan perforasi yang diakibatkan proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm pada setiap komposit aluminium .....	63
Tabel 4.11.	Penampang melintang dari bentuk perforasi pada pelat komposit aluminium komposit akibat penetrasi proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm.....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	<i>Bradley Fighting Vehicle</i> menggunakan AA7039-T64 (bagian atas dan AA5083-H131 (bagian bawah) ..... 11
Gambar 2.2.	<i>Marine Corps Expeditionary Fighting Vehicle</i> menggunakan material AA2519-T87 ..... 12
Gambar 2.3	Kendaraan angkut personel yang menggunakan material AA5083-H131 (a) M113, dan (b) M103 Paladin ..... 13
Gambar 2.4.	Tahapan Perforasi dari pelat AA5083-H116 monolitik dengan tebal 20 mm akibat proyektil AP2M yang diambil menggunakan <i>high speed video</i> ..... 14
Gambar 2.5.	Penampang melintang dari pelubangan pelat AA5083-H116 oleh proyektil AP2M dengan (a) monolitik 20 mm, (b) dua lapis 40 mm, dan (c) tiga lapis 60 mm ..... 15
Gambar 2.6.	Struktur <i>wire rope</i> ..... 16
Gambar 2.7.	Penampang melintang <i>wire rope</i> ..... 16
Gambar 2.8.	Skema material komposit yang terdiri dari keramik alumina ( <i>front plate</i> ) dan AA2017 ( <i>backing plate</i> ) dengan <i>polyurethane</i> sebagai polimer adhesif ..... 17
Gambar 2.9.	Perbedaan daerah plastis pelat logam dengan lapisan adhesif adhesif (a) tebal dan (b) tipis ..... 18
Gambar 2.10.	Komposit laminat yang disusun searah ..... 21
Gambar 2.11.	Komposit satu arah yang diberi tekanan $P_c$ searah dengan arah serat ..... 24
Gambar 2.12.	Komposit satu arah yang diberi tegangan $\sigma_c$ searah dengan tegak lurus arah serat ..... 25
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian ..... 26
Gambar 3.2.	Desai teknik alat bantu pelurus kawat (dimensi dalam satuan mm) ..... 30
Gambar 3.3	Bentuk lubang pada batang besi U untuk tempat menyusun kawat dengan fraksi volume 2.5% (a) gambar teknik [satuan dimensi dalam mm] dan (b) gambar sebenarnya ..... 30
Gambar 3.4.	Bentuk lubang pada batang besi U untuk tempat menyusun kawat dengan fraksi volume 5% dan 7.5%, (a) gambar teknik [satuan dimensi dalam mm] dan (b) gambar sebenarnya ..... 31
Gambar 3.5.	Lubang tempat ulir pendorong ..... 31
Gambar 3.6.	Alat penyusun ulir pendorong (a) batang berulir dan (b) mur ..... 32
Gambar 3.7.	Alat bantu pelurus kawat ..... 32
Gambar 3.8.	Pelat AA5083-H112 (a) sampel uji balistik dan (b) sampel uji impak ..... 33
Gambar 3.9.	<i>Bend saw</i> ..... 34
Gambar 3.10.	Bagian dari <i>wire rope</i> (a) <i>wire rope</i> , (b) <i>strand</i> yang dilepas dari <i>wire rope</i> dan (c) kawat baja karbon tinggi ..... 34
Gambar 3.11.	Adhesif <i>polyurethane</i> Seal 'N' Flex ..... 35

Gambar 3.12.	Skema proses laminasi komposit aluminium, (a) pelurusan kawat, (b) pelapisan adhesif pada pelat aluminium, (c) pelapisan adhesif pada kawat dan (d) komposit laminat .....	36
Gambar 3.13.	<i>Rivet</i> .....	36
Gambar 3.14.	Proses <i>pressing</i> (a) sampel yang di press, dan (b) tekanan yang digunakan 300 bar .....	37
Gambar 3.15.	Pengujian balistik tipe II-A (a) pistol P2, dan (b) amunisi kaliber 9mm .....	38
Gambar 3.16.	Pengujian balistik tipe III (a) senapan SPR-1, dan (b) amunisi kaliber 7.62 mm .....	38
Gambar 3.17.	Proses uji balistik tipe III .....	38
Gambar 3.18.	<i>Frame</i> penyangga sampel uji balistik (a) tanpa sampel dan (b) dengan sampel .....	39
Gambar 3.19.	Dimensi sampel pengujian impact .....	40
Gambar 3.20.	Sampel uji impact (a) fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5% dan (c) 7.5% .....	40
Gambar 3.21.	Alat uji impact .....	41
Gambar 3.22.	Dimensi sampel pengujian tarik pelat aluminium .....	42
Gambar 3.23.	Sampel uji tarik AA5083-H112 .....	42
Gambar 3.24.	Skema pengujian tarik kawat .....	42
Gambar 3.25.	Mesin uji tarik Servopulser Shimadzu .....	43
Gambar 3.26.	Dimensi sampel pengujian tarik polimer adhesif .....	44
Gambar 3.27.	Tahap pembuatan sampel pengujian tarik adhesif (a) pembuatan cetakan, (b) lembaran adhesif hasil cetakan dan (c) sampel pengujian tarik adhesif .....	44
Gambar 3.28.	Kamera yang digunakan untuk foto struktur makro .....	45
Gambar 3.29.	Pemotongan sampel komposit aluminium menggunakan cutting wheel untuk pengamatan struktur makro .....	45
Gambar 4.1.	Kawat baja yang diluruskan pada alat bantu pelurus kawat .....	50
Gambar 4.2.	Simulasi pengukuran tingkat kelurusan kawat, (a) mengukur panjang kawat sebelum di luruskan, (b) pengukuran panjang kawat setelah diluruskan, dan (c) pengukuran panjang kawat sebenarnya menggunakan tali .....	51
Gambar 4.3.	Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap modulus elastisitas arah longitudinal dari komposit aluminium .....	55
Gambar 4.4.	Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap modulus elastisitas arah transversal dari komposit aluminium .....	56
Gambar 4.5.	Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap harga impact .....	58
Gambar 4.6.	Sampel setelah pengujian impact (a) fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5%, dan (c) 7.5% .....	59
Gambar 4.7.	Sampel komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 2.5% (sampel A) yang menunjukkan ikatan adhesif yang tidak sempurna, (a) tampak samping dan (b) penampang lapisan adhesif .....	59

Gambar 4.8.	Sampel hasil pengujian impak tampak samping menunjukkan adanya delaminasi (a) fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5%, dan (c) 7.5% .....	60
Gambar 4.9.	Kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium sampel G tidak patah setelah dilakukan pengujian impak .....	61
Gambar 4.10.	Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium terhadap diameter jejak proyektil peluru 9 mm .....	64
Gambar 4.11.	Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap diameter perforasi pada pelat muka komposit aluminium akibat proyektil peluru 7.62 mm .....	64
Gambar 4.12.	Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap diameter perforasi pada pelat belakang komposit aluminium akibat proyektil peluru 7.62 mm .....	65
Gambar 4.13.	Bentuk jejak pada komposit aluminium dengan fraksi kawat baja karbon tinggi 2.5% akibat penetrasi proyektil kaliber 9 mm .....	68
Gambar 4.14.	Bentuk perforasi pada komposit aluminium dengan fraksi kawat baja karbon tinggi 2.5% akibat penetrasi proyektil kaliber 7.62 mm .....	68
Gambar 4.15.	Antarmuka (interface) dari komposit aluminium .....	70



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Spesifikasi data material .....	76
Lampiran 2.	Hasil pengujian spectroscopy .....	80
Lampiran 3.	Hasil pengujian tarik .....	81
Lampiran 4.	Hasil pengujian impak .....	95
Lampiran 5.	Hasil foto makro .....	98



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia, suatu negara yang dikenal dengan populasi penduduknya yang besar dan kekayaan alam yang melimpah, masih banyak bergantung pada beragam produk impor untuk menghidupkan denyut nadi berbagai sektor penting kenegaraan, seperti diantaranya yaitu pada sektor pertahanan dan keamanan. Sebagian besar Alat Utama Sistem Persenjataan (ALUTSISTA) yang dimiliki oleh negara kita yang dikelola oleh Tentara Nasional Indonesia (TNI) berasal dari pembelian dari negara lain, baik itu yang baru maupun bekas pakai dari negara lain. Pada tahun 2004, ada 173 jenis ALUTSISTA bersumber dari 17 negara produsen, yang terbesar diantaranya Amerika Serikat dengan andil 34%, Perancis 12%, Jerman 12%, Rusia 10%, dan Inggris 9%, adalah komposisi ketergantungan Indonesia terhadap asing dalam hal peralatan pertahanan keamanan [1].

Dalam menghadapi era globalisasi, stabilitas keamanan dalam negeri harus ditingkatkan, karena konflik rawan sekali terjadi didalam negara kita, sehingga kebutuhan akan fasilitas pertahanan dan keamanan bangsa akan semakin meningkat dan kompleks jenisnya. Salah satu fasilitas pertahanan tersebut adalah panel anti peluru. Panel anti peluru merupakan jantung dari suatu sistem pengaman, dimana panel anti peluru dapat diaplikasikan untuk badan dari kendaraan tempur (ranpur) dan juga kendaraan taktis (rantis) seperti panser. Fungsi utama dari panel anti peluru adalah sebagai peredam dari tembakan sehingga diperlukan material yang tahan terhadap serangan balistik [2].

Material yang biasa dipakai untuk panel anti peluru adalah baja keras (*hardened steel*), seperti pasangan baja keras (*dual hard steel*). Jenis dari material baja yang sering digunakan seperti HARDOX 500, KSW 500 dan juga AISI 4340 yang memiliki kekerasan yang tinggi, minimal 50 HRC. Disamping memiliki keunggulan dalam hal kekerasan dan kemampuan menyerap energi yang cukup baik, panel anti peluru yang terbuat dari baja memiliki kelemahan yang cukup mendasar untuk sebuah panel anti peluru yang digunakan sebagai bagian dari kendaraan tempur ataupun kendaraan taktis. Semakin besar beban yang dimiliki oleh suatu kendaraan tempur, maka akan menurunkan efisiensi mesin dari panser tersebut [3]. Dengan massa jenisnya yang

tinggi, sekitar  $7.8 \text{ g/cm}^3$  [4], material baja dapat mengurangi efisiensi dari kendaraan anti peluru yang akan dibuat. Sehingga jika dapat menggunakan material yang lebih ringan, tentunya akan sangat dapat meningkatkan efisiensi dari mesin panser.

Menimbang beberapa alasan diatas, sebagai kekurangan material untuk panel anti peruru dari baja, faktor kekuatan, kekerasan dan massa menjadi dasar utama pemilihan material komposit aluminium yang memiliki matriks pelat aluminium sebagai alternatif, minimal untuk bagian seperti bagian dalam (*interior*) dari rantis atau ranpur. Aluminium yang digunakan dalam perancangan material tahan peluru ini adalah AA5083 dengan unsur paduan terbesar yaitu Mg. Pemilihan material ini didasari oleh beberapa pertimbangan, yaitu ringan, ketersediaan material dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Dengan massa jenis sekitar  $2.66 \text{ gram/cm}^3$  atau  $1/3$  massa jenis baja, maka kendala dari berat dari panel anti peluru dapat diatasi [5]. Selain itu, faktor kedua adalah ketersediaan lembaran aluminium jenis ini juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan material yang digunakan. Dan terakhir adalah ketahanan korosi AA5083 yang baik sehingga akan sangat memudahkan untuk proses pembuatan komposit aluminium ini [5].

Penguat yang digunakan pada komposit aluminium ini adalah serat (*fiber*) berupa kawat baja karbon tinggi yang berasal dari kawat tali baja (*wire rope*). Dengan kekuatan tarik yang mencapai 1960 MPa [6], baja karbon tinggi ini memiliki kekuatan yang relatif tinggi, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi besar untuk kekuatan dan ketangguhan material tahan peluru. Kemudian untuk merekatkan kawat baja dengan matriks aluminium digunakan adhesif berupa *polyurethane*. Pada dasarnya penggunaan adhesif bertujuan untuk merekatkan antara matriks dengan penguatnya agar penguat berada dalam posisi yang tetap terhadap matriks. Selain itu adhesif juga dapat membantu menyerap energi kinetik yang dihasilkan oleh peluru [7]. Metode adhesif dalam hal ini memiliki keunggulan dalam hal pendistribusian energi impact dan meningkatkan kemampuan geser dari penguat terhadap matriks [8].

Variasi dari fraksi volume digunakan untuk menentukan komposisi terbaik dalam fungsi perbandingan ukuran antara matriks dan penguatnya berdasarkan volumenya. Sehingga diharapkan mendapat sifat terbaik untuk menjadi panel tahan peluru. Penentuan variasi fraksi volume dari penguat yaitu 2.5%, 5% dan 7.5% dengan

pertimbangan bahwa dalam kisaran fraksi volume tersebut didapatkan komposisi optimal dari komposit tanpa menaikkan berat dari komposit yang terlalu besar.

## 1.2. Perumusan Masalah

Komposit yang dikembangkan adalah laminat yang terdiri dari pelat aluminium 5083 (AA5083) yang diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi diharapkan dapat memberikan karakteristik balistik yang optimal untuk aplikasi material tahan peluru, disamping keuntungan dari berat jenisnya yang lebih ringan dibanding logam tahan peluru yang telah digunakan sebelumnya. Variabel pembuatan komposit dilakukan dengan variasi fraksi volume dari kawat yaitu 2.5%, 5% dan 7.5%. Kemudian dilakukan pengujian balistik dan pengujian terhadap sifat mekanik dari komposit. Karakterisasi material selanjutnya diukur melalui pengamatan struktur makro dari permukaan patahan dengan kamera yang memiliki resolusi tinggi. Pada tahap akhir, hasil pengujian akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan teoritis mikromekanik.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui dan menganalisa pengaruh penambahan fraksi volume penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun satu arah terhadap sifat mekanik dan ketahanan terhadap beban impact balistik pada pelat komposit AA5083 tahan peluru.
- b. Mempelajari peranan matriks pelat AA5083, penguat baja karbon tinggi dan adhesif *polyurethane* dalam menahan penetrasi proyektil peluru.
- c. Mengetahui dan menganalisa kekuatan mikromekanik dari pelat komposit AA5083 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi berdiameter 1 mm yang disusun satu arah dengan variasi fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5%.
- d. Mengetahui ikatan antarmuka (*interface*) yang terjadi pada pelat komposit AA 5083 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi berdiameter 1 mm yang disusun satu arah dengan variasi fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5% oleh ikatan adhesif.

#### 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada :

- a. Material yang digunakan dalam pembuatan komposit anti peluru adalah dua lembar pelat AA5083 dengan tebal 6 mm sebagai matriks, baja karbon tinggi berdiameter 1 mm sebagai penguat dan polimer *polyurethane* sebagai bahan adhesif.
- b. Variabel bebas yang digunakan sebagai perbandingan pada penelitian ini adalah fraksi volume dari penguat kawat baja karbon tinggi yang divariasikan 2.5%, 5%, dan 7.5%. Dari tiga nilai tersebut diharapkan mampu mendapatkan sifat mekanis yang paling tepat untuk dapat diaplikasikan selanjutnya.
- c. Proses yang digunakan untuk membuat komposit aluminium dengan metode laminasi, dimana penguat disusun satu arah diantara dua pelat aluminium dengan menggunakan alat bantu, kemudian digunakan *polyurethane* sebagai adhesif sehingga terjadi ikatan antar aluminium dan penguat baja karbon tinggi.
- d. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian balistik, pengujian sifat mekanik berupa pengujian tarik untuk perhitungan mikromekanik dan pengujian impak, serta pengamatan struktur makro.

#### 1.5. Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini, sistematika penulisan disusun secara sistematis sehingga didapatkan kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Penulisan skripsi ini disusun berdasarkan bab-bab yang saling berkaitan antara satu dengan lainnya. Diawali dengan pendahuluan pada Bab 1 yang membahas tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Kemudian tinjauan pustaka pada Bab 2 yang membahas mengenai teori-teori tentang balistik, aluminium, kawat baja, polimer adhesif dan material komposit yang mendukung penelitian yang dilakukan. Pada Bab 3 dijelaskan metodologi penelitian yang telah dilakukan, mencakup diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur penelitian serta prosedur pengujian sampel. Hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan terdapat dalam Bab 4 dengan substansi yang meliputi pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik. Dan penulisan skripsi ini diakhiri dengan

kesimpulan dan saran pada Bab 5 yang memberikan informasi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran yang berguna untuk proses penelitian selanjutnya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Balistik

Balistik merupakan suatu konsep dasar yang mempelajari tentang dinamika proyektil. Proyektil merupakan material yang bergerak dan memiliki energi yang mampu merusak material lain yang menghalanginya, bentuknya dapat berupa benda yang jatuh ataupun sebuah peluru. Dalam pembahasan ini akan lebih difokuskan pada pergerakan dari proyektil peluru. Kriteria yang umumnya dipakai untuk menentukan ketahanan balistik dari suatu material adalah tembus atau tidaknya suatu pelat oleh proyektil yang telah ditentukan berat, jenis, bentuk, dan kecepatannya. Dalam uji balistik, apabila pelat dengan ketebalan tertentu mengalami penetrasi sebagian (*partial penetration*) namun tidak sampai tertembus oleh suatu proyektil maka pelat tersebut dinyatakan memenuhi suatu tingkat dalam ketahanan balistik [9]. Dalam penjelasan lainnya, kemampuan balistik suatu material dinyatakan sebagai sifat ketahanan dari densitas luasan (*areal density*) dari material untuk dapat menangkap/menahan suatu tipe peluru dengan kecepatan tertentu [10]. Oleh karena itu, ketangguhan dari material terhadap beban impak merupakan hal yang sangat dibutuhkan. Kombinasi dari kekuatan (*strength*) yang tinggi dan keuletan (*ductility*) diharapkan dapat meningkatkan kemampuan material dalam menahan pergerakan proyektil peluru. Penelitian yang dilakukan oleh Institusi Material dan Mekanika yang bertempat di Slovakia [11], menemukan bahwa suatu material yang akan dilakukan untuk 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.

Energi yang dihasilkan proyektil peluru tergantung pada beberapa aspek. Kecepatan umumnya memainkan peran yang sangat penting dalam konsep energi yang dihasilkan peluru. Selain itu, bentuk dari proyektil juga dapat menentukan bagaimana proyektil tersebut bergerak pada atmosfer dan seberapa baik proyektil tersebut

mempertahankan kecepatannya selama bergerak. Faktor lain yang mempengaruhi pergerakan peluru adalah jarak tembak antara senjata dengan target material.

Untuk mengetahui kemampuan balistik dari suatu material tahan peluru (*armor*) dapat dilakukan serangkaian pengujian berdasarkan standar NIJ 0108.01 “*Ballistic Resistant Protective Materials*” (Tabel 2.1) atau menggunakan standar STATNAG 4569 “*Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles*” (Tabel 2.2). Dalam standar tersebut tersebut diklasifikasikan tipe dari material tahan peluru berdasarkan kemampuannya untuk menahan jenis peluru tertentu. Material dari peluru yang saat ini diaplikasikan dalam dunia militer terdiri dari beberapa jenis. Yang paling umum digunakan yaitu peluru timah standar, peluru dengan pelindung tembaga atau lebih dikenal dengan *full metal jacket*. Perbedaan material peluru ini juga dapat memberikan efek kerusakan yang berbeda untuk material yang menghadangnya. Selain material yang digunakan efek kerusakan juga disebabkan jenis senjata yang digunakan. Pada tipe I sampai tipe II merupakan proyektil yang digunakan pada jenis senjata pistol, sedangkan mulai dari tipe III-A sampai tipe 4 merupakan proyektil untuk senjata laras panjang dimana akan memberikan efek kecepatan pada proyektil yang lebih besar.

**Tabel 2.1.** Klasifikasi tipe material tahan peluru dan proyektil peluru sesuai standar NIJ 0108.01 [12]

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 cm	381±15
	9 mm FMJ	124	10-12 cm	332±12
II	357 Magnum JSP	158	15- 16,5	425±15
	9 mm FMJ	124	10-12 cm	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
III	7,62 mm (308 Winchester) FMJ	150	56	838±15
IV	30-06 AP	166	56	868±15

Keterangan :

- *Armor Piercing* (AP)
- *Long Rifle High Velocity* (LRHV)
- *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
- *Lead* = paduan timah dengan proses *hardening*

**Tabel 2.2.** Klasifikasi tipe material tahan peluru dan proyektil peluru sesuai standar NATO STATNAG 4569 [13]

<i>Level</i>	<i>KE Threat</i>	Peluru	Jarak tembak (m)	Kecepatan (m/s)
I	<i>Rifle</i>	7.62x51 NATO ball (ball M80)	30	833
		5.56x45 NATO SS109		900
		5.56x45 M193		937
II	<i>Infantry rifle</i>	7.62x39 API BZ	30	695
III	<i>Sniper rifle</i>	7.62x51 AP (WC core)	30	930
		7.62x54R B32 API (Dragunov)		854
IV	<i>Heavy machine gun</i>	14.5x114 AP/B32	200	911
V	<i>Automatic cannon</i>	25 mm APDS-TM-791 atau TLB 073	500	1258

Kemampuan balistik dari suatu material terhadap penetrasi proyektil peluru tertentu dapat diamati dari kerusakan yang dialami material tersebut. Pada sebuah penelitian, Ubeyli, et al. [14], yang mengamati mekanisme kegagalan dari komposit laminat yang terdiri dari alumina (lapisan pertama) dan aluminium (lapisan terakhir). Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan karakteristik kegagalan material dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Terbentuknya *tensile radial crack* pada lapisan keramik alumina. Retak yang disebabkan oleh refleksi penarikan pada bagian belakang lapisan keramik dan kompresi pada permukaan depan keramik. Adanya peristiwa tarik dan kompresi tersebut menyebabkan retak menjalar dari bagian belakang (*rear face*) lapisan keramik menuju ke bagian depan (menuju arah peluru),
- b. Setelah itu terbentuk pola retak *cone*, yang bila dibandingkan dengan retak *tensile radial*, mekanisme terjadinya retak ini terjadi lebih lambat,
- c. Mekanisme kegagalan dilanjutkan dengan penghancuran dan pelumatan pola *cone* yang diakibatkan penetrasi dari peluru,
- d. Kegagalan diakhiri dengan dengan penjalaran retakan sampai lapisan aluminium dan membentuk pola *plugging*.

## **2.2. Aluminium**

### **2.2.1. Sistem Penandaan Aluminium Tempa**

Dalam memudahkan proses klasifikasinya, aluminium dibagi kedalam dua kelompok besar, yaitu klasifikasi aluminium hasil pengecoran berdasarkan komposisinya dan juga klasifikasi aluminium tempa (*wrought aluminium*) berdasarkan komposisinya. Pada pembahasan ini hanya akan diulas tentang sistem penandaan dari aluminium tempa.

Berdasarkan *The Aluminum Association* yang mengadopsi standar *American National Standard Institute (ANSI) H35.1* yang juga digunakan di Amerika, sistem penandaan aluminium tempa berdasarkan komposisi paduan utama yang terkandung didalamnya, diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.3. Sistem penandaan dilakukan dengan empat digit angka dengan angka pertama menunjukkan unsur paduan utama yang terdapat pada aluminium. Kelompok aluminium 1xxx (biasa ditulis sebagai AA1xxx) merupakan kelompok material aluminium murni yang memiliki kadar unsur aluminium (Al) lebih dari 99%. Sedangkan kelompok AA2xxx sampai AA8xxx merupakan kelompok aluminium paduan dengan paduan utamanya spesifik (tertentu) sesuai dengan paduan utamanya [5].

Tabel 2.3. Sistem penandaan aluminium tempa [5]

Seri	Paduan Utama
1xxx	Aluminium murni (> 99%)
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium & Silikon
7xxx	Zinc
8xxx	Paduan Lain
9xxx	Tidak digunakan

### 2.2.2. Aluminium Balistik

Selain material yang berbasis baja dan keramik, material paduan aluminium telah banyak digunakan untuk aplikasi militer, terutama untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap balistik. Alasan utama pengembangan material berbasis aluminium adalah karena berat jenisnya yang relatif ringan, terutama untuk panel-panel pada kendaraan militer pembawa logistik maupun manusia. Berat jenis dari aluminium yang rendah ini meningkatkan kemampuan dan kemudahan untuk memindahkan peralatan, termasuk juga pada pemindahan melalui udara. Salah satu persyaratan yang harus dimiliki oleh sebuah paduan aluminium untuk menjadi suatu pelat pelindung dalam aplikasi militer adalah memiliki ketahanan terhadap penetrasi proyektil, ketahanan terhadap korosi yang baik, dan dalam beberapa aplikasi memiliki kemampuan (*weldability*) yang baik.

Selain kelebihan tersebut, aluminium merupakan suatu logam yang memiliki keuletan yang cukup tinggi dibandingkan logam-logam lainnya, ditinjau dari kurva tegangan-regangan yang dimilikinya. Namun, aluminium memiliki ketangguhan yang tidak begitu tinggi bila dibandingkan dengan material baja maupun material keramik yang biasa digunakan untuk aplikasi militer. Oleh karena itu salah satu alternatif yang dilakukan adalah mengkombinasikan material paduan aluminium dengan material lain yang memiliki kekuatan yang tinggi sehingga diharapkan dapat meningkatkan ketangguhan dari aluminium tersebut.

Material aluminium yang telah dikembangkan untuk material militer umumnya berasal dari kelompok aluminium-tembaga (AA2xxx), aluminium-magnesium (AA5xxx), aluminium-zinc (AA7xxx) dan beberapa tipe aluminium-magnesium-silikon (AA6xxx). Berikut ini adalah beberapa material aluminium yang telah diaplikasikan untuk kebutuhan militer.

a. AA7039

Standar penggunaan AA7039 tercakup dalam MIL-DTL-46063H militer Amerika Serikat untuk aplikasi militer semenjak tahun 1998. Paduan utama yang terkandung dalam AA7039 adalah aluminium dan zinc (Zn) dan juga sedikit magnesium. Salah satu contohnya AA7039-T64 telah digunakan pada kendaraan tempur di Amerika seperti pada jenis tank yang dinamakan *Bradley Fighting Vehicle* seperti Gambar 2.1 [15]. Pelat AA 7039 dianggap memiliki ketahanan peluru lebih baik dibandingkan dengan AA5083 mengacu pada kemampuan balistiknya. Namun paduan AA7039 memiliki masalah pada aplikasinya karena cenderung lebih mudah untuk terkena mekanisme retak *stress corrosion cracking* (SCC) dibandingkan dengan AA5083.



**Gambar 2.1.** *Bradley Fighting Vehicle* menggunakan AA7039-T64 (bagian atas) dan AA5083-H131 (bagian bawah) [15]

b. AA2519

Pemakaian pelat AA2519 sebagai material untuk aplikasi militer diatur pada standar MIL-DTL-46192. AA2519 merupakan paduan aluminium-tembaga dengan penambahan mangan yang memiliki kekerasan diantara AA5083 dan AA7039. Material ini juga memiliki kemampuan yang lebih baik dari AA5083 untuk mencegah terjadinya fragmentasi akibat beban impact balistik. Meskipun material ini memiliki ketahanan

yang baik terhadap *stress corrosion cracking* (SCC), namun kelemahannya adalah ketahanan korosinya yang rendah dan kemampuan dari material ini yang buruk [15]. Material ini telah diaplikasikan pada angkatan laut Amerika Serikat pada kendaraan tempur *Marine Corps Expeditionary Fighting Vehicle* seperti Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** *Marine Corps Expeditionary Fighting Vehicle* menggunakan material AA2519-T87 [15]

#### c. AA2219

Salah satu penelitian tentang aluminium balistik dilakukan oleh Jha, et al [16], yang mengamati kemampuan balistik dari pelat AA2219 yang dilakukan proses pengelasan dengan logam *filler* aluminium 2319. Kemampuan balistik diuji baik pada bagian logam induk maupun pada bagian lasan. Pengujian dilakukan menggunakan peluru kaliber 9 mm, 7.02 mm, 5.52 mm, dan 7.62 mm. Dari hasil pengujian yang dilakukan tersebut, didapatkan hasil bahwa material aluminium tersebut dapat menahan peluru kaliber 9 mm, baik pada logam induk maupun bagian yang dilakukan pengelasan.

#### 2.2.3. Aluminium 5083 (AA5083)

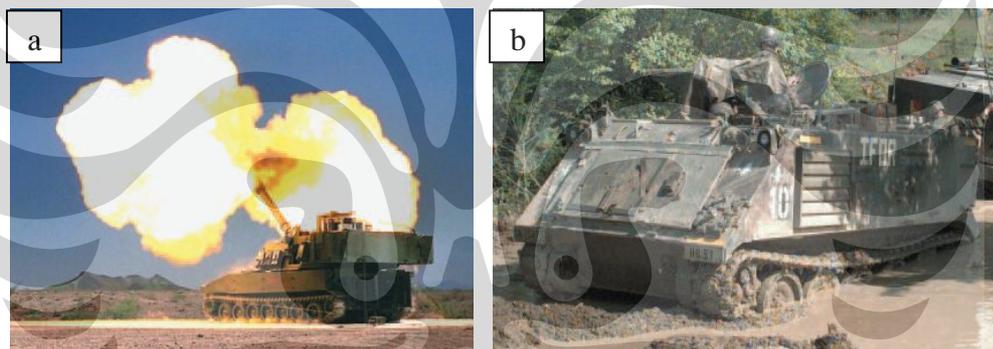
AA5083 merupakan salah satu paduan aluminium-tembaga yang memiliki komposisi unsur seperti yang ditunjukkan Tabel 2.4 telah banyak dikembangkan untuk aplikasi militer. Spesifikasi material ini dalam kaitannya dengan aplikasi militer telah diatur dengan standar MIL-DTL-46027K. Salah satu contoh penggunaan material ini adalah pada tank dengan nama *Bradley Fighting Vehicles* (Gambar 2.1), kendaraan angkut personel M113 (Gambar 2.3a) dan M109 Paladin (Gambar 2.3b), dimana

material AA5083 yang digunakan telah mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) H131 [15].

**Tabel 2.4.** Komposisi AA5083 [5]

Material	% massa (maks)							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AA5083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15

Keunggulan material ini yang berhubungan dengan kelayakannya untuk digunakan untuk aplikasi militer adalah kemampuannya untuk menahan terjadinya fragmentasi [15]. Selain itu material ini juga memiliki kemampulan yang cukup baik sehingga dalam aplikasi kendaraan militer memudahkan dalam proses perakitan. Keunggulan lainnya adalah ketahanan material ini terhadap korosi dan *stress corrosion cracking* (SCC). Namun, material ini tidak dapat dikeraskan melalui proses perlakuan panas (*non-heat-treatable*).



**Gambar 2.3.** Kendaraan angkut personel yang menggunakan material AA5083-H131 (a) M113, dan (b) M103 Paladin [15]

Pada perancangan material komposit aluminium tahan peluru ini digunakan AA5083 dengan perlakuan H112. Material ini memiliki sifat mekanik seperti yang ditunjukkan Tabel 2.5.

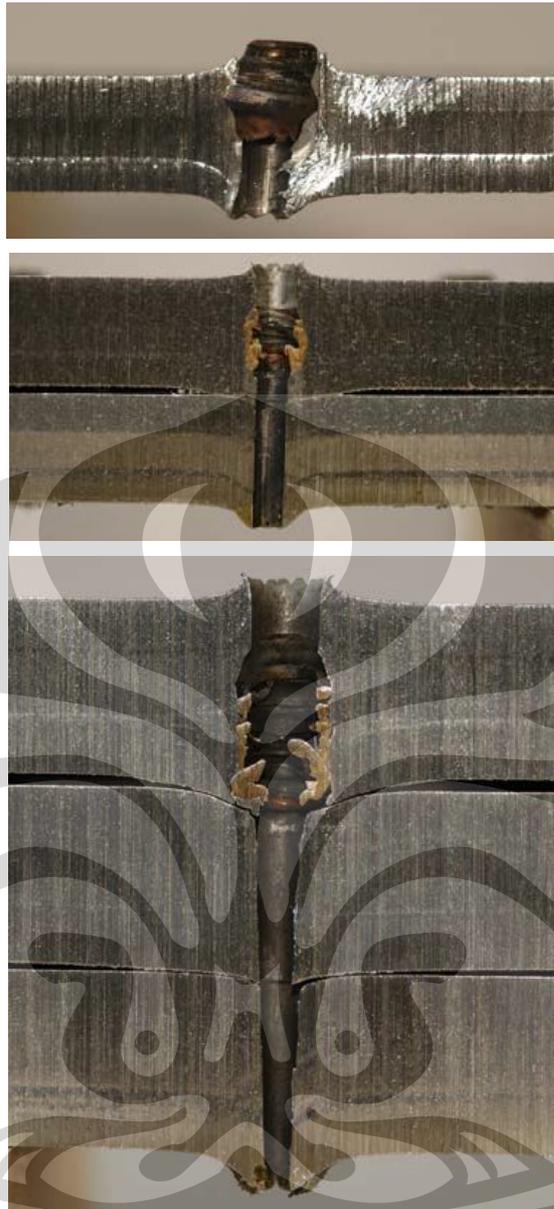
**Tabel 2.5.** Sifat mekanik AA5083 H112 [5]

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan tarik	303 MPa
Kekuatan <i>yield</i>	193 MPa
Modulus Young	70.3 GPa
Densitas	2,66 g/cm <sup>3</sup>

Penelitian terhadap kemampuan balistik dari material AA5083 telah dilakukan oleh Borvik et al [17]. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan balistik dari AA5083-H116 terhadap proyektil 20 mm (*ogive nose rods*) dan 7.62 APM2 dengan variable ketebalan pelat 20 mm, 40 mm dan 60 mm. Berdasarkan hasil yang didapatkan, seluruh material aluminium tersebut dapat ditembus oleh proyektil-proyektil peluru yang digunakan, namun perforasi atau pelubangan dari proyektil APM2 hanya memberikan dampak yang tidak terlalu besar pada material. Gambar 2.4 menunjukkan tahapan pelubangan proyektil APM2 pada AA5083-H116, mulai dari peluru masuk sampai keluar dari pelat aluminium. Sedangkan pada Gambar 2.5 dapat terlihat pelubangan dari pelat aluminium dengan tebal 20 mm, 40 mm dan 60 mm akibat proyektil APM2.



**Gambar 2.4.** Tahapan perforasi dari pelat AA5083-H116 monolitik dengan tebal 20 mm akibat proyektil APM2 yang diambil menggunakan *high speed video* [17].

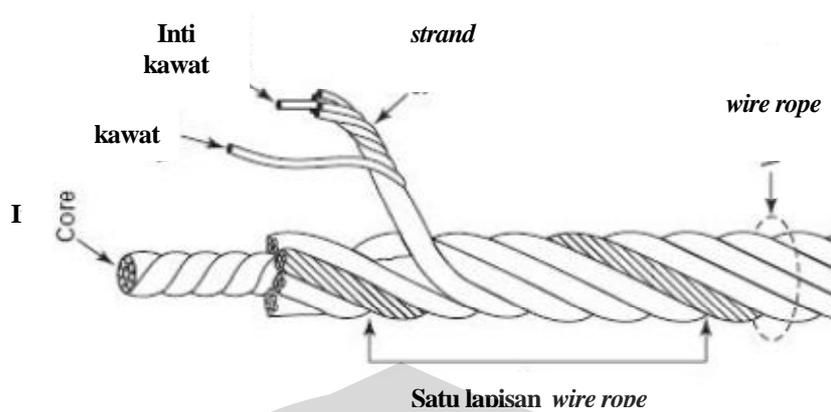


**Gambar 2.5.** Penampang melintang dari pelubangan pelat AA5083-H16 oleh proyektil APM2 dengan (a) monolitik 20 mm, (b) dua lapis 40 mm, dan (c) tiga lapis 60 mm [17].

### 2.3. *Wire Rope*

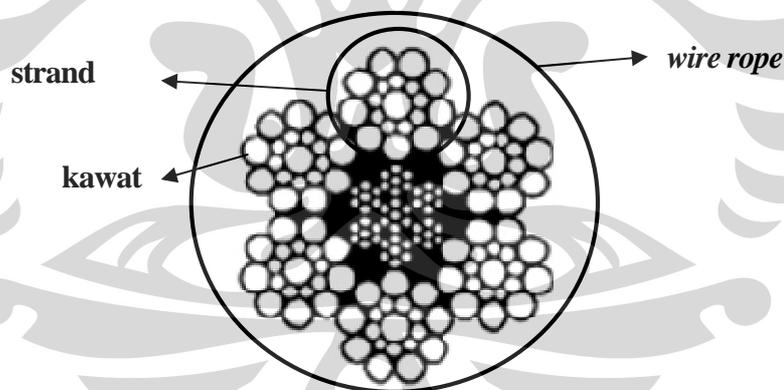
#### 2.3.1. *Struktur Wire Rope*

Dalam perancangan komposit aluminium tahan peluru, penguat yang digunakan adalah kawat baja karbon tinggi. Kawat baja karbon tinggi memiliki kadar  $> 0.44\% \text{C}$  dengan tambahan paduan lainnya [18]. Kawat baja karbon tinggi yang digunakan merupakan bagian dari tali baja (*wire rope*) dengan struktur seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur *wire rope* [19].

Dari Gambar 2.6, bagian *wire rope* yang digunakan adalah bagian kawat. Kawat baja yang digunakan memiliki diameter 1 mm yang dipisahkan secara manual dari bentuk pilinan *wire rope*. Jumlah pilinan dari *rope*, memiliki ukuran 6x19, yang berarti terdapat 6 *strand* dalam satu pilinan *wire rope* dan dalam satu *strand* tersusun atas 19 kawat. Gambaran dari bentuknya dalam penampang melintang *wire rope* seperti ditunjukkan Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Penampang melintang *wire rope* [20]

### 2.3.2. Karakteristik *Wire Rope*

Kawat baja karbon tinggi yang dijadikan sebagai *wire rope* memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kawat baja pada umumnya. Hal ini dikarenakan aplikasi dari *wire rope* ini adalah untuk aplikasi struktural. Pemilihan kawat baja yang tidak menggunakan proses galvanik (*un-galvanize*) dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik baja yang optimal dimana meminimalkan terjadinya kegagalan akibat material

lelah (*fatigue*). Sifat mekanik dan karakteristik dari *wire rope* yang digunakan dalam perancangan komposit aluminium tahan peluru seperti ditunjukkan pada Tabel 2.6.

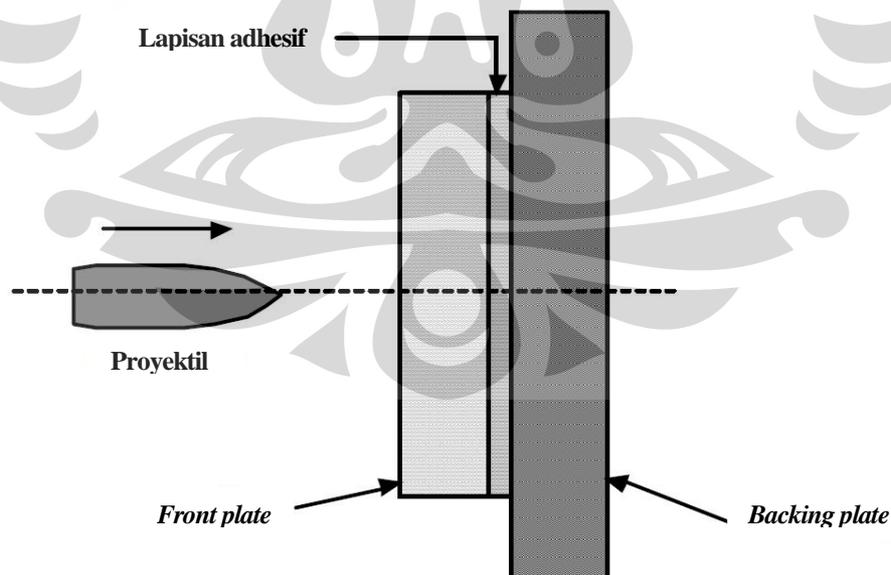
**Tabel 2.6.** Karakteristik sifat mekanik *wire rope* [6]

Karakteristik	Spesifikasi
Standar material	ANSI/API Spec. 9A/2004
Diameter <i>rope</i>	16 mm
Diameter kawat	1.03 mm
Kekuatan tarik kawat	1960 N/mm <sup>2</sup>
<i>Breaking load</i>	176.52 kN

## 2.4. Polimer Adhesif

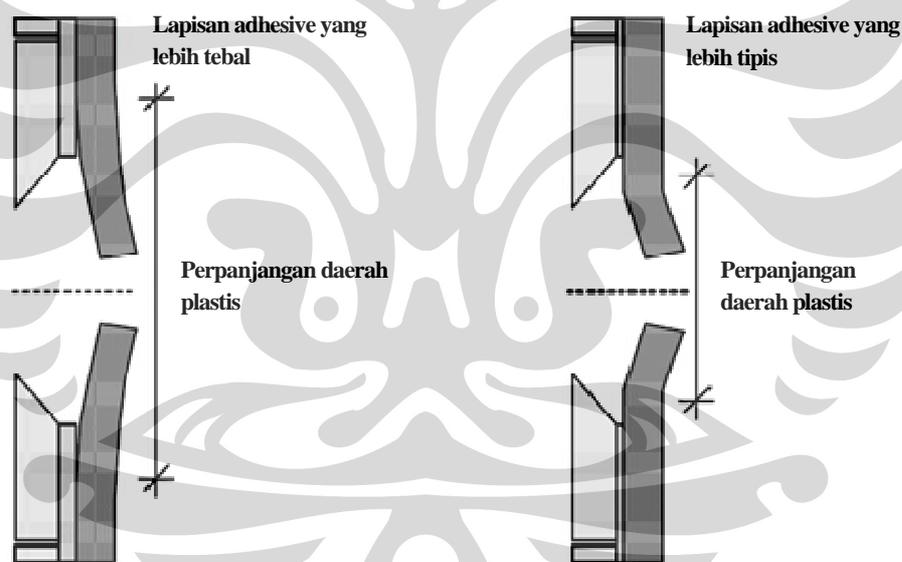
### 2.4.1. Pengaruh Adhesif Pada Material Komposit

Ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan pada pembuatan material komposit, diantaranya adalah interaksi antara fasa matriks dan fasa penguatnya. Salah satu metode untuk meningkatkan interaksi antara matriks dan penguat yaitu dengan menggunakan adhesif. Pada beberapa kasus, fasa matriks dan penguat dari suatu material komposit sangat sulit untuk berikatan, seperti komposit yang terdiri dari logam-keramik sehingga penggunaan polimer adhesif sangat efektif dalam hal ini [7].



**Gambar 2.8.** Skema material komposit yang terdiri dari keramik alumina (*front plate*) dan AA2017 (*backing plate*) dengan *polyurethane* sebagai polimer adhesif [7]

Selain sebagai media pengikat antara matriks dan penguat, polimer adhesif juga dapat meningkatkan kinerja dari material komposit dalam meradam energi yang dialami material komposit tersebut. Salah satu penelitian mengenai pengaruh adhesif dilakukan oleh Zaera et al [7], yang melakukan percobaan terhadap sifat balistik material komposit yang terdiri dari keramik alumina (*front plate*) dan AA2017 (*backing plate*) dengan *polyurethane* sebagai polimer adhesif menggunakan proyektil 7,62 AP (Gambar 2.8). Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa lapisan adhesif yang lebih tebal menghasilkan deformasi plastis *backing plate* yang lebih besar, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9, dimana adhesif membantu material komposit dalam menyerap energi kinetik dari proyektil. Selain itu adhesif juga mencegah terjadinya fragmentasi dari lapisan muka atau lapisan keramik. Tidak adanya proses fragmentasi tersebut menandakan bahwa energi yang diterima material komposit tersebar merata pada seluruh bagian dari komposit tersebut.



**Gambar 2.9.** Perbedaan daerah plastis pelat logam dengan lapisan adhesif (a) tebal dan (b) tipis [7].

#### 2.4.2. Karakteristik Polimer Adhesif *Polyurethane*

Salah satu adhesif yang biasa digunakan dalam pembuatan material komposit adalah jenis *polyurethane* (PU). Dalam pembuatan komposit aluminium tahan peluru ini digunakan PU dengan merk dagang Seal 'N' Flex 1 yang diproduksi oleh Bostik Findley. Seal 'N' Flex 1 ini merupakan PU yang memiliki modulus yang rendah dan

berwujud seperti karet (elastomer). Adhesif ini biasanya digunakan untuk aplikasi perlindungan (*sealant*), serta penyambungan beberapa material seperti beton, batu bata, *fiber glass*, aluminium dan beberapa logam lainnya. *Polyurethane* jenis ini memiliki *durability* dan *weatherability* (ketahanan terhadap cuaca) yang sangat baik. Seal 'N' Flex 1 hampir tidak terpengaruh terhadap kondisi cuaca normal, seperti hujan, sinar matahari (ultra violet), dan kontaminasi serta polutan udara lainnya [21]. Proses pengeringan material ini terjadi menggunakan kelembaban udara normal (*moisture curing*). Karakteristik dari material PU yang digunakan seperti diinformasikan pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7.** Karakteristik Seal 'N' Flex 1 [21]

Karakteristik	Spesifikasi
Kekuatan tarik	> 1.3 MPa
Elongasi saat putus	> 900%
Temperatur operasi	5°C - 35°C
Ketahanan temperatur	-40°C – 70°C
<i>Hardness Shore A</i>	30
Ketahanan kimia	Tahan terhadap cairan basa maupun asam

## 2.5. Komposit

### 2.5.1. Definisi Komposit

Komposit merupakan suatu campuran dari dua atau lebih konstituen atau fasa yang berbeda [22]. Ada 3 kriteria yang harus dimiliki oleh suatu material sehingga disebut sebagai material komposit. Pertama, setiap konstituen harus memiliki proporsi tertentu yang lebih besar dari 5 %. Kedua, setiap fasa dari konstituen memiliki sifat yang berbeda dan komposit yang didapatkan juga memiliki sifat yang berbeda dari sifat setiap konstituenya. Kriteria terakhir adalah material komposit dibuat menggunakan proses pencampuran (*mixing*) dan penggabungan (*combining*) dari konstituen-konstituenya dengan berbagai cara [22].

Konstituen dari material komposit yang memiliki fasa berkelanjutan (*continuous*) dengan jumlah yang lebih besar disebut sebagai matriks. Konstituen lainnya yang digunakan untuk meningkatkan sifat dari matriks disebut sebagai penguat. Komposit

dapat diklasifikasikan berdasarkan matriks maupun jenis penguatnya. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit diklasifikasikan menjadi *metal matrix composite* (MMC), *polymer matrix composite* (PMC), dan *ceramic matrix composite* (CMC). Sedangkan berdasarkan bentuk penguatnya material komposit diklasifikasikan sebagai penguat *particulat*, penguat *whiskers*, penguat *fiber* (serat) [23].

### 2.5.2. Komposit Balistik

Penelitian untuk panel anti peluru saat ini telah bergeser kearah material komposit dibandingkan dengan material anti peluru dari baja. Hal tersebut dikarenakan pertimbangan berat dari material tersebut. Dengan penggunaan material komposit diharapkan didapatkan suatu material anti peluru yang ringan, namun tetap memiliki kemampuan yang baik dalam hal menahan energi balistik yang dihasilkan oleh proyektil peluru. Umumnya, material komposit untuk aplikasi peralatan militer (*armor*) digunakan material kevlar yang cukup ringan namun sangat kuat. Kevlar adalah komposit dengan serat aramid yang mempunyai sifat kekuatan yang sangat tinggi dan tahan panas, sering digunakan sebagai rompi anti peluru. Kelemahan dari material ini adalah harganya yang mahal sehingga penelitian lebih mengarah kepada material komposit lainnya yang lebih murah.

Salah satu penelitian tentang komposit anti peluru dilakukan oleh Ubeyli et al [24], yang membandingkan kemampuan dari komposit alumina/aluminium, yang terdiri dari penggabungan pelat aluminium dan pelat alumina dengan ketebalan tertentu, dengan baja 50CrV4. Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa komposit yang terdiri dari alumina dengan tebal 12 mm dilaminasi dengan aluminium 2024-T6 dengan tebal 7,92 memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan baja 50CrV4 dengan kekerasan 60 HRC setebal 11,4 mm. Komposit laminat alumina/aluminium tersebut dapat memangkas berat dari baja untuk panel anti peluru sebesar 26% dengan kemampuan balistik yang lebih baik.

Selain material komposit tersebut ringan, harus diperhatikan pula tentang kemampuan dari material tersebut. Material yang dipakai dalam aplikasi dalam bidang pertahanan, khususnya panel anti peluru, harus memiliki beberapa sifat yang dapat menunjang fungsinya dengan baik dari segi sifat mekanis. Berdasarkan studi yang dilakukan Roland et al [25], dijelaskan bahwa komposit yang tersusun dari elastomer

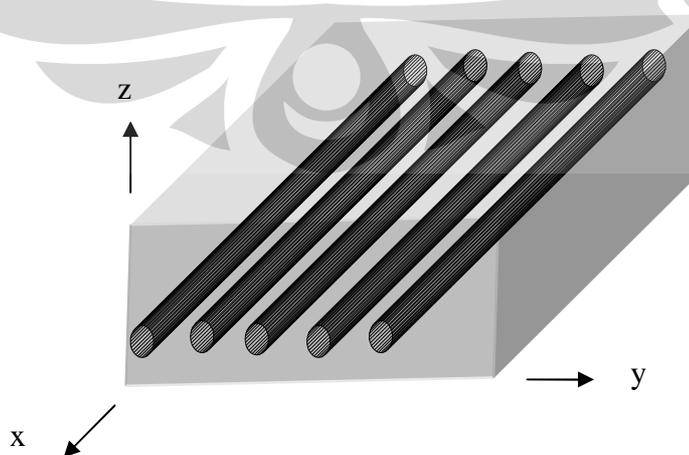
yang melapisi baja, dengan sistem laminat, dapat membentuk struktur keras akibat lapisan elastomer tersebut bertransformasi menjadi fasa *glassy* saat dikenai proyektil. Kekerasan permukaan yang dihasilkan akibat transformasi tersebut dapat menghambat penetrasi dari proyektil dengan kecepatan tinggi.

Untuk mendapatkan material komposit anti peluru yang ringan dan memiliki sifat mekanis yang baik, yang harus diperhatikan adalah desain penyusunan material komposit itu sendiri. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, oleh Suvorov dan Dvorak [26], yang membandingkan kemampuan dari komposit keramik laminat yang terdiri dari alumina ( $Al_2O_3$ ) dan sistem serat Kevlar/EPON 828 yang disusun dengan orientasi  $(0/90)_4$  dan juga  $(0/45/-45/90)_2$ . Berdasarkan hasil penelitian, tegangan kompresif dari kedua susunan komposit tersebut, dengan ketebalan yang sama, tidak ada perbedaan yang berarti diantara keduanya, namun susunan *quasi-isotropy*  $(0/45/-45/90)_2$  memiliki tegangan geser sisa (*residual shear stress*) yang lebih rendah.

### 2.5.3. Teori Makromekanik

#### a. Komposit Laminat Satu Arah (*Unidirectional*)

Sifat-sifat yang dimiliki material komposit laminat yang disusun satu arah, seperti pada Gambar 2.10, memiliki perbedaan dibandingkan dengan material konvensional, dalam hal ini material logam. Perbedaan utama dilihat dari sudut pandang analitik sebagai material yang anisotropi. Material komposit laminat satu arah memiliki sifat yang sangat baik pada arah yang sama dengan arah penguat (*reinforce*), namun kurang baik pada arah yang tegak lurus (*transversal*) terhadap penguat [22].



**Gambar 2.10.** Komposit laminat yang disusun searah [22].

Untuk mendapatkan material laminat yang sesuai dengan kemampuan yang diinginkan dapat dipresiksi menggunakan teori laminasi (*lamination theory*) [23]. Teori laminasi ini dapat digunakan untuk menganalisis desain dan struktur dari material yang dibuat. Analisis yang pertama dilakukan adalah memperkirakan hubungan tegangan-regangan dari material komposit satu arah. Kemudian analisis dilanjutkan dengan mempertimbangkan kekakuan (*stiffness*) dari material. Dengan kedua analisa ini diharapkan dapat memberikan gambaran respon dari laminat terhadap lingkungan dan gaya dari luar tanpa pengujian merusak [22].

#### b. Hubungan Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan-regangan (*constitutive equation*) pada material anisotropi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.10, dapat ditentukan berdasarkan kesesuaian arah dari tegangan yang diberikan dengan prinsip material sumbu 1-2, dimana '1' mewakili sumbu x dan '2' mewakili sumbu y. Hubungan tegangan ( $\sigma$ )-regangan ( $\epsilon$ ) tersebut seperti ditunjukkan persamaan (2.1) sampai (2.3).

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_{11}} - \nu_{12} \frac{\sigma_2}{E_{22}} \quad (2.1)$$

$$\epsilon_2 = -\nu_{12} \frac{\sigma_2}{E_{11}} + \frac{\sigma_1}{E_{22}} \quad (2.2)$$

$$\gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}} \quad (2.3)$$

Dimana E adalah modulus Young,  $\nu$  adalah *poisson ratio*, dan G adalah modulus geser. Untuk penandaan  $\nu_{12}$  diberikan untuk regangan transversal (arah '2'), sedangkan *poisson ratio* pada arah regangan longitudinal (arah '1') menggunakan tanda  $\nu_{21}$  dengan kehadiran penguat yang memiliki kekakuan yang tinggi maka dapat disimpulkan bahwa  $\nu_{12} > \nu_{21}$ . Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hukum dasar dari elastisitas pada persamaan (2.4) sampai (2.5).

$$\frac{\nu_{12}}{E_{11}} = \frac{\nu_{21}}{E_{22}} \quad (2.4)$$

$$\nu_{12} = \nu_{21} \frac{E_{11}}{E_{22}} \quad (2.5)$$

Untuk mendapatkan tegangan sebagai fungsi dari regangan, dapat dilakukan pengaturan ulang terhadap persamaan (2.1) sampai (2.3) sehingga menjadi persamaan (2.6) sampai (2.8) berikut.

$$\sigma_1 = \frac{E_{11}\varepsilon_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} + \frac{\nu_{21}E_{11}\varepsilon_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \quad (2.6)$$

$$\sigma_2 = \frac{E_{22}\varepsilon_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} + \frac{\nu_{12}E_{22}\varepsilon_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \quad (2.7)$$

$$\tau_{12} = G_{12}\gamma_{12} \quad (2.8)$$

Dari ketiga persamaan diatas, diberikan 4 *elastic constant* untuk mengkarakterisasi komposit laminat satu arah, yaitu  $E_{11}$ ,  $E_{22}$ ,  $\nu_{12}$  ( $\nu_{21}$ ) dan  $G_{12}$ . Sedangkan pada material konvensional yang isotropi, hanya ada 2 variabel yang berperan, yaitu  $E$  dan  $\nu$ .

Untuk memudahkan dalam perhitungan laminat, perlu dilakukan penulisan kembali persamaan (2.1) sampai (2.3) dan juga persamaan (2.6) sampai (2.8) dalam bentuk matriks. Sehingga persamaan (2.1) sampai (2.3) menjadi persamaan (2.9) yang dinamakan *compliance matrix*.

$$\varepsilon_{12} = [S]\sigma_{12} \quad (2.9)$$

dengan  $[S]$  adalah,

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{21} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{E_{11}} & -\frac{\nu_{21}}{E_{22}} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & \frac{1}{E_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Kemudian persamaan (2.6) sampai (2.8) menjadi persamaan (2.11) yang sering disebut matriks kekakuan (*stiffness matrix*). Secara tidak langsung diketahui bahwa hubungan *compliance matrix* dan *stiffness matrix* adalah  $[Q] = [S]^{-1}$ .

$$\sigma_{12} = [Q]\varepsilon_{12} \quad (2.11)$$

dengan  $[Q]$  adalah,

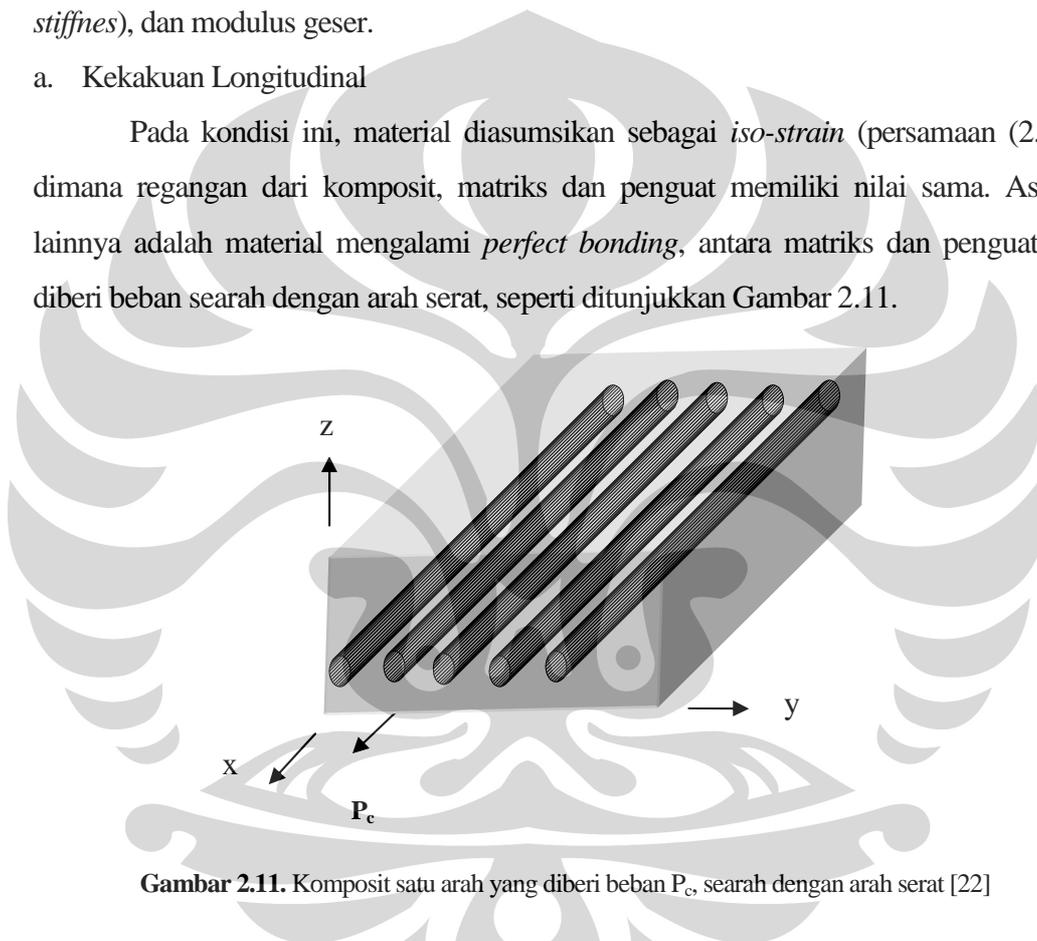
$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{21} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & \nu_{21}E_{11} & 0 \\ \frac{1-\nu_{12}\nu_{21}}{E_{11}} & \frac{1-\nu_{12}\nu_{21}}{E_{22}} & 0 \\ \frac{\nu_{12}E_{11}}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & \frac{E_{22}}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

#### 2.5.4. Teori Mikromekanik

Hal yang paling mendasar dalam proses perancangan komposit laminat adalah kombinasi antar matriks dan penguat, dalam hal ini adalah serat. Oleh karena itu, diperlukan prediksi sifat dari laminat berdasarkan dari sifat-sifat matriks dan penguat secara tersendiri, yang disebut juga sebagai teori mikromekanik. Teori mikromekanik untuk menentukan kekakuan dari komposit dapat dilihat berdasarkan beberapa aspek, yaitu kekakuan longitudinal (*longitudinal stiffness*), kekakuan transversal (*transverse stiffness*), dan modulus geser.

##### a. Kekakuan Longitudinal

Pada kondisi ini, material diasumsikan sebagai *iso-strain* (persamaan (2.13)), dimana regangan dari komposit, matriks dan penguat memiliki nilai sama. Asumsi lainnya adalah material mengalami *perfect bonding*, antara matriks dan penguat saat diberi beban searah dengan arah serat, seperti ditunjukkan Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Komposit satu arah yang diberi beban  $P_c$ , searah dengan arah serat [22]

Dengan asumsi iso-strain maka,

$$\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f \quad (2.13)$$

dengan  $\epsilon_c$  adalah regangan komposit,  $\epsilon_m$  dan  $\epsilon_f$  masing-masing adalah regangan matriks dan regangan serat. Sehingga modulus elastisitas komposit sesuai dengan hukum pencampuran (*rule of mixture*) seperti ditunjukkan persamaan (2.14).

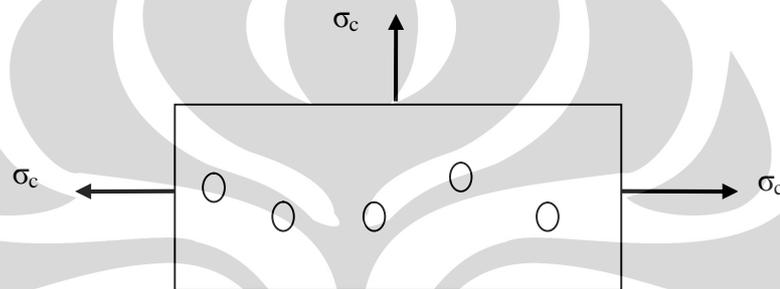
$$E_c = E_m \nu_m + E_f \nu_f \quad (2.14)$$

dengan  $v_m$  dan  $v_f$  adalah fraksi volume matriks dan fraksi volume serat. Bila dalam komposit terdapat lebih dari 3 konstituen penyusun komposit tersebut, maka hukum pencampuran yang digunakan seperti pada Persamaan 2.15.

$$\mathbf{E}_c = \mathbf{E}_a \mathbf{v}_a + \mathbf{E}_b \mathbf{v}_b + \mathbf{E}_c \mathbf{v}_c + \dots \quad (2.15)$$

#### b. Kekakuan Transversal

Berbeda dengan kekakuan transversal, pada kondisi ini material diasumsikan sebagai *iso-stress*, persamaan (2.16). Hal ini akibat beban yang diberikan beban tegak lurus dengan arah serat, seperti ditunjukkan Gambar 2.12.



**Gambar 2.12.** Komposit satu arah yang diberi tegangan  $\sigma_c$ , searah dengan tegak lurus arah serat [22]

Dengan asumsi *iso-stress* maka,

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f \quad (2.16)$$

dengan  $\sigma_c$  adalah regangan komposit,  $\sigma_m$  dan  $\sigma_f$  masing-masing adalah regangan matriks dan regangan serat. Sehingga modulus elastisitas komposit sesuai dengan ditunjukkan persamaan (2.17).

$$\frac{1}{E_c} = \frac{v_m}{E_m} + \frac{v_f}{E_f} \quad (2.17)$$

#### c. Modulus Geser

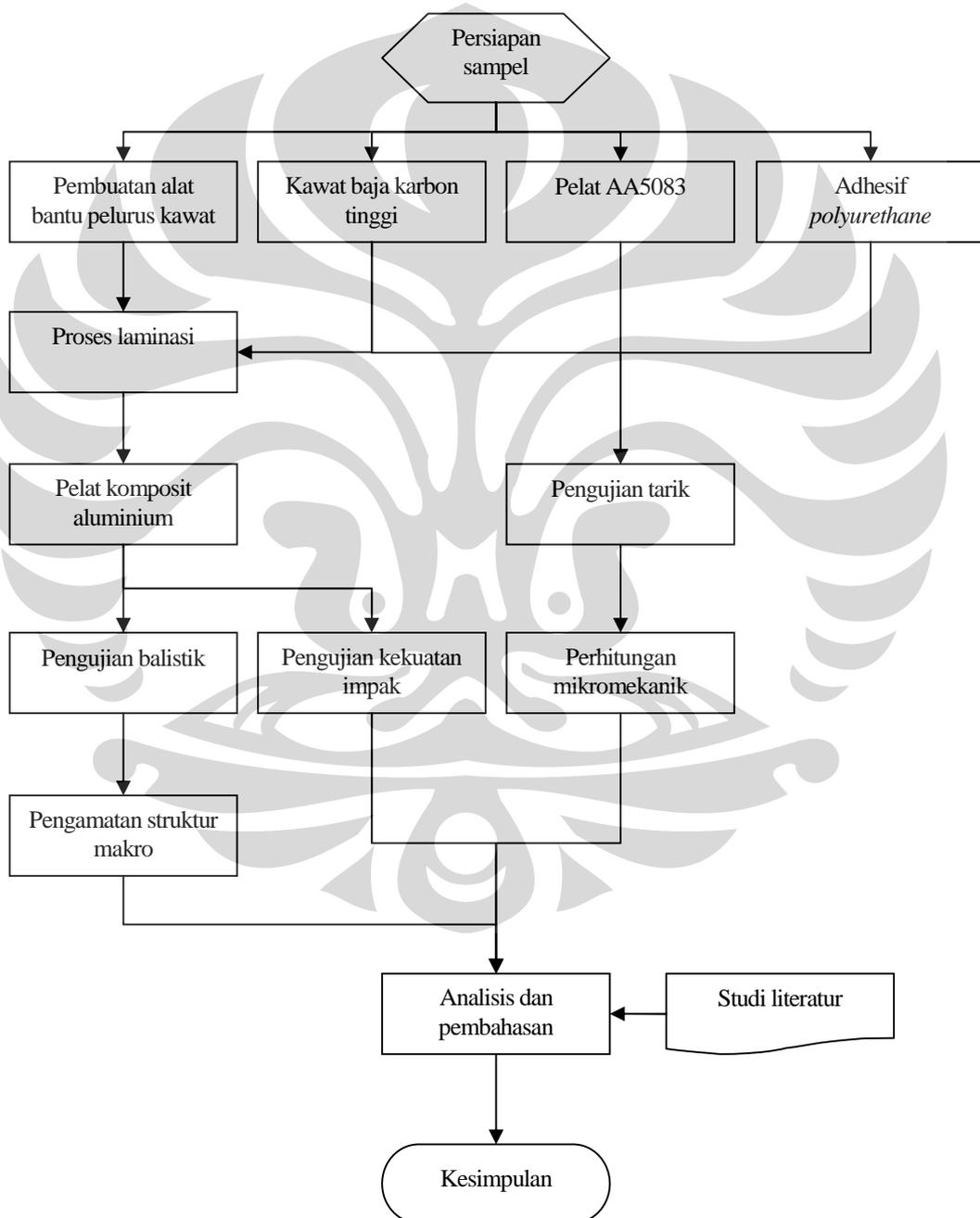
Modulus geser *in-plane*,  $G_{12}$ , dapat ditentukan dengan metode yang serupa dengan metode untuk menghitung kekakuan transversal (*modulus transversal*), seperti pada persamaan (2.18).  $G_{12}$  sangat dipengaruhi oleh besarnya modulus geser matriks,  $G_m$ , karena sangat sulit menentukan nilai dari modulus geser serat,  $G_f$ .

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_m}{G_m} + \frac{v_f}{G_f} \quad (2.18)$$

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 memberikan gambaran keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan, mulai dari pembuatan sampel sampai tahapan pengujian yang dilakukan hingga didapatkan kesimpulan dari penelitian.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

### 3.2. Alat dan Bahan

#### 3.2.1. Alat

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, baik dalam proses pembuatan sampel maupun pengujian sampel yaitu :

- a. Batang ulir berdiameter 12 mm
- b. Mur
- c. Batang besi U
- d. *Jig saw*
- e. Gerinda potong
- f. *Cutting wheel*
- g. *Bend saw*
- h. Alat *pressing*
- i. Tang
- j. Kunci inggris
- k. Kunci pas 17-19
- l. *Optical emission spectroscopy*
- m. Mesin uji tarik Servopulser Shimadzu
- n. Alat uji tarik polimer
- o. Alat uji impak
- p. Kamera SLR

#### 3.2.2. Bahan

- a. AA5083
- b. Kawat baja karbon tinggi
- c. Adhesif *polyurethane* (PU)

### 3.3. Prosedur Pembuatan Sampel

#### 3.3.1. Perhitungan Fraksi Volume

Variabel bebas yang digunakan dalam perancangan pelat komposit aluminium tahan peluru adalah persentase volume dari kawat baja yang digunakan, yaitu 2.5%, 5% dan 7.5%, atau dapat juga dinyatakan sebagai fraksi volume kawat baja. Fraksi volume kawat baja merupakan bentuk desimal dari persentase volume kawat baja. Fraksi

volume untuk kawat baja dengan persentase 2.5% adalah 0.025, untuk persentase 5% adalah 0.05 dan persentase 7.5% adalah 0.075. Perhitungan dari fraksi volume dari konstituen penyusun komposit dilakukan berdasarkan dari perbandingan volume pelat aluminium atau kawat baja karbon tinggi dengan volume komposit aluminium. Untuk fraksi volume penguat ( $v_f$ ), kawat baja, yang merupakan variabel bebas dari penelitian ini, dapat ditentukan dengan persamaan 3.1, sedangkan untuk fraksi volume matrik ( $v_m$ ), dalam hal ini pelat aluminium) ditentukan dengan persamaan 3.2.

$$v_f = \frac{V_f}{V_c} \quad (3.1)$$

$$v_m = \frac{V_m}{V_c} \quad (3.2)$$

dengan  $V_c$ ,  $V_m$ , dan  $V_f$  adalah volume komposit (dalam  $\text{cm}^3$ ), volume matriks ( $\text{cm}^3$ ) dan volume penguat ( $\text{cm}^3$ ).

Bila data yang telah diketahui adalah volume matriks ( $V_m$ ) yaitu  $1116.3 \text{ cm}^3$ , yang berasal dari dua pelat aluminium dengan ukuran masing-masing pelat  $30.5 \times 30.5 \times 0.6 \text{ mm}$ , dan fraksi volume aluminium diketahui ( $v_m$ ) sama dengan  $1 - v_f$ , maka akan didapatkan dihitung volume dari komposit menggunakan persamaan 3.2 yang diturunkan menjadi persamaan 3.3, persamaan 3.4 dan persamaan 3.5.

$$V_c = \frac{V_m}{v_m} \quad (3.3)$$

Total dari fraksi volume kawat baja dan aluminium adalah 1, maka

$$V_c = \frac{V_m}{1 - v_f} \quad (3.4)$$

$$V_c = \frac{1116.3}{1 - v_f} \quad (3.5)$$

Contoh perhitungan dari volume komposit aluminium yang memiliki fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5% ditunjukkan pada persamaan 3.6. Dari hasil perhitungan persamaan 3.5 didapatkan volume masing-masing komposit aluminium berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%, 5% dan 7.5% seperti yang ditunjukkan Tabel 3.1. Kemudian bila diketahui volume komposit aluminium adalah jumlah total dari volume pelat aluminium dan kawat baja karbon tinggi, maka volume kawat baja karbon tinggi merupakan dari hasil pengurangan volume komposit aluminium dengan volume pelat aluminium sebagai matriks. Volume dari kawat baja karbon tinggi untuk setiap komposit aluminium juga ditunjukkan pada Tabel 3.1.

$$V_c = \frac{1116.3}{1-0.025} = 1144.92 \quad (3.6)$$

**Tabel 3.1.** Volume komposit, volume matriks aluminium dan volume kawat baja berdasarkan fraksi volume kawat baja penyusun komposit

% volume kawat baja	Volume aluminium (cm <sup>3</sup> )	Volume komposit (cm <sup>3</sup> )	Volume kawat baja (cm <sup>3</sup> )
2.5	1116.3	1144.92	28.62
5	1116.3	1175.05	58.75
7.5	1116.3	1206.81	90.51

Kawat baja karbon tinggi yang digunakan berdiameter 1.03 mm dan panjang tiap kawat penguat komposit yaitu 30.5 cm (sesuai lebar pelat komposit), sehingga didapatkan volume setiap kawat baja ( $V_{\text{satu batang kawat}}$ ) yaitu sekitar 0.254 cm<sup>3</sup>. Jumlah kawat baja yang digunakan untuk setiap pelat komposit aluminium (Tabel 3.2) didapatkan dengan pembagian volume kawat baja total yang dibutuhkan untuk setiap pelat komposit aluminium dengan volume dari setiap kawat penguat komposit persamaan 3.7.

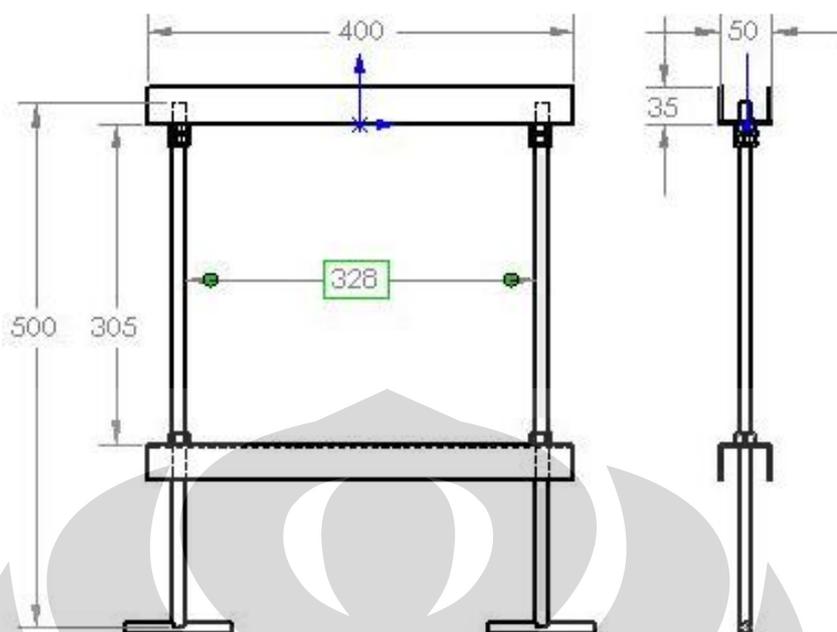
$$\text{jumlah kawat} = \frac{V_f}{V_{\text{satu batang kawat}}} \quad (3.7)$$

**Tabel 3.2.** Jumlah kawat baja karbon tinggi yang dibutuhkan untuk setiap komposit berdasarkan fraksi volume kawat penguat

% volume kawat baja	Jumlah kawat baja
2.5	120
5	245
7.5	378

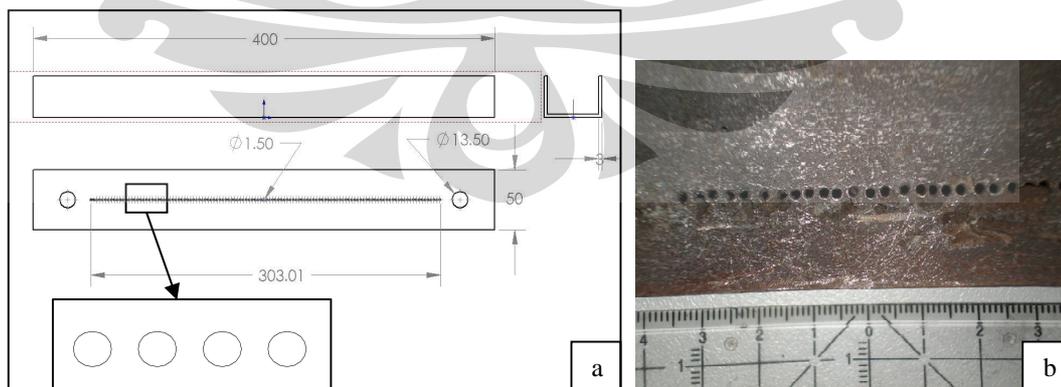
### 3.3.2. Pembuatan Alat Bantu Pelurus Kawat

Tahap awal dari pembuatan alat bantu pelurus kawat adalah mencari desain dari alat bantu yang tepat. Desain yang dianggap tepat, seperti pada Gambar 3.2, dibuat menggunakan beberapa material yang umum diperjual-belikan secara komersil, yaitu batang besi berbentuk U, batang berulir (drat) dan juga mur.



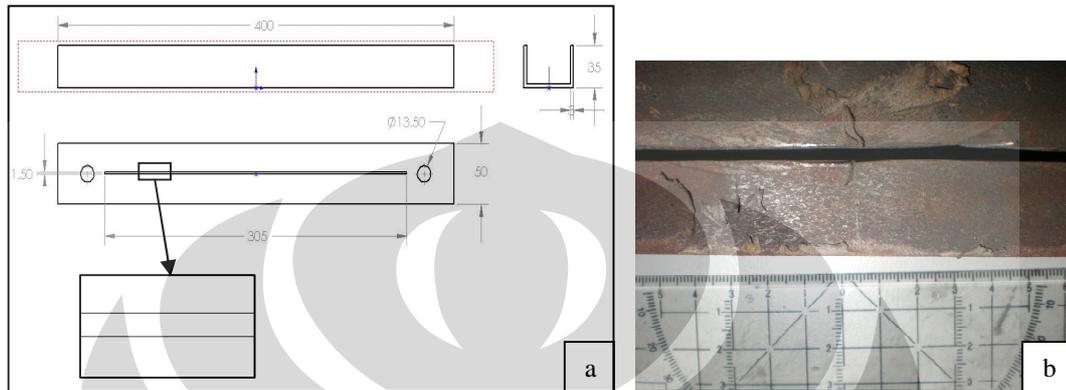
**Gambar 3.2.** Desain teknik alat bantu pelurus kawat (dimensi dalam satuan mm)

Pada pembuatan alat bantu pelurus kawat digunakan batang besi U-5 (batang besi berbentuk U dengan lebar 5 cm). Untuk komposit aluminium dengan fraksi volume kawat 2.5%, batang besi U dipotong sepanjang 40 cm sebanyak 2 batang. Sebelumnya dilakukan desain untuk lubang tempat penyusunan kawat seperti pada Gambar 3.3a. Kemudian dilakukan pelubangan, menggunakan bor dengan mata bor berdiameter 1.5 mm, untuk tempat disusunnya kawat pada bagian tengah batang U sebanyak 120 lubang yang disusun sejajar memanjang dengan panjang 30.5 cm (jarak antar lubang sekitar 2.55 mm), seperti pada Gambar 3.3b.



**Gambar 3.3.** Bentuk lubang pada batang besi U untuk tempat menyusun kawat dengan fraksi volume 2.5%, (a) gambar teknik [satuan dimensi dalam mm] dan (b) gambar sebenarnya

Sedangkan untuk komposit aluminium dengan fraksi volume kawat 5% dan 7.5%, pelubangan batang besi U untuk tempat disusunnya kawat dilubangi memanjang dan lurus sepanjang 30.5 cm (desain teknik seperti pada Gambar 3.4a). Lubang berupa garis lurus memanjang dilakukan menggunakan gerinda potong sehingga didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.4b.

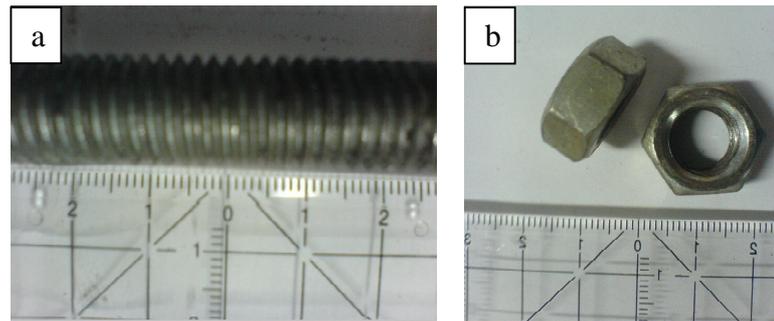


**Gambar 3.4.** Bentuk lubang pada batang besi U untuk tempat menyusun kawat dengan fraksi volume 5% dan 7.5%, (a) gambar teknik [satuan dimensi dalam mm] dan (b) gambar sebenarnya

Pada tahap berikutnya, bagian tepi dari setiap batang U dilubangi (Gambar 3.5) menggunakan bor dengan mata bor berdiameter 13.5 mm untuk tempat ulir pendorong (seperti baut) untuk mendorong kawat memanjang dan memendek. Sistem ulir pendorong terdiri dari batang besi berulir (drat) berdiameter 12 mm (Gambar 3.6a) dengan panjang 50 cm dan juga 3 buah mur (Gambar 3.6b). Batang besi berulir sebelumnya disambung dengan batang besi lain sehingga menjadi batang berbentuk huruf T.

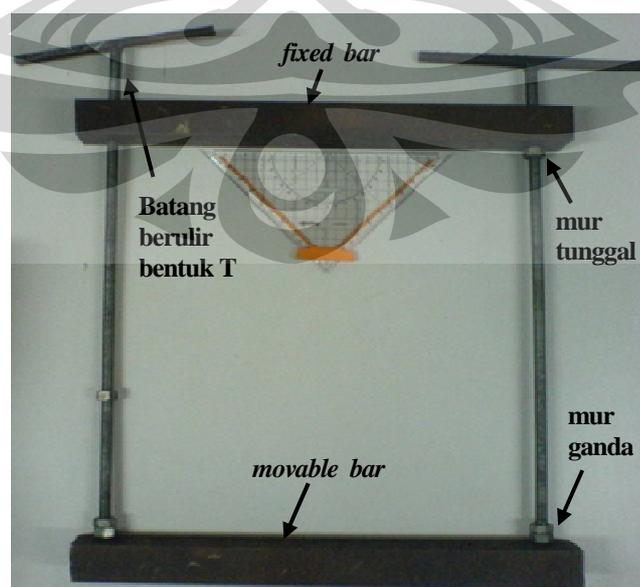


**Gambar 3.5.** Lubang tempat ulir pendorong



**Gambar 3.6.** Alat penyusun ulir pendorong (a) batang berulir dan (b) mur

Gabungan dari sistem ulir pendorong dan batang U tempat penyusunan kawat membentuk alat bantu pelurus kawat, seperti pada Gambar 3.7. Batang U tempat penyusunan kawat baja, berdasarkan pergerakannya dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu batang U diam (*fixed bar*) dan juga batang U bergerak (*movable bar*). Batang diam merupakan batang U yang menjadi acuan awal dari proses peregangkan kawat baja yang ingin diluruskan, sedangkan batang bergerak merupakan batang yang dapat menjauh dan mendekat ketika didorong oleh ulir pendorong. Kemudian pada sistem ulir pendorong 3 mur yang dipasang pada batang berulir dan terletak diantara 2 buah batang U tempat penyusunan kawat. Satu buah mur (mur tunggal) berada pada batang U diam dan 2 mur lainnya (mur ganda) berada pada batang U bergerak. Tujuan dari digunakan mur ganda adalah untuk membuat kedua mur tersebut dapat saling mengunci dan menjadi satu kesatuan dengan batang berulir sehingga saat batang berulir diputar, mur ganda akan mendorong batang U yang bergerak.



**Gambar 3.7.** Alat bantu pelurus kawat

### 3.3.3. Persiapan Sampel

Proses persiapan sampel komposit aluminium diawali meliputi pemotongan dan pengamplasan dari setiap bahan-bahan penyusun komposit aluminium.

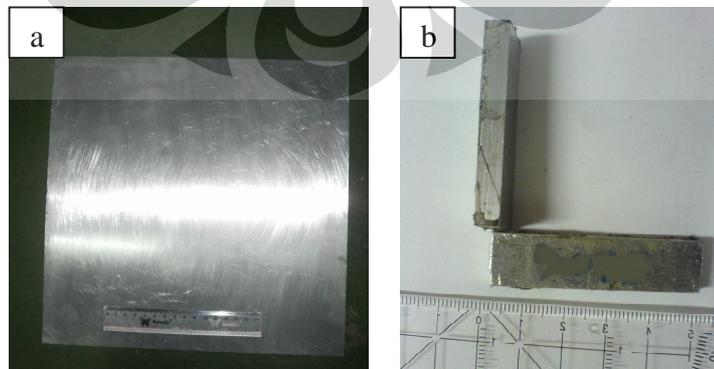
#### a. AA5083

Pelat aluminium yang digunakan yaitu AA5083 dengan ketebalan sekitar 6 mm. Untuk menguji komposisi dari pelat aluminium tersebut dilakukan pengujian *optical emission spectroscopy* (OES). Berdasarkan hasil pengujian, persentasi komposisi beberapa unsur utama dari AA5083 ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3.** Komposisi AA5083 berdasarkan uji *spectroscopy*

Unsur	% komposisi	Unsur	% komposisi
Al	94.46	Pb	0.014
Si	0.28	Bi	0.078
Mg	4.72	Cr	0.10
Cu	0.050	Ti	0.011
Mn	0.28	Sn	0.0087
Zn	0.081	V	0.0054
Ni	0.00	Ca	0.0005
Fe	0.081	Be	0.00

Tahap pertama, pelat aluminium dipotong menjadi ukuran 30.5 x 30.5 cm untuk sampel pengujian balistik seperti pada Gambar 3.8a. Proses pemotongan aluminium dilakukan dengan menggunakan *Jig Saw* sehingga didapatkan 6 pelat aluminium atau 3 pasang pelat aluminium. Sedangkan untuk sampel pengujian impak, pelat aluminium dipotong dengan ukuran 5.5 cm x 1 cm (Gambar 3.8b) dengan menggunakan *bend saw* (Gambar 3.9)



**Gambar 3.8.** Pelat AA5083-H112 (a) sampel uji balistik dan (b) sampel uji impak

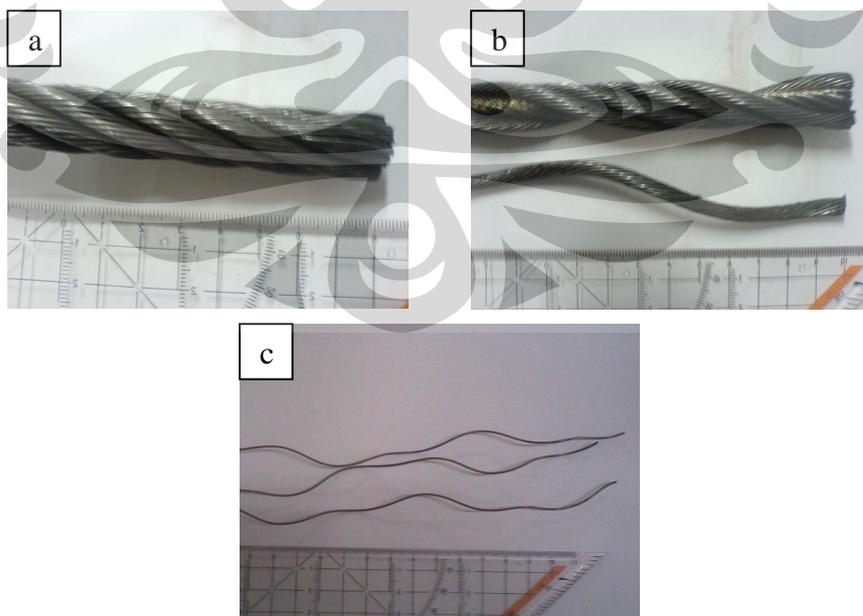
Kemudian dilakukan pengamplasan pada salah satu permukaan pelat aluminium yang akan dilapisi dengan adhesif PU. Pengamplasan dilakukan menggunakan kertas abrasif yang memiliki kekasaran 120# dan diampelas dengan orientasi satu arah dengan arah pencanaan (*rolling*) dari pelat.



**Gambar 3.9.** Bend saw

b. Kawat Baja Karbon Tinggi

Kawat baja yang digunakan adalah kawat baja karbon tinggi yang berasal dari *wire rope* (kawat tali baja). Dimensi dari *wire rope* yang digunakan adalah 6x19, yang berarti dalam setiap *wire rope* (Gambar 3.10a) terdapat 6 *strand* dan setiap satu *strand* (Gambar 3.10b) terdapat 19 kawat baja karbon tinggi (Gambar 3.10c) dengan diameter dari setiap kawat baja adalah sekitar 1.03 mm [6]. Kawat baja yang berasal dari *wire rope* ditunjukkan pada Gambar 3.10.

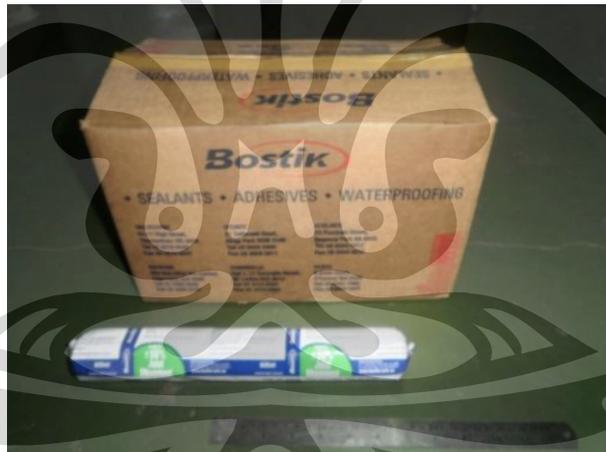


**Gambar 3.10.** Bagian dari *wire rope* (a) *wire rope*, (b) *strand* yang dilepas dari *wire rope* dan (c) kawat baja karbon tinggi

Diawali dengan pemotongan *rope* dengan panjang 50 cm, kemudian dilanjutkan pelepasan setiap *strand* dari *wire rope* menggunakan bantuan tang. Setelah itu dari setiap *strand* tersebut kawat baja dipisahkan sehingga didapatkan kawat baja karbon tinggi sebanyak 743 batang kawat (rincian pada Tabel 3.2.). Kawat baja yang dilepas dari *wire rope* masih mengandung gemuk/pelumas sehingga harus di bersihkan menggunakan kain perca. Proses preparasi kawat baja diakhiri dengan pengamplasan dengan kertas abrasif 120# agar permukaannya menjadi kasar sehingga diharapkan dapat meningkatkan interaksi dengan adhesif PU.

c. Adhesif *polyurethane*

Adhesif PU yang dipakai berupa elastomer dengan merek dagang Seal 'N' Flex yang diproduksi oleh Bostik Australia Ply Ltd. Setiap kemasan berbentuk *sausage* dengan volume 600 ml. Bentuk kemasan dari adhesif yang digunakan seperti pada Gambar 3.11. Pada proses pembuatan sampel uji balistik, setiap komposit aluminium yang menggunakan sekitar 300 ml adhesif.

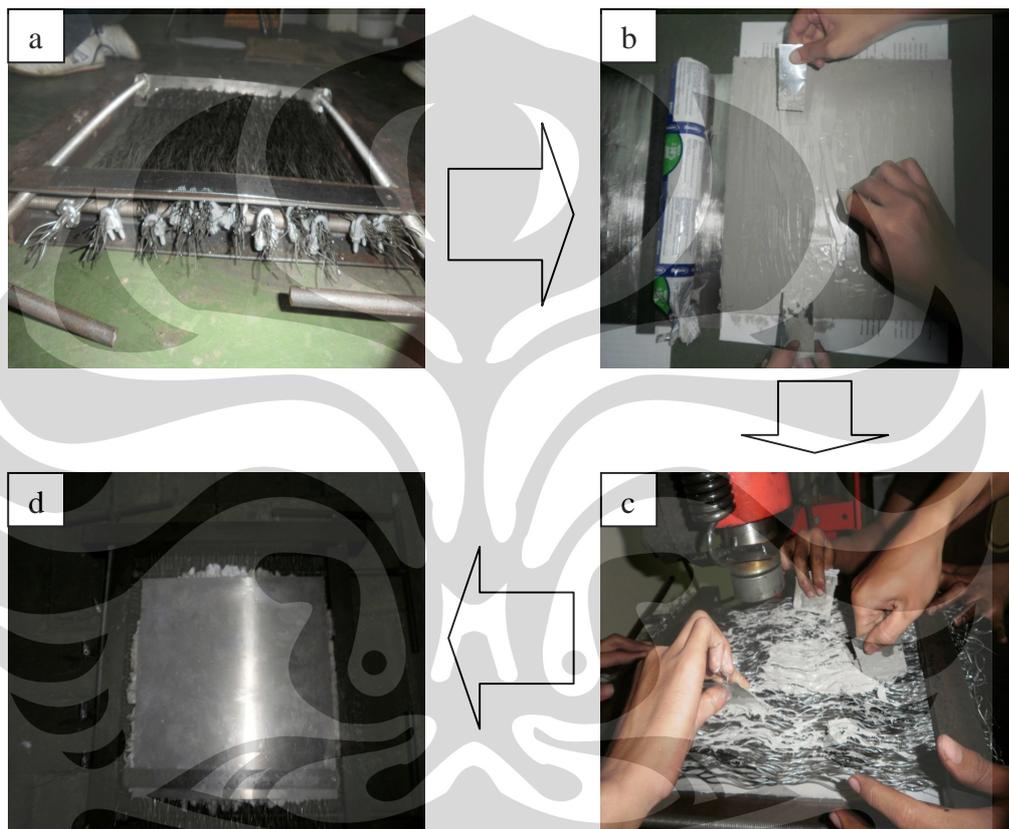


Gambar 3.11. Adhesif *polyurethane* Seal'N' Flex

### 3.3.4. Laminasi Komposit Aluminium

Proses laminasi diawali dengan penyusunan kawat pada alat bantu pelurus kawat. Kawat disusun pada lubang yang terdapat pada batang U, kemudian diikat pada bagian ujungnya dengan menggunakan *rivet* (Gambar 3.12a) sehingga menjadi satu sistem dengan alat bantu pelurus kawat. Komponen dari *rivet* yang digunakan seperti pada Gambar 3.13. Selanjutnya kawat diluruskan dengan mendorong batang U bergerak (*movable bar*) tempat disusunnya kawat menggunakan ulir pendorong hingga batas

maksimal, sehingga kawat lebih lurus dibandingkan dengan sebelumnya. Kemudian siapkan dua pelat aluminium dan dilapisi dengan adhesif PU sekitar 100 ml (Gambar 3.12b). Tahap selanjutnya adalah meletakkan salah satu pelat aluminium yang telah dilapisi adhesif pada alas, kemudian pada lapisan berikutnya diletakkan kawat baja yang telah diluruskan pada alat bantu. Setelah itu adhesif dioleskan pada bagian kawat baja sebanyak 100 ml (Gambar 3.12c) sebelum dilapisi kembali dengan pelat aluminium (Gambar 3.12d).

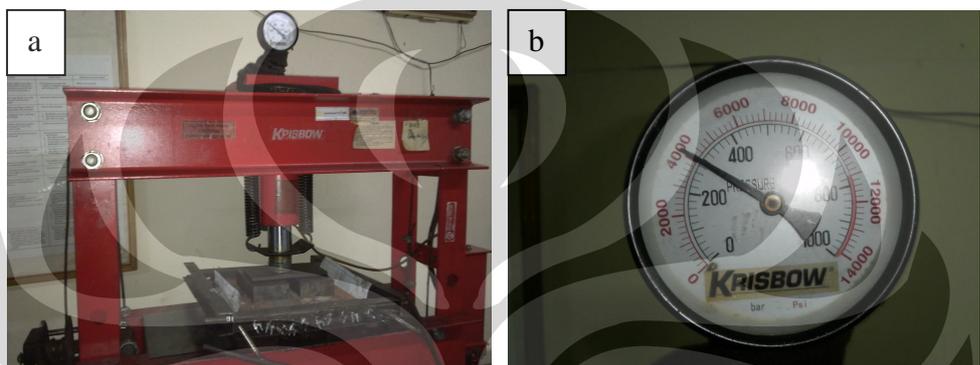


**Gambar 3.12.** Skema proses laminasi komposit aluminium, (a) pelurusan kawat, (b) pelapisan adhesif pada pelat aluminium, (c) pelapisan adhesif pada kawat dan (d) komposit laminat



**Gambar 3.13.** Rivet

Setelah proses laminasi dilakukan penekanan (*pressing*) pada sampel komposit aluminium yang dilaminasi menggunakan alat *pressing* merek Krisbow (Gambar 3.14a). Proses penekanan dilakukan menggunakan tekanan sekitar 300 bar (30 MPa), seperti ditunjukkan Gambar 3.14b, pada setiap sampel yang bertujuan untuk memadatkan lapisan adhesif yang ada didalam komposit aluminium saat proses *curing* dari polimer adhesif tersebut. Selain itu proses penekanan ini juga bertujuan untuk mendapatkan ketebalan minimal dari komposit aluminium. Proses penekanan ini dilakukan selama 12 jam.

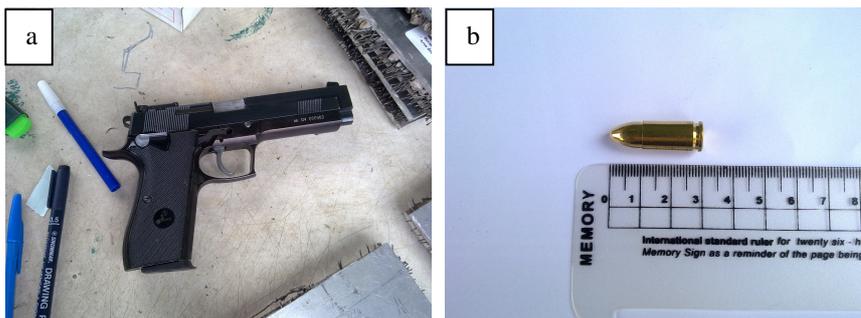


Gambar 3.14. Proses *pressing* (a) sampel yang di *press*, dan (b) tekanan yang digunakan 300 bar

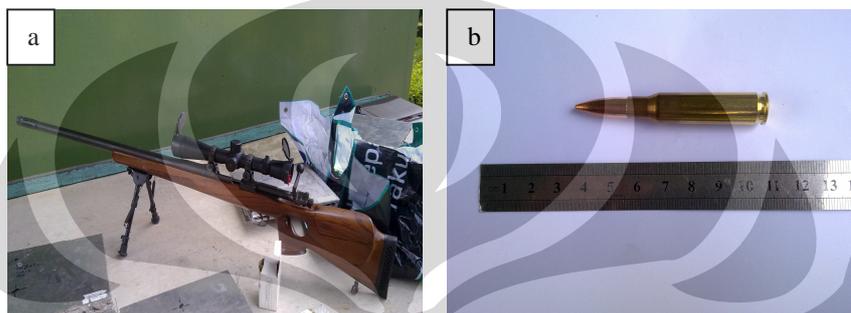
### 3.4. Prosedur Pengujian

#### 3.4.1. Pengujian Balistik

Pengujian balistik (uji tembak) dilakukan berdasarkan standar NIJ 0108.01 dengan dimensi sampel 30.5x30.5 cm (12x12 in) [6]. Tingkatan uji tembak disesuaikan dengan kemampuan komposit aluminium menahan penetrasi proyektil dengan kaliber tertentu, seperti yang ditunjukkan Tabel 2.1. Pengujian dimulai dari tipe II-A menggunakan pistol P2 (Gambar 3.15a) buatan PT. PINDAD dengan amunisi kaliber 9 mm (Gambar 3.15b). Kemudian pengujian dilanjutkan dengan tipe III menggunakan senapan laras panjang SPR-1 (Gambar 3.16a) dengan amunisi kaliber 7.62 mm (3.16b). Spesifikasi dari proyektil peluru lebih lengkap terdapat pada Tabel 3.4. Seluruh tahapan pengujian balistik dilakukan di lokasi uji tembak PT. PINDAD, Bandung.



**Gambar 3.15.** Pengujian balistik tipe II-A (a) pistol P2, dan (b) amunisi kaliber 9mm



**Gambar 3.16.** Pengujian balistik tipe III (a) senapan SPR-1, dan (b) amunisi kaliber 7.62 mm

Jarak pengujian balistik (uji tembak) juga diatur berdasarkan standar NIJ 0108.01. Untuk tipe II-A, sampel uji balistik diletakkan dengan jarak 5 meter dari ujung pistol P2. Sedangkan untuk tipe III, sampel uji balistik diletakkan pada jarak 15 meter dari ujung senapan SPR-1. Proses pengujian balistik yang dilakukan seperti pada Gambar 3.17.

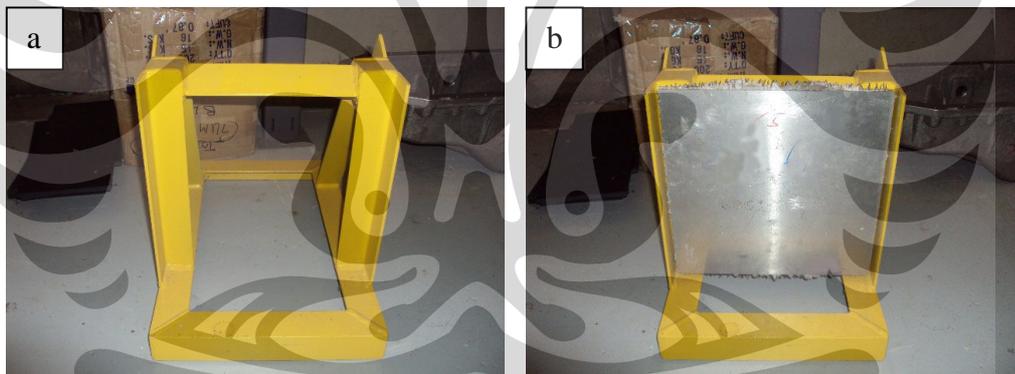


**Gambar 3.17.** Proses uji balistik tipe III

**Table 3.4.** Spesifikasi proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm yang digunakan pada pengujian balistik berdasarkan data PT Pindad [27][28]

Spesifikasi	Kaliber 9 mm	Kaliber 7.62 mm
Nama	9x19 mm NATO	7.62x51 mm NATO
Tipe	Ball, FMJ	Ball, FMJ
Kode Pindad	MU1-TJ	MU2-TJ
Diameter peluru	9.02	7.83
Panjang selongsong	19.10	51.18
Berat peluru	8.00 g	9.45 g
Kecepatan	$V_{12.5} = 380 \text{ m/s}^2$	$V_{10} = 837 \text{ m/s}^2$
Tekanan gas	2600 kg/cm <sup>2</sup> maks	3300 kg/cm <sup>2</sup> maks

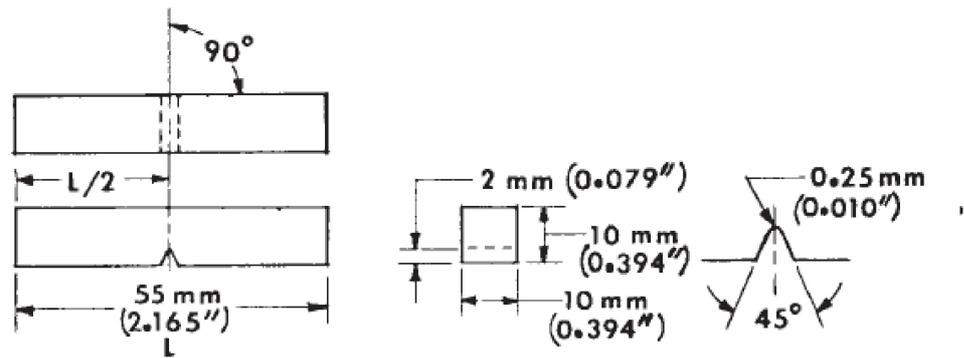
Pada saat pengujian sampel balistik diletakkan pada *frame* penyangga (Gambar 3.18a) agar membuat sampel tegak, sehingga proses pembidikan semakin mudah. Selain itu fungsi dari *frame* penyangga adalah mempertahankan posisi sampel uji balistik pada saat proyektil peluru menghantam sampel komposit aluminium. Posisi sampel uji balistik yang berada pada *frame* penyangga ditunjukkan pada Gambar 3.18b.



**Gambar 3.18.** *Frame* penyangga sampel uji balistik (a) tanpa sampel dan (b) dengan sampel

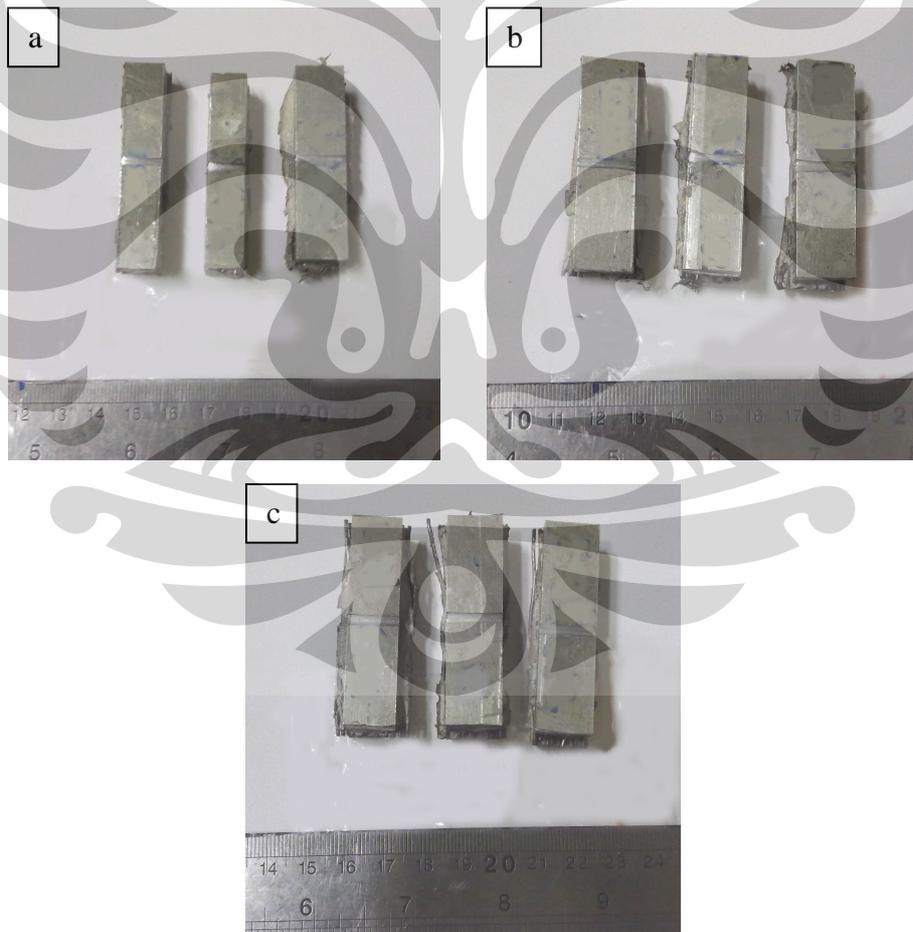
### 3.4.2. Pengujian Kekuatan Impak Komposit

Sampel pengujian impak dibuat dengan metode laminasi yang sama dengan sampel pengujian balistik. Standar dimensi sampel pengujian impak disesuaikan dengan standar pengujian impak material logam, menggunakan standar ASTM E23 [29]. Dimensi dari sampel pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 3.19. Sedangkan pengecualian untuk dimensi ketebalan sampel disesuaikan dengan ketebalan komposit aluminium yang dibuat.

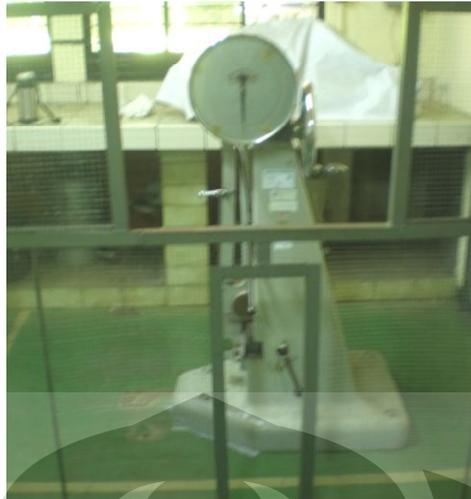


Gambar 3.19. Dimensi sampel pengujian impact [29]

Pengujian impact untuk setiap komposisi komposit aluminium diwakili dengan 3 sampel uji impact, seperti pada Gambar 3.20. Pengujian impact dilakukan menggunakan alat uji impact yang terdapat pada laboratorium metalurgi mekanik DMM FTUI (Gambar 3.21).



Gambar 3.20. Sampel uji impact (a) fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5% dan (c) 7.5%



**Gambar 3.21.** Alat uji impact

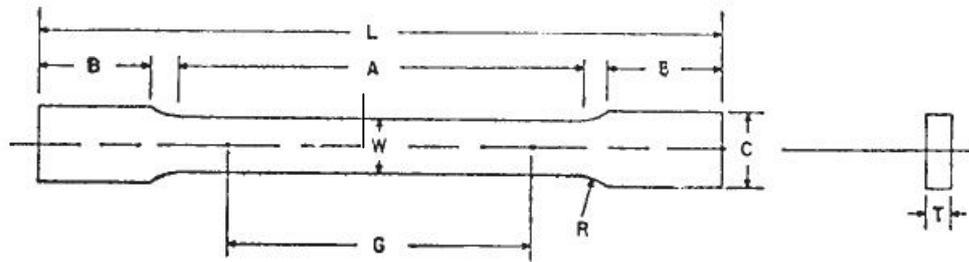
Pengujian diawali dengan pengukuran lebar pelat komposit aluminium serta tebal pelat yang berada dibawah takik. Perkalian tebal dan lebar daerah dibawah takik merupakan luas daerah dibawah takik ( $A$ ) yang dikenai beban impact. Kemudian sampel diletakkan pada tempat yang tersedia pada alat uji impact. Setelah sampel dikenai beban impact, akan didapatkan hasil dari pengujian impact berupa energi ( $E$ ) yang diserap oleh material. Kemudian untuk mengetahui kemampuan material untuk menyerap energi pada luasan tertentu yang disebut juga dengan harga impact ( $HI$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8.

$$HI = \frac{E}{A} \quad (3.8)$$

Energi yang diserap material ( $E$ ) memiliki satuan Joule, luas daerah dibawah takik ( $A$ ) memiliki satuan  $\text{mm}^2$ , sehingga nilai harga impact ( $HI$ ) memiliki satuan  $\text{Joule}/\text{mm}^2$ .

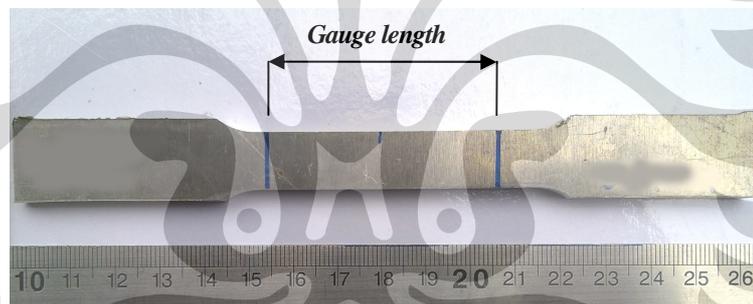
### 3.4.3. Pengujian Kekuatan Tarik dan Perhitungan Mikromekanik

Pengujian tarik dilakukan untuk setiap material penyusun komposit aluminium, yaitu pelat aluminium, kawat baja karbon tinggi dan adhesif *polyurethane*. Untuk pengujian tarik pelat aluminium, sampel dibuat dengan dimensi yang sesuai dengan standar ASTM E8 seperti ditunjukkan Gambar 3.22. Jumlah sampel yang disiapkan untuk pengujian tarik pelat aluminium adalah sebanyak 3 sampel. Gambar 3.23 menunjukkan sampel uji tarik dari pelat aluminium yang disiapkan untuk diuji.



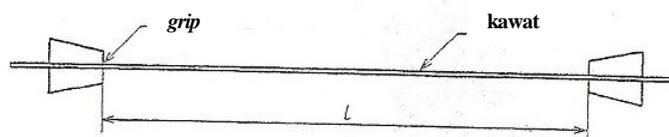
Nominal width	Dimensi, mm		
	Spesimen standar		Spesimen <i>subsize</i>
	Tipe pelat W=40 mm	Tipe lembaran W=12.5 mm	W=6mm
G	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T	Ketebalan material		
R	25	12.5	6
L	450	200	100
A	225	57	32
B	75	50	30
C	50	20	10

Gambar 3.22. Dimensi sampel pengujian tarik pelat aluminium [30]



Gambar 3.23. Sampel uji tarik AA5083-H112

Sedangkan untuk pengujian tarik kawat baja karbon tinggi diambil sampel sebanyak 5 sampel yang di persiapkan sesuai dengan standar JIS 3525. Skema uji seperti pada Gambar 3.24 dimana pemegang (*grip*) berada pada kedua ujung kawat dengan jarak diantara dua pemegang yang juga disebut *gauge length* ( $l_0$ ) 200 mm untuk diameter kawat 1 mm atau lebih [28].



Gambar 3.24. Skema pengujian tarik kawat [31]

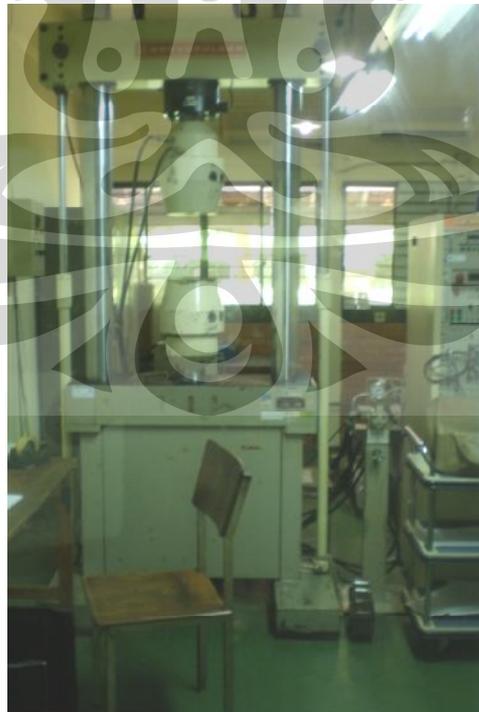
Pengujian tarik untuk kawat baja karbon tinggi dan pelat aluminium dilakukan di laboratorium metalurgi mekanik DMM FTUI. Uji tarik dilakukan menggunakan mesin Servopulser Shimadzu dengan kapasitas 20 ton (Gambar 3.25). Sebelum pengujian dilakukan pengukuran terhadap luas penampang ( $A_0$ ) dari sampel pengujian tarik. Untuk sampel uji tarik aluminium, luas penampang merupakan perkalian dari tebal dan lebar daerah pada daerah *gauge length* ( $G$ ), sedangkan untuk sampel uji tarik kawat baja karbon tinggi adalah luas lingkaran dengan diameter dari kawat tersebut. Hasil yang akan didapatkan adalah berdasarkan hasil uji tarik menggunakan Servopulser Shimadzu adalah data perubahan beban ( $F$ ) terhadap perpanjangan ( $\Delta l$ ). Kemudian data beban dan perpanjangan diubah menjadi data tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Tegangan diperoleh dari perhitungan pada persamaan 3.9.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3.9)$$

Sedangkan data regangan diperoleh menggunakan persamaan 3.10.

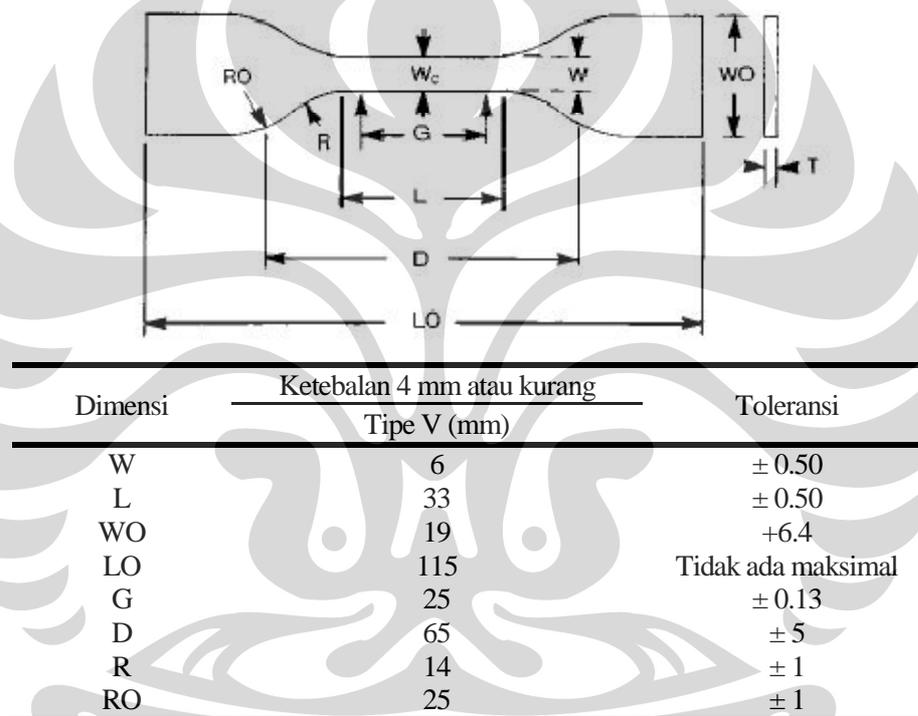
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3.10)$$

Konstanta  $l_0$  adalah panjang awal dari sampel pengujian tarik pada yang diharapkan terjadi kegagalan pada daerah tersebut, biasa disebut sebagai *gauge length*.



**Gambar 3.25.** Mesin uji tarik Servopulser Shimadzu

Dimensi sampel pengujian tarik polimer adhesif *polyurethane* yang disediakan sesuai dengan ASTM D638 seperti pada Gambar 3.26. Proses pembuatan sampel dimulai dengan membuat cetakan dari kayu sehingga membentuk kotak dengan ukuran 15x15 cm dan alas berupa pelat aluminium seperti pada Gambar 3.27a. Kemudian masukkan adhesif kedalam cetakan yang telah tersedia. Setelah itu ditekan menggunakan pelat aluminium dan diamankan sampai adhesif *curing* pada temperatur ruang. Setelah didapatkan lembaran adhesif *polyurethane* yang telah *curing* (Gambar 3.27b), dilakukan pembentukan sampel sesuai dengan dimensi yang ditentukan menggunakan alat pemotong berupa gunting/*cutter* dengan hasil seperti Gambar 3.27c.



Gambar 3.26. Dimensi sampel pengujian tarik polimer adhesif [32]



Gambar 3.27. Tahap pembuatan sampel pengujian tarik adhesif (a) pembuatan cetakan, (b) lembaran adhesif hasil cetakan dan (c) sampel pengujian tarik adhesif

#### 3.4.4. Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan pada sampel hasil pengujian balistik. Pengamatan dilakukan menggunakan kamera SLR dengan merek Canon (Gambar 3.28). Persiapan sampel dilakukan dengan memotong sampel uji balistik yang terdapat jejak penetrasi peluru menjadi pelat yang berdimensi sekitar 10x10 cm dimana jejak peluru berada pada bagian tengahnya (pusat) dengan menggunakan *cutting wheel* dan dialiri air (Gambar 3.29). Kemudian dilakukan pemotongan pada sampel yang terdapat jejak peluru menjadi dua bagian sehingga dapat diamati penampang dari penetrasi proyektil peluru.



**Gambar 3.28.** Kamera yang digunakan untuk foto struktur makro



**Gambar 3.29.** Pemotongan sampel komposit aluminium menggunakan *cutting wheel* untuk pengamatan struktur makro

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Desain dan Fabrikasi Komposit Aluminium

##### 4.1.1. Perhitungan Fraksi Volume Aktual

Pada subbab 3.3.1 telah dijelaskan tentang perhitungan fraksi volume dari komposit secara teoritis. Pada perhitungan tersebut, hanya melibatkan fraksi volume dari fasa matriks (pelat aluminium) dan fasa penguat (kawat baja karbon tinggi) tanpa memperhitungkan fraksi volume dari adhesif. Namun, untuk memprediksi densitas, massa komposit dan kekuatan komposit aluminium secara teoritis, fraksi volume adhesif perlu diperhitungkan.

Pada Tabel 3.1 telah diketahui volume matriks pelat aluminium ( $V_m$ ) dan volume penguat kawat baja karbon tinggi ( $V_f$ ). dengan penambahan volume adhesif *polyurethane* ( $V_a$ ) sebanyak 300 ml ( $300 \text{ cm}^3$ ), maka volume komposit ( $V_c$ ) berubah menjadi  $V'_c$ , dimana  $V'_c$  adalah volume teoritis komposit aluminium setelah penambahan adhesif akibat berubahnya volume komposit, maka fraksi volume pelat aluminium ( $v_m$ ) dan fraksi volume kawat baja karbon tinggi ( $v_f$ ) pada komposit aluminium juga akan mengalami perubahan. Perubahan fraksi volume matriks pelat aluminium dari  $v_m$  menjadi  $v'_m$ , yaitu fraksi volume aktual matriks aluminium dengan penambahan adhesif. Sedangkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi berubah dari  $v_f$  menjadi  $v'_f$ , yang merupakan fraksi volume kawat baja karbon tinggi aktual akibat penambahan adhesif. Untuk menghitung fraksi volume aktual dari matriks pelat aluminium digunakan persamaan 4.1.

$$v'_m = \frac{V_m}{V'_c} \quad (4.1)$$

Sedangkan, fraksi volume aktual dari penguat kawat baja karbon tinggi dapat dihitung menggunakan persamaan 4.2.

$$v'_f = \frac{V_f}{V'_c} \quad (4.2)$$

Konstituen penyusun komposit aluminium ketiga adalah adhesif. Fraksi volume dari adhesif dapat dihitung pula dengan persamaan 4.3.

$$v_a = \frac{V_a}{V'_c} \quad (4.3)$$

Fraksi volume aktual dari setiap konstituen penyusun komposit ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari Tabel 4.1 terlihat adanya perubahan fraksi volume dari kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium menjadi lebih rendah akibat adanya penambahan perhitungan volume dari adhesif *polyurethane*.

**Tabel 4.1.** Volume teoritis dan fraksi volume aktual konstituen penyusun komposit aluminium

% volume kawat awal	Volume teoritis (cm <sup>3</sup> )				Fraksi volume aktual (%)		
	aluminium	kawat baja	adhesif	komposit	aluminium	kawat baja	adhesif
2.5	1116.30	28.62	300.00	1444.92	77.26	1.98	20.76
5	1116.30	58.75	300.00	1475.05	75.68	3.98	20.34
7.5	1116.30	90.51	300.00	1506.81	74.08	6.01	19.91

Nilai dari volume komposit hasil perhitungan tersebut dapat dijadikan acuan sebagai pertimbangan kualitas pelat komposit aluminium yang dibuat. Untuk mengetahui volume komposit yang telah dibuat diperlukan data ketebalan dari setiap komposit aluminium. Berdasarkan sampel pengujian balistik komposit aluminium yang dibuat, ketebalan dari masing-masing komposit berdasarkan fraksi volume kawat baja yang terdapat didalamnya menunjukkan kecenderungan yang meningkat. Data dari ketebalan setiap komposit dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari data ketebalan komposit tersebut dapat dilakukan penghitungan volume aktual dari komposit aluminium, yaitu dengan perkalian antara luas pelat komposit (dimensi 30.5 x 30.5 cm) dan tebal pelat komposit aluminium. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Tebal dan volume aktual komposit aluminium

% volume kawat baja	Luas pelat komposit aluminium (cm <sup>2</sup> )	Tebal komposit aluminium (cm)	Volume komposit aluminium (cm <sup>3</sup> )
2.5		1.79	1665.15
5	930.25	2.10	1953.53
7.5		2.37	2204.69

Bila dibandingkan dengan volume teoritis dari komposit aluminium pada Tabel 4.1, volume aktual dari komposit aluminium memiliki nilai yang lebih besar. Hal

tersebut menimbulkan dugaan bahwa adanya rongga (*void*) didalam komposit aluminium, rongga tersebut dimungkinkan disebabkan oleh udara yang terperangkap dalam komposit aluminium khususnya pada bagian adhesif. Bila selisih dari volume aktual dan volume teoritis dari komposit aluminium diasumsikan sebagai volume dari *void*, untuk mengetahui besarnya *void* yang terdapat didalam komposit aluminium dapat di ketahui menggunakan persamaan 4.4. Volume dari *void* dan % *void* yang terdapat pada setiap komposit aluminium terdapat pada Tabel 4.4.

$$\% \text{ void} = \frac{\text{volume void}}{\text{volume komposit aktual}} \times 100\% \quad (4.4)$$

Tabel 4.3. Volume dan % *void* pada komposit aluminium

% volume kawat baja	Volume <i>void</i> (cm <sup>3</sup> )	% <i>void</i>
2.5	220.23	13.23
5	478.48	24.49
7.5	697.88	31.65

Berdasarkan Tabel 4.4, komposit aluminium yang memiliki % *void* paling besar adalah komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 7.5% dan yang terendah adalah komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%. *Void* memang rentan terjadi pada komposit laminat yang menggunakan adhesif. Hal ini dikarenakan beberapa jenis adhesif memiliki sifat menyerap kelembaban udara (*absorbed moisture*) sehingga *void* mudah sekali terjadi [22]. Berdasarkan pernyataan tersebut juga menguatkan dugaan terjadinya *void* pada adhesif *polyurethane* yang digunakan pada penelitian ini.

Sebenarnya untuk menanggulangi terdapatnya udara pada komposit aluminium telah diperhitungkan sebelumnya sehingga pada proses laminasi dilakukan *pressing* (penekanan). Dalam pembuatan komposit aluminium pada tahap penekanan dilakukan selama 12 jam dibawah tekanan sebesar 300 bar (30 MPa). Proses penekanan diharapkan dapat memadatkan komposit aluminium, terutama pada bagian adhesif pada saat proses *curing*. Setelah proses penekanan diharapkan tidak ada udara yang terperangkap dalam komposit aluminium. Pada beberapa sampel komposit aluminium, ada sebagian adhesif yang keluar dari bagian tepi pelat komposit aluminium saat dilakukan penekanan.

Namun, pada kenyataan yang terjadi setelah tekanan diturunkan, ketebalan dari komposit aluminium meningkat dibandingkan saat dilakukan penekanan. Hal tersebut diprediksi akibat adhesif yang digunakan adalah jenis elastomer, sehingga saat penekanan dihentikan adhesif kembali pada keadaan elastisnya. Selain itu, mungkin masih terdapat udara yang terperangkap dalam komposit aluminium.

Selain volume, hasil perhitungan lainnya yang dapat diketahui melalui fraksi volume konstituen penyusun komposit aluminium adalah pengukuran massa dari komposit aluminium. Massa secara teoritis dapat diketahui setelah didapatkan densitas dari pelat komposit aluminium yang dihitung menggunakan hukum pencampuran (*rule of mixture*) seperti yang ditunjukkan persamaan 4.5.

$$\rho_c = \rho_m v_m + \rho_f v_f + \rho_a v_a \quad (4.5)$$

Berdasarkan literatur dan data dari penyalur (*supplier*), diketahui densitas dari pelat aluminium (AA5083) adalah  $2.66 \text{ g/cm}^3$ , kawat baja  $7.81 \text{ g/cm}^3$  dan adhesif  $1.23 \text{ g/cm}^3$ . Dengan menggunakan data densitas dari setiap konstituen penyusun komposit aluminium dan dihitung menggunakan persamaan 4.5, didapatkan densitas komposit seperti yang ditunjukkan Tabel 4.4. Setelah diketahui densitas dari komposit aluminium, kemudian didapatkan massa komposit dari hasil perkalian densitas komposit ( $\rho_c$ ) dengan volume komposit teoritis ( $V_c$ ) dan volume komposit sebenarnya ( $V'_c$ ).

**Table 4.4.** Perbandingan massa teoritis komposit aluminium hasil perhitungan dan massa hasil penimbangan

% volume kawat baja	Densitas komposit ( $\text{g/cm}^3$ )	Massa teoritis komposit (gram)	Massa komposit sebenarnya (gram)
2.5	2.47	3561.90	3600.00
5	2.57	3796.90	3950.00
7.5	2.68	4045.50	4150.00

Pada Tabel 4.4 ditunjukkan hasil perhitungan massa teoritis, kemudian dibandingkan dengan pengukuran massa komposit aluminium sebenarnya menggunakan timbangan. Berdasarkan data pada Tabel 4.4, juga terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang terlalu besar antara massa komposit teoritis dan massa komposit sebenarnya. Perbedaan massa hanya berkisar antara 39.1 gram sampai 153.1 gram. Hal tersebut menunjukkan akurasi komposisi dari material penyusun komposit aluminium sudah tepat.

#### 4.1.2. Analisa Kelurusan Kawat

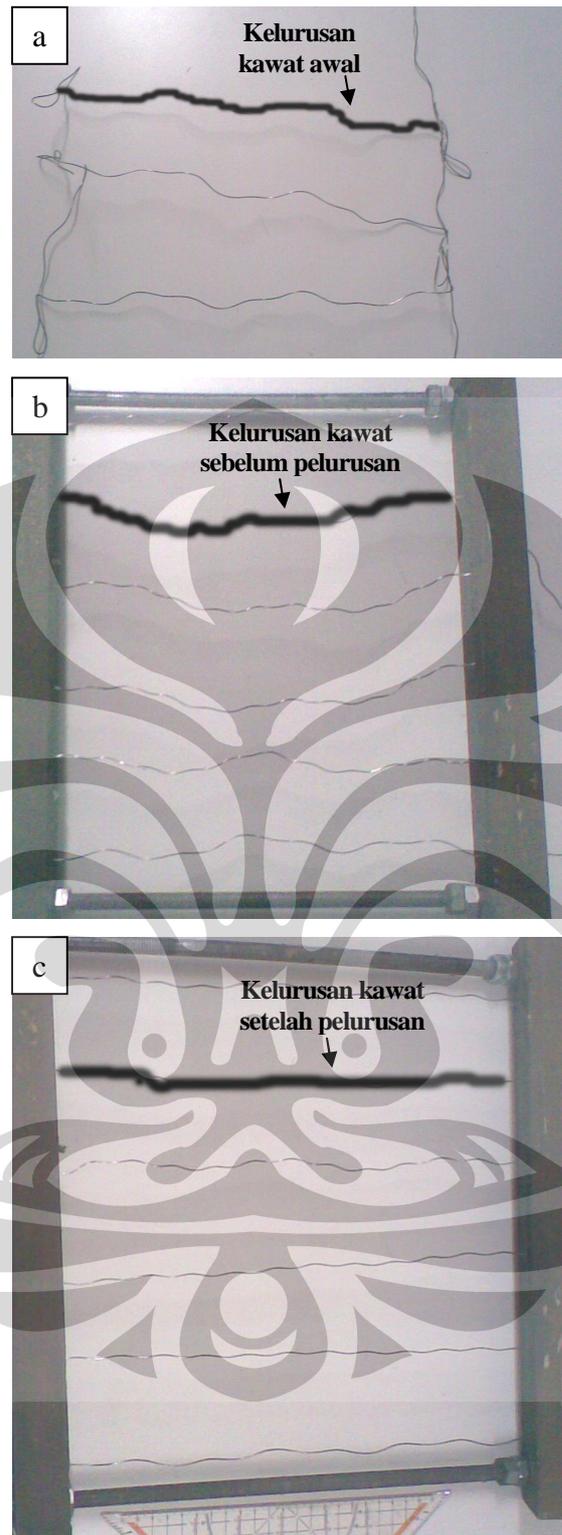
Kawat baja karbon tinggi yang digunakan berasal dari *wire rope* yang dilepas sehingga didapatkan kawat dengan bentuk yang bergelombang (tidak lurus). Oleh sebab itu diperlukan adanya alat bantu pelurus kawat yang dijelaskan pada subbab 3.3.2 yang berfungsi untuk meluruskan kawat agar saat proses laminasi kawat baja yang digunakan lurus dan lebih tegang, seperti pada Gambar 4.1.

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa alat batu pelurus kawat yang dibuat tidak dapat membuat kawat baja karbon tinggi lurus dengan sempurna. Saat proses pendorongan batang besi U tempat disusunnya kawat dengan batang ulir pendorong, kelurusan maksimal hanya dapat dicapai sampai tingkat kelurusan seperti pada Gambar 4.1. Saat pendorongan lebih lanjut, kawat yang disusun pada batang besi U tidak mengalami pelurusan lebih lanjut, tetapi batang berulir yang mendorong batang besi U mengalami *bending* (bengkok).



**Gambar 4.1.** Kawat baja yang diluruskan pada alat bantu pelurus kawat

Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan simulasi untuk mengetahui tingkat kelurusan kawat yang dapat dicapai menggunakan alat bantu pelurus kawat. Simulasi diawali persiapan kawat baja, dan penandaan batas penguncian kawat (Gambar 4.2a). Kemudian dilakukan pengukuran terhadap panjang sebenarnya menggunakan bantuan tali dengan mengikuti kontur dari permukaan kawat sehingga didapat panjang kawat sebenarnya. Langkah selanjutnya adalah memasang kawat baja pada alat bantu dan mengukur jarak antar batang U sebelum dilakukan pelurusan (Gambar 4.2b). Setelah itu dilakukan pelurusan terhadap kawat sampai tingkat kelurusan yang maksimum dan diukur kembali jarak antara kedua batang U setelah kawat diluruskan (Gambar 4.2c).



Ket : skala ketiga gambar sama

**Gambar 4.2.** Simulasi pengukuran tingkat kelurusan kawat, (a) mengukur panjang kawat sebelum di luruskan, (b) pengukuran panjang kawat setelah diluruskan, dan (c) pengukuran panjang kawat sebenarnya menggunakan tali

Dari simulasi yang dijelaskan pada Gambar 4.2, didapatkan data seperti pada Tabel 4.5. Hasil simulasi menunjukkan panjang kawat sebenarnya adalah 33.4 cm, jarak antara dua batang U tempat penyusunan kawat sebelum diluruskan adalah 27 cm dan jarak antara dua batang U maksimum setelah diluruskan adalah 31.5 cm. Kemudian dapat ditentukan tingkat kelurusan kawat saat sebelum dilakukan pelurusan dan tingkat kelurusan kawat setelah dilakukan pelurusan menggunakan persamaan 4.6.

$$\% \text{ kelurusan kawat} = \frac{\text{jarak antara dua batang U}}{\text{panjang kawat sebenarnya}} \times 100\% \quad (4.6)$$

**Tabel 4.5.** Hasil simulasi tingkat kelurusan kawat

Panjang kawat sebenarnya (cm)	Sebelum pelurusan		Setelah pelurusan	
	Jarak antar batang U (cm)	% kelurusan	Jarak antar batang U (cm)	% kelurusan
33.4	27.0	80.84	31.5	94.31

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa penggunaan alat bantu pelurus kawat dapat meningkatkan kelurusan kawat baja dari 80.84% menjadi 94.31%, atau terjadi kenaikan sebesar 13.47%. Nilai 80.84% menunjukkan perbandingan jarak awal antara dua batang U yang terdapat kawat diantaranya dengan panjang kawat keseluruhan. Kemudian setelah kawat diluruskan sampai tingkat kelurusan perbandingan jarak antara dua batang U dengan panjang kawat seluruhnya menjadi 94.31%. Nilai 94.31% tersebut juga menunjukkan tingkat kelurusan kawat maksimal yang dapat dicapai dengan penggunaan alat bantu pelurus kawat. Tingkat kelurusan yang semakin tinggi akan membuat kawat baja semakin tegang sehingga diharapkan akan dapat menyerap beban impak balistik lebih baik dibandingkan dengan ketegangan kawat yang lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan bila kawat baja semakin tegang, maka kawat baja tersebut akan semakin kokoh dan stabil pada posisinya saat pelat komposit aluminium ditembus oleh proyektil peluru, sehingga energi peluru dapat diserap oleh kawat dengan memutuskan kawat baja karbon tinggi tersebut. Sebaliknya, bila ketegangan dari kawat baja rendah, maka saat proyektil peluru berpenetrasi sampai ke bagian kawat baja ada kemungkinan kawat baja akan mengalami pergeseran sehingga tidak dapat menghalangi pergerakan dari penetrasi proyektil peluru.

Selain itu, dengan tingkat kelurusan yang semakin tinggi diharapkan persebaran dari kawat baja karbon tinggi akan semakin merata. Pada tingkat kelurusan kawat yang rendah mungkin terjadi ketidak-seragaman dari persebaran kawat baja karbon tinggi sehingga akan terdapat daerah yang tidak terisi dengan kawat baja karbon tinggi. Bila ada daerah-daerah pada komposit aluminium yang tidak terisi dengan kawat baja karbon tinggi, maka daerah tersebut akan menjadi titik lemah dari komposit aluminium.

#### 4.2. Perhitungan Teoritis Sifat Mekanik Komposit Aluminium Dengan Metode Mikromekanik

Pada proses desain suatu material, terutama komposit, hal yang harus diperhatikan adalah sifat mekanik dari material yang dibuat. Untuk mengetahui sifat mekanik dari material komposit laminat diperlukan suatu pengujian, seperti pengujian tarik. Namun pada sampel komposit aluminium yang telah dibuat tidak dapat dilakukan proses pengujian tarik. Hal tersebut dikarenakan pada beberapa percobaan pengujian tarik komposit aluminium tidak didapatkan hasil yang menggambarkan sifat komposit secara keseluruhan karena terjadi pergeseran kawat baja karbon tinggi pada adhesif. Oleh karena itu diperlukan suatu metode lain untuk memprediksi sifat mekanik dari komposit aluminium tersebut, salah satu metode yang digunakan adalah perhitungan mikromekanik [22].

Pada penelitian ini, sifat mekanik yang akan didapatkan adalah modulus elastisitas ( $E$ ) dari komposit aluminium pada arah longitudinal (searah serat) dan juga arah transversal (tegak lurus arah serat). Untuk mendapatkan modulus elastisitas komposit, diperlukan modulus elastisitas dari material konstituen penyusun komposit. Oleh karena itu terlebih dahulu dilakukan pengujian tarik pada setiap material konstituen penyusun komposit dengan hasil seperti pada Tabel 4.6. Untuk pengujian tarik yang dilakukan, setiap material konstituen penyusun komposit disediakan 3 sampel dengan ukuran sampel dan proses pengujian dilakukan seperti telah dijelaskan pada subbab 3.4.3. Dari pengujian tarik tersebut didapatkan hasil berupa kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile stress*) dan tegangan ( $\sigma$ ) serta regangan ( $\epsilon$ ) maksimum pada daerah elastis. Data tegangan serta regangan maksimum pada daerah elastis digunakan untuk mencari modulus elastisitas menggunakan hukum Hooke's, seperti pada persamaan 4.7.

$$\sigma = E\epsilon \quad (4.7)$$

**Tabel 4.6.** Hasil pengujian tarik konstituen penyusun komposit

Material	Nomor sampel	Tegangan maksimum/UTS (MPa)	Tegangan maksimum daerah elastis (MPa)	Regangan maksimum daerah elastis	Modulus elastisitas (GPa)	Modulus elastisitas rata-rata (GPa)
AA5083	1	335.90	215.88	0.005	43.18	
	2	320.08	184.41	0.004	46.10	43.82
	3	329.70	210.90	0.005	42.18	
Kawat baja karbon tinggi	1	1610.45	1098.60	0.011	97.65	
	2	1754.01	1036.18	0.009	118.42	112.17
	3	1572.99	1023.69	0.009	120.43	
Adhesif polyurethane	1	0.69	-	-	0.00028	
	2	0.52	-	-	0.00019	0.00027
	3	0.67	-	-	0.00034	

Ket : data tegangan dan regangan maksimum adhesif pada daerah linear tidak tersedia karena modulus elastisitas langsung diperlihatkan dalam bentuk laporan

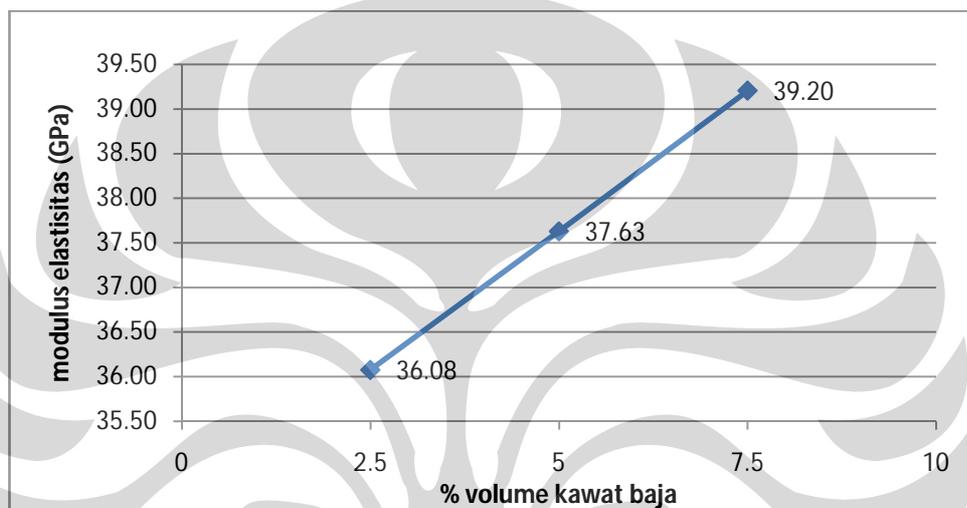
Dari Tabel 4.6 diketahui bahwa modulus elastisitas dari AA5083-H112 adalah sekitar 43.8 GPa, modulus elastisitas kawat baja karbon tinggi sekitar 112.2 GPa dan modulus elastisitas adhesif 0.27 MPa. Untuk perhitungan modulus elastisitas pada arah longitudinal ( $E_1$ ) digunakan persamaan 2.15, sedangkan untuk perhitungan modulus elastisitas pada arah transversal ( $E_2$ ) digunakan persamaan 2.17. Tabel 4.7 menunjukkan modulus elastisitas pada arah longitudinal dan modulus elastis pada arah transversal dari komposit aluminium berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi.

**Tabel 4.7.** Modulus elastisitas teoritis komposit aluminium berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi

% vol kawat awal	AA5083		Kawat baja		Adhesif		$E_1$ (GPa)	$E_2$ (GPa)
	% vol	E (GPa)	% vol	E (GPa)	% vol	E (GPa)		
2.5	77.26		1.98		20.76		36.08	0.00130
5	75.68	43.82	3.98	112.17	20.34	0.00027	37.63	0.00133
7.5	74.08		6.01		19.91		39.20	0.00136

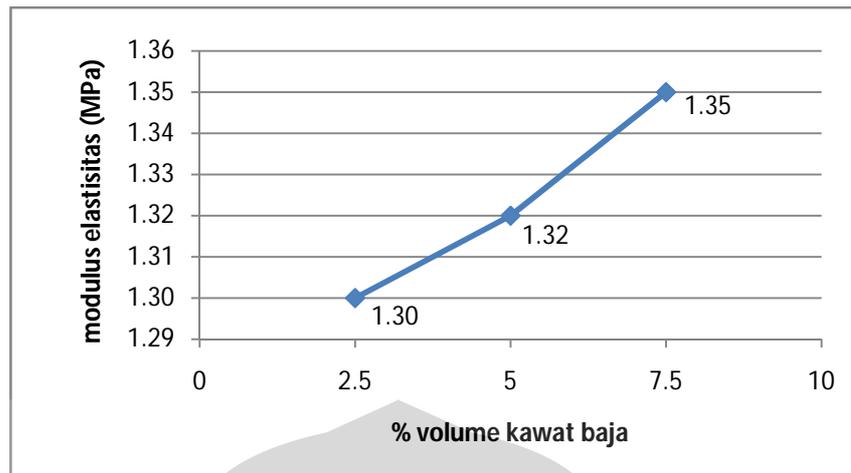
Berdasarkan data pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa modulus elastisitas komposit aluminium pada arah longitudinal (searah serat) lebih besar dibandingkan arah transversal atau tegak lurus serat ( $E_1 \gg E_2$ ) sehingga rasio antara modulus elastisitas arah

longitudinal dan arah transversal ( $E_1/E_2$ ) lebih besar dari 1. Dengan rasio tersebut tersebut menunjukkan bahwa komposit bersifat *anisotropy* [33]. Material *anisotropy* memiliki keunggulan pada sifat mekanik yang sangat tinggi pada satu arah (dalam komposit aluminium adalah searah serat) yang diharapkan dapat mengkompensasi sifat mekanik pada arah material yang lainnya. Dari data tersebut juga menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya fraksi volume kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium maka modulus elastisitas dari komposit aluminium juga akan meningkat, baik pada arah longitudinal (Gambar 4.3) maupun pada arah transversal (Gambar 4.4).



**Gambar 4.3.** Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap modulus elastisitas arah longitudinal dari komposit aluminium

Dari grafik pada Gambar 4.3 ditunjukkan, komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5% memiliki modulus elastisitas longitudinal sekitar 36.08 GPa, kemudian komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 5% memiliki modulus elastisitas longitudinal sekitar 37.63 GPa dan komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 7.5% memiliki modulus elastisitas longitudinal sekitar 39.20 GPa. Data ini menunjukkan kecenderungan meningkatnya modulus elastisitas longitudinal dengan semakin banyaknya kawat baja karbon tinggi yang terdapat pada komposit aluminium.



**Gambar 4.4.** Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap modulus elastisitas arah transversal dari komposit aluminium

Kemudian berdasarkan grafik pada Gambar 4.4 ditunjukkan bahwa modulus elastisitas transversal komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5% bernilai 1.30 MPa, kemudian komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 5% memiliki modulus elastisitas transversal sekitar 1.32 MPa dan komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 7.5% memiliki modulus elastisitas transversal sekitar 1.35 MPa. Kecenderungan dari modulus elastisitas transversal sama dengan kecenderungan modulus elastisitas longitudinal yaitu dengan semakin banyaknya kawat baja karbon tinggi yang terdapat pada komposit aluminium, maka modulus elastisitas transversal juga akan meningkat, walaupun nilai yang ditunjukkan lebih kecil dibandingkan modulus elastisitas pada arah longitudinal.

Data ini menggambarkan bahwa semakin besar jumlah kawat yang terdapat pada komposit aluminium, maka energi yang dapat diserap oleh komposit aluminium akan semakin besar pada daerah elastis. Hal tersebut karena kawat baja karbon tinggi memiliki modulus elastisitas yang tinggi, sekitar 112.2 GPa, sehingga dengan semakin meningkatnya fraksi volume kawat baja karbon tinggi akan meningkatkan pengaruhnya pada perhitungan hukum pencampuran modulus elastisitas. Namun, modulus elastisitas hanya dapat memberikan informasi tentang sifat mekanik dari komposit aluminium pada daerah elastis saja, untuk mengetahui ketangguhan material untuk menyerap energi sampai mengalami kegagalan dapat diukur melalui pengujian impak [4].

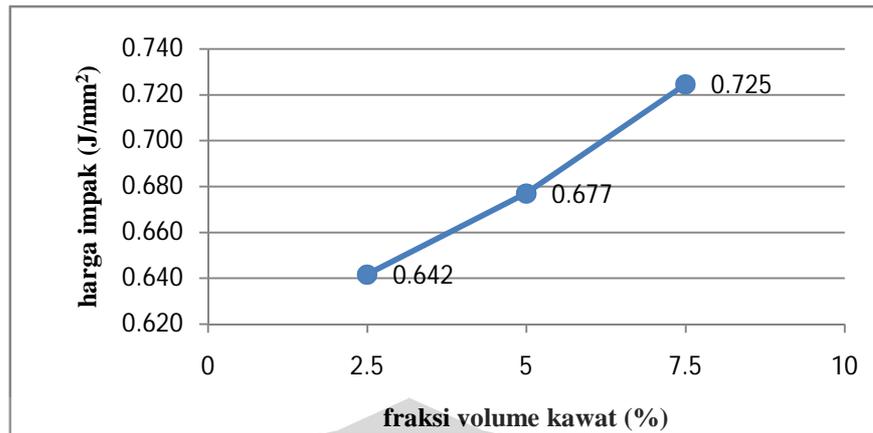
### 4.3. Pengaruh Fraksi Volume Kawat Baja Karbon Tinggi Terhadap Kekuatan Impak Komposit Aluminium

Pengujian balistik adalah pengujian yang memiliki kecepatan pembebanan yang sangat tinggi. Salah satu pengujian yang dapat menggambarkan kemampuan material untuk menahan kecepatan pembebanan yang tinggi tersebut adalah pengujian impak [34]. Pengujian impak yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan metode impak Charpy dengan takik berbentuk huruf V. Pengujian kekuatan impak dilakukan pada setiap komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja yang berbeda, yaitu 2.5%, 5% dan 7.5%. Setiap fraksi volume kawat baja yang berbeda dilakukan pengujian pada 3 sampel dan hasil pengujian impak tersebut dapat terlihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8.** Harga impak dari komposit aluminium berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi

% volume kawat	Kode sampel	Dimensi		energi diserap (joule)	HI ( $J/mm^2$ )	HI rata-rata ( $J/mm^2$ )
		lebar (mm)	tebal (mm)			
2.5	A	10.20	12.66	84	0.650	0.642
	B	14.68	13.26	90	0.462	
	C	10.26	12.00	100	0.812	
5	D	13.60	12.42	102	0.604	0.677
	E	14.18	12.92	130	0.710	
	F	14.20	12.56	128	0.718	
7.5	G	13.42	12.30	108	0.654	0.725
	H	12.72	12.02	118	0.771	
	I	14.10	12.90	136	0.748	

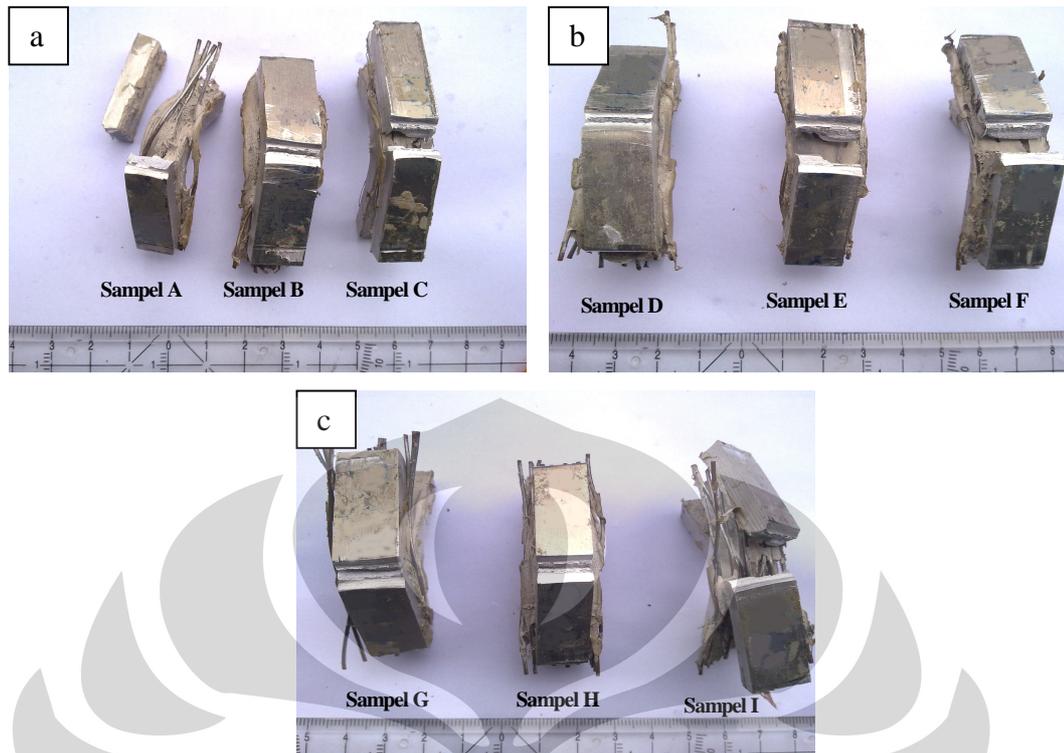
Hasil akhir dari pengujian impak disajikan berupa perbandingan harga impak (HI), menggunakan persamaan 3.8, berdasarkan fraksi volume kawat baja karbon tinggi dari setiap komposit aluminium, seperti pada Gambar 4.5. Harga impak menunjukkan jumlah energi yang dapat diserap komposit aluminium pada setiap satuan luas.



**Gambar 4.5.** Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap harga impact

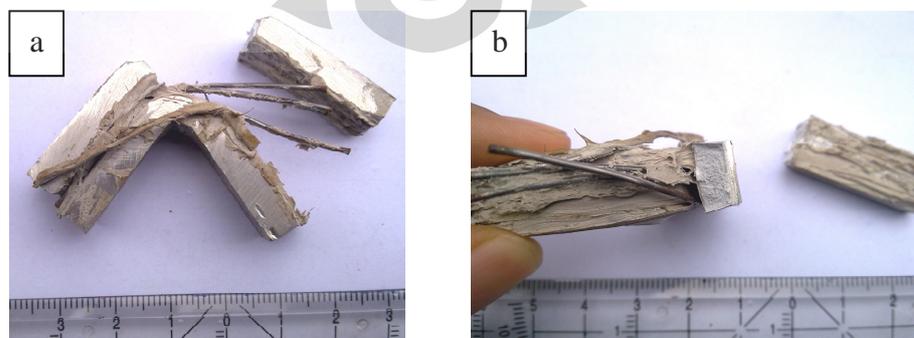
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5, didapatkan data untuk komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 2.5% memiliki harga impact 0.642 Joule/mm<sup>2</sup>, fraksi volume kawat 5% memiliki harga impact 0.677 Joule/mm<sup>2</sup> dan fraksi volume kawat baja 7.5% dengan harga impact 0.725 Joule/mm<sup>2</sup>. Data tersebut memperlihatkan dengan semakin besar jumlah kawat baja karbon tinggi, maka energi yang dapat diserap oleh komposit aluminium akan semakin besar sebelum mengalami kegagalan. Hal tersebut sesuai dengan data modulus elastisitas yang ditunjukkan pada subbab sebelumnya.

Selain data berupa harga impact, pengujian impact juga memperlihatkan bentuk perpatahan dari komposit aluminium. Gambar 4.6 menunjukkan bentuk perpatahan dari komposit aluminium yang mengalami pembebanan impact. Pada sebagian besar sampel terjadi perpatahan secara menyeluruh pada bagian pelat aluminium yang bertakik. Namun ada beberapa sampel dengan pelat aluminium yang bertakik tidak patah seluruhnya (sampel B, D dan G) dan rata-rata memiliki harga impact yang rendah.



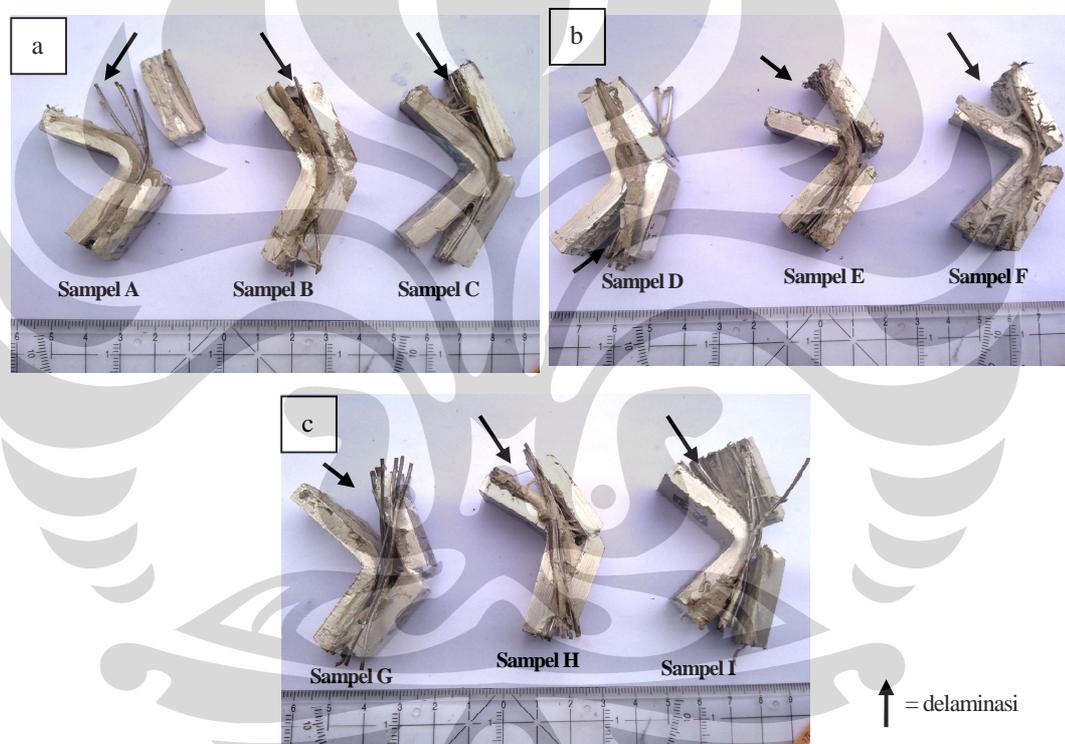
**Gambar 4.6.** Sampel setelah pengujian impact (a) fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5%, dan (c) 7.5%

Dari Gambar 4.6 juga terlihat, lapisan pelat aluminium dari beberapa sampel pengujian impact yang terlepas dari komposit aluminium, yaitu sampel A dan I. Pengamatan lebih lanjut pada sampel A ditunjukkan pada gambar Gambar 4.7a dimana pengujian impact menyebabkan lapisan pelat aluminiumnya terlepas dari komposit. Bila dilihat pada bagian dalam sampel A komposit aluminium tersebut, Gambar 4.7b, terlihat dengan jelas bila adhesif *polyurethane* tidak membuat ikatan (*adhesive bonding*) yang sempurna dengan kawat baja karbon tinggi dan pelat aluminium. Adhesif melekat pada pelat aluminium, namun tidak dapat melekat dengan baik pada dengan kawat baja karbon tinggi.



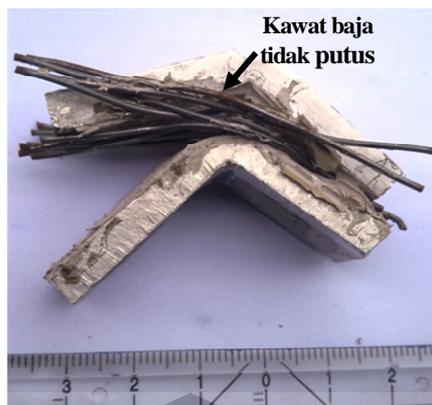
**Gambar 4.7.** Sampel komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 2.5% (sampel A) yang menunjukkan ikatan adhesif yang tidak sempurna, (a) tampak samping dan (b) penampang lapisan adhesif

Bila dilihat dari penampang samping pada sampel komposit aluminium hasil pengujian impact, Gambar 4.8, menunjukkan adanya delaminasi antara lapisan pelat aluminium dan kawat baja karbon tinggi. Hal tersebut terjadi pada seluruh sampel hasil pengujian impact, baik pada komposit aluminium yang memiliki fraksi volume kawat baja 2.5%, 5% dan 7.5%. Proses delaminasi tersebut dapat terjadi akibat adanya kekuatan geser interlaminat (antara tiap lapisan komposit) yang rendah, sehingga energi yang diterima oleh komposit terlebih dahulu digunakan untuk memutuskan ikatan antar laminat [22]. Hal ini sangat mempengaruhi ketangguhan dari material komposit aluminium karena penyerapan energi yang terjadi menjadi kurang maksimal akibat energi yang diterima tidak dapat disalurkan dengan sempurna pada fasa penguat.



**Gambar 4.8.** Sampel hasil pengujian impact tampak samping menunjukkan adanya delaminasi  
(a) fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5%, dan (c) 7.5%

Pernyataan tersebut didukung pada Gambar 4.9 dimana kawat baja karbon tinggi, sebagai fasa penguat, tidak putus saat komposit aluminium menerima beban impact. Dengan fasa penguat yang tidak putus, menunjukkan energi tidak tersalurkan hingga fasa penguat tidak maksimal dan energi yang dapat diserap komposit aluminium juga tidak maksimal. Namun, dari gambar tersebut terlihat energi yang diserap cukup besar untuk membuat deformasi plastis terjadi pada kawat baja karbon tinggi



**Gambar 4.9.** Kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium sampel G tidak patah setelah dilakukan pengujian dampak

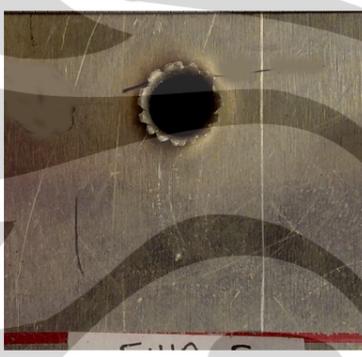
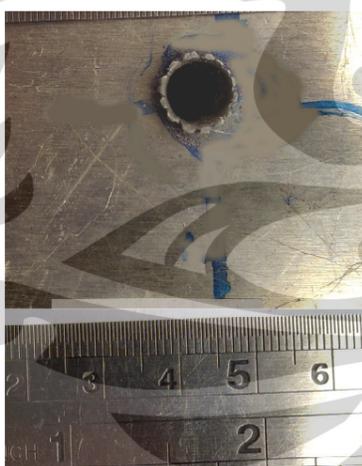
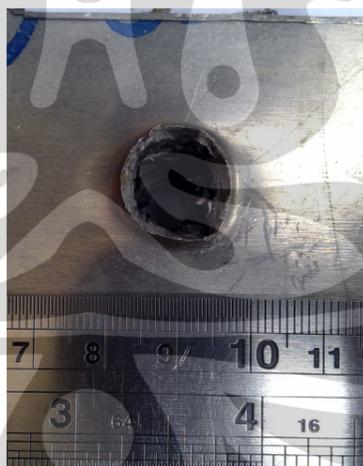
#### 4.4. Karakteristik Balistik Komposit Aluminium

##### 4.4.1. Dimensi Perforasi

Untuk mengetahui kemampuan balistik dari pelat komposit aluminium dilakukan uji tembak sesuai dengan standar NIJ 0108.01 yang dijelaskan pada subbab 3.4.1. Berdasarkan hasil pengujian, material komposit aluminium dapat menahan penetrasi dari proyektil peluru kaliber 9 mm dengan baik pada seluruh fraksi volume. Penetrasi proyektil peluru kaliber 9 mm hanya meninggalkan jejak berbentuk lingkaran pada permukaan komposit aluminium, atau terjadi penetrasi sebagian (*partial penetration*). Sedangkan penetrasi dari proyektil peluru kaliber 7.62 mm tidak dapat ditahan oleh pelat komposit aluminium pada seluruh fraksi volume kawat baja, atau terjadi penetrasi menyeluruh (*complete penetration*). Bentuk dari perforasi dari setiap komposit aluminium ditunjukkan oleh gambar pada Tabel 4.9.

Salah satu parameter yang digunakan untuk melihat kemampuan balistik akibat uji tembak adalah dimensi dari jejak yang ditinggalkan oleh proyektil peluru pada material yang dilaluinya. Untuk penetrasi dari peluru kaliber 9 mm, dimensi yang diukur adalah diameter terluar dari jejak peluru pada pelat komposit aluminium. Sedangkan untuk penetrasi peluru kaliber 7.62 mm dimensi yang diukur adalah diameter perforasi (lubang) yang diakibatkan oleh peluru. Diameter perforasi pada pelat komposit aluminium yang ditembus peluru kaliber 7.62 mm dibagi menjadi dua bagian, yaitu diameter perforasi pada pelat muka komposit aluminium (saat peluru masuk) dan diameter perforasi pada pelat belakang (saat peluru keluar). Data diameter dari jejak peluru pada setiap komposit aluminium ditunjukkan pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.9.** Bentuk perforasi pada pelat komposit aluminium dengan variasi komposisi kawat baja karbon tinggi 2.5%, 5% dan 7.5%, akibat proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm

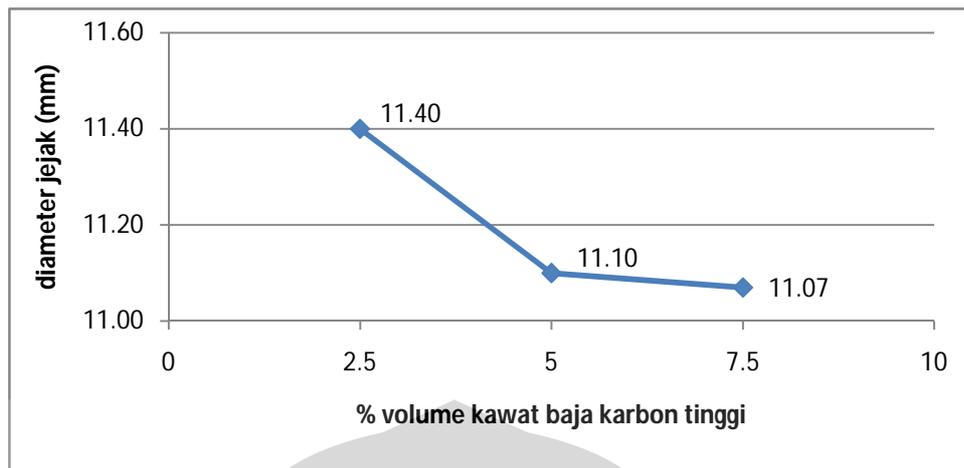
% volume kawat baja	Gambar perforasi			Keterangan
	Kaliber 9 mm	Kaliber 7.62 mm bagian depan	Kaliber 7.62 mm bagian belakang	
2.5				Penetrasi sebagian pada peluru kaliber 9 mm dan penetrasi seluruhnya pada peluru kaliber 7.62 mm
5				Penetrasi sebagian pada peluru kaliber 9 mm dan penetrasi seluruhnya pada peluru kaliber 7.62 mm
7.5				Penetrasi sebagian pada peluru kaliber 9 mm dan penetrasi seluruhnya pada peluru kaliber 7.62 mm

Keterangan : Skala gambar sama pada setiap kolom pada tabel, skala ditunjukkan pada gambar terakhir (paling bawah) di setiap kolom

**Tabel 4.10.** Diameter jejak dan perforasi yang diakibatkan proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm pada setiap komposit aluminium

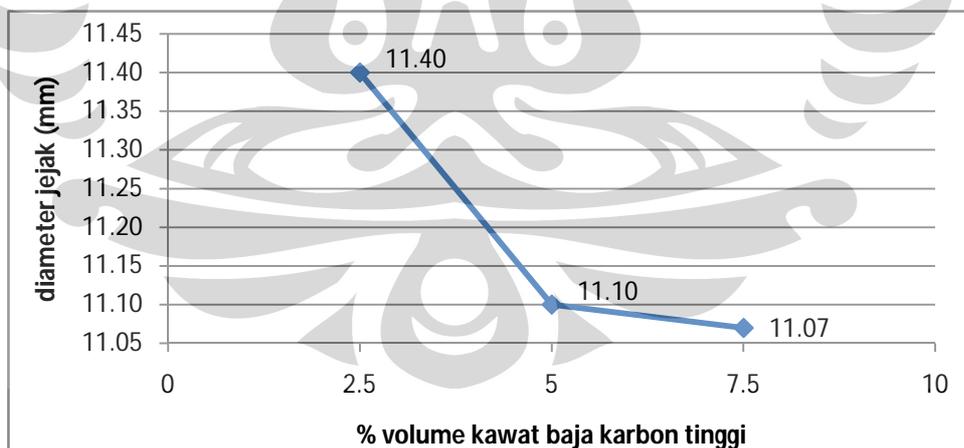
% volume kawat baja	Kaliber proyektil peluru	Diameter perforasi depan (mm)			Diameter perforasi belakang (mm)		
		I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata
2.5	9 mm	11.02	11.78	<b>11.40</b>	-	-	-
	7.62 mm	8.46	7.96	<b>8.21</b>	14.04	14.22	<b>14.13</b>
5	9 mm	10.70	11.50	<b>11.10</b>	-	-	-
	7.62 mm	8.14	7.90	<b>8.02</b>	14.80	14.68	<b>14.74</b>
7.5	9 mm	11.74	10.40	<b>11.07</b>	-	-	-
	7.62 mm	8.04	7.82	<b>7.93</b>	13.92	14.98	<b>14.45</b>

Dari gambar pada Tabel 4.9 dan data pada Tabel 4.10 dapat dilihat bila fraksi volume kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap ukuran dan bentuk penetrasi proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7,62 mm. Berdasarkan Tabel 4.10, penetrasi proyektil peluru kaliber 9 mm menyebabkan jejak terbesar pada permukaan pelat aluminium komposit dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5% dengan ukuran 11.40 mm, diikuti dengan komposit aluminium dengan fraksi kawat baja karbon tinggi 5% dengan ukuran 11.10 mm dan jejak terkecil pada terdapat pada komposit aluminium dengan fraksi volume kawat 7.5% dengan ukuran jejak 11.07 mm. Data tersebut menunjukkan yang bahwa semakin besar fraksi volume kawat pada komposit aluminium akan menyebabkan penetrasi peluru yang rendah (Gambar 4.10). Hal tersebut dapat memiliki korelasi dengan penyerapan energi yang dilakukan oleh komposit aluminium. Semakin besar fraksi volume kawat, energi yang dapat diserap oleh komposit aluminium, terutama oleh kawat baja karbon tinggi, akan semakin besar. Hasil tersebut sesuai dengan hasil pengujian impak dari komposit aluminium pada subbab 4.3. Dengan semakin besarnya energi yang dapat diserap oleh kawat baja karbon tinggi, maka sisa energi yang menyebabkan deformasi plastis yang terjadi pada pelat aluminium yang mengalami beban impak semakin kecil.



**Gambar 4.10.** Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi pada komposit aluminium terhadap diameter jejak proyektil peluru 9 mm

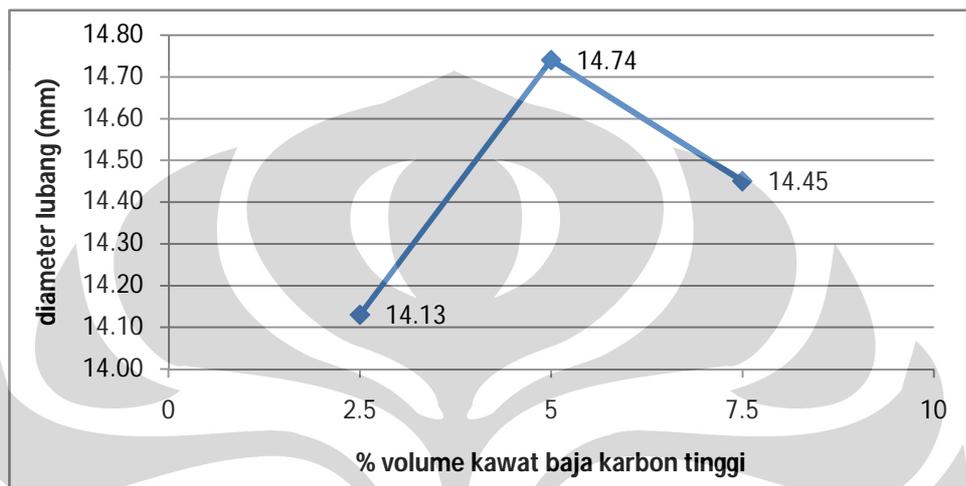
Untuk penetrasi peluru kaliber 7.62 mm, karakteristik dari komposit aluminium di tentukan oleh 2 parameter, yaitu diameter perforasi pada pelat muka, dimana awal masuknya peluru, dan juga diameter perforasi pada pelat belakang saat peluru keluar. Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi pada diameter perforasi pada pelat muka dari komposit aluminium ditunjukkan pada Gambar 4.11, sedangkan pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi pada diameter perforasi pada pelat belakang dari komposit aluminium ditunjukkan pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.11.** Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap diameter perforasi pada pelat muka komposit aluminium akibat proyektil peluru 7.62 mm

Berdasarkan Gambar 4.11, diameter pada saat peluru masuk menunjukkan grafik yang menurun pada komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi yang lebih besar. Diameter perforasi pada pelat muka komposit aluminium

dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5% yaitu 8.21 mm, fraksi volume kawat baja karbon tinggi 5% yaitu 8.02 mm dan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 5% memiliki diameter perforasi sebesar 7.93 mm. Hal tersebut dikarenakan oleh penyerapan energi yang lebih baik oleh komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi yang lebih besar, sehingga menimbulkan diameter lubang yang lebih kecil.



**Gambar 4.12.** Pengaruh fraksi volume kawat baja karbon tinggi terhadap diameter perforasi pada pelat belakang komposit aluminium akibat proyektil peluru 7.62 mm

Parameter selanjutnya untuk menggambarkan kemampuan balistik komposit akibat proyektil peluru kaliber 7.62 mm adalah diameter perforasi yang ditimbulkan saat peluru keluar. Pada dasarnya semakin besar fraksi volume kawat akan menyebabkan jumlah kawat yang digunakan pada komposit aluminium semakin banyak. Dengan kawat baja yang semakin banyak maka pergerakan peluru yang melewati bagian kawat baja akan semakin sulit karena terhambat oleh kawat. Rapatnya susunan akan menyebabkan pergerakan peluru akan semakin tidak teratur sehingga saat menembus lapisan aluminium terakhir dari komposit aluminium akan menyebabkan lubang yang lebih besar. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa diameter perforasi terkecil terdapat pada komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja yang 2.5%, dengan diameter 14.13 mm. Namun yang terbesar terjadi pada komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 5% dengan diameter 14.74 mm. Penyimpangan yang terjadi pada komposit aluminium dengan fraksi volume kawat 7.5%, dengan diameter 14.45 mm, dimana diameter pada pelat aluminium belakang berada diantar komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 2.5% dan 5 %.

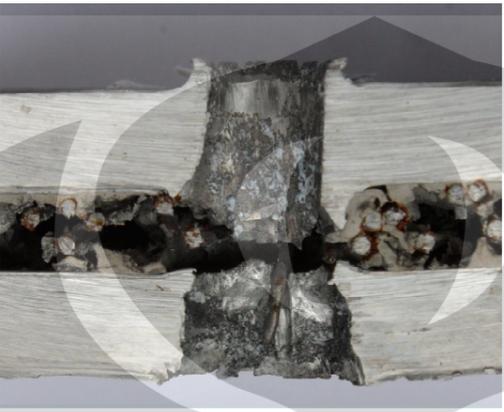
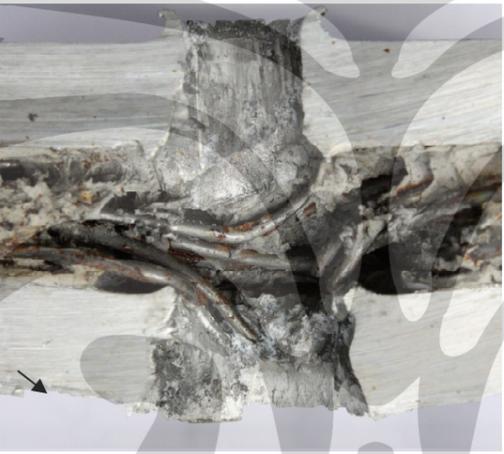
terjadi akibat titik pada komposit aluminium dengan fraksi volume kawat 7.5% yang ditembus oleh proyektil peluru memiliki kerapatan kawat yang rendah (renggang). Pernyataan tersebut didukung oleh data pada subbab 4.1 dimana distribusi kerapatan kawat pada komposit aluminium tidak merata yang disebabkan tingkat kelurusan kawat yang tidak sempurna.

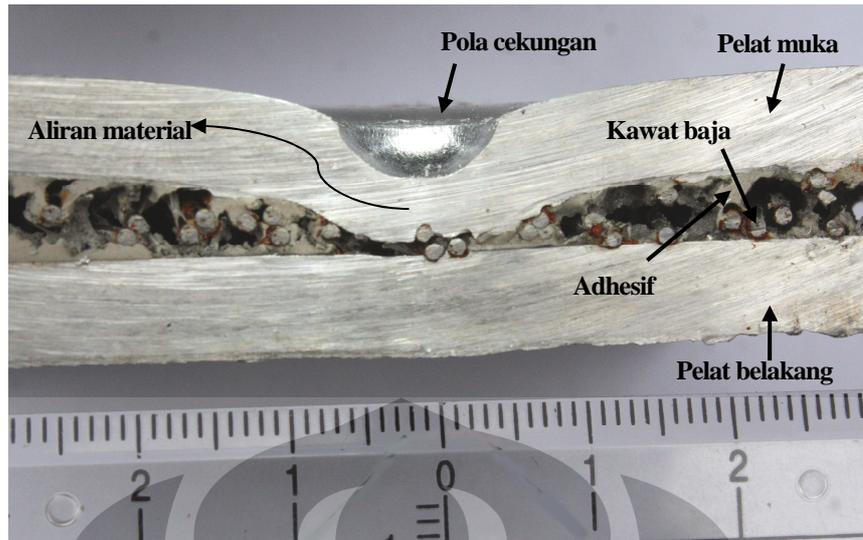
#### **4.4.2. Struktur Makro Perforasi**

Selain secara kuantitatif dengan perhitungan diameter jejak peluru, karakteristik balistik dari material juga dapat dilakukan secara kualitatif, yaitu dengan melihat struktur kerusakan yang terjadi pada material. Pengamatan dilakukan dengan memotong daerah yang terdapat jejak peluru menjadi dua bagian sehingga dapat diamati penampang melintang dari komposit aluminium, seperti yang ditunjukkan Tabel 4.11.

Berdasarkan penampang melintang dari komposit aluminium pada Tabel 4.11 terlihat kerusakan akibat peluru 9 mm hanya mengakibatkan aliran material pada daerah disekitar titik terjadinya impact balistik [16]. Aliran material tersebut berbentuk cekungan menyerupai bagian ujung (kepala) dari peluru yang terjadi karena adanya deformasi plastis pada pelat aluminium, seperti pada Gambar 4.13. Dari Tabel 4.11 juga dapat dilihat kegagalan yang diakibatkan peluru 7.62 mm. Proyektil peluru menyebabkan perforasi pada dua pelat aluminium penyusun pelat komposit aluminium dan juga menyebabkan deformasi plastis pada kawat baja karbon tinggi sebelum putus, secara lebih lanjut akan dijelaskan pada Gambar 4.14. Bentuk perforasi akibat proyektil peluru kaliber 7.62 mm dan 9 mm terjadi pada seluruh komposit aluminium dengan variasi fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%, 5% dan 7.5%.

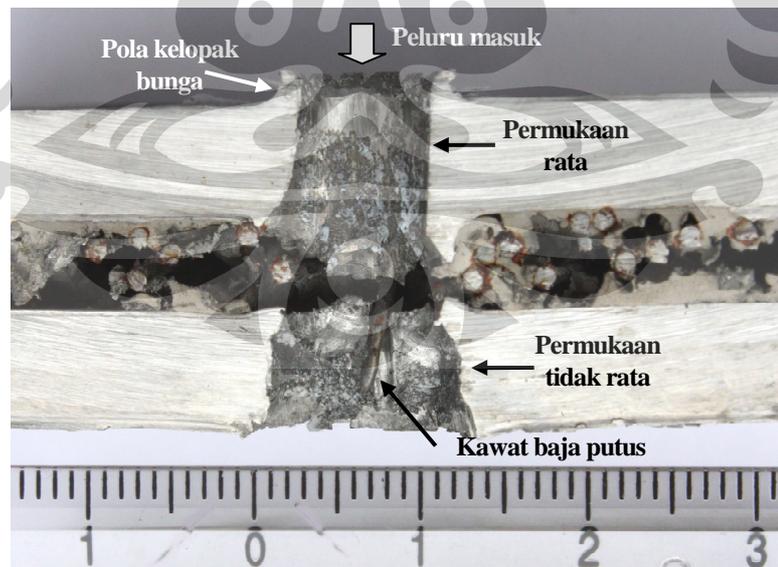
**Tabel 4.11.** Penampang melintang dari bentuk perforasi pada pelat komposit aluminium komposit akibat penetrasi proyektil peluru kaliber 9 mm dan 7.62 mm

% volume kawat baja	Gambar penampang melintang bentuk perforasi		Keterangan
	Proyektil kaliber 9 mm	Proyektil kaliber 7.62 mm	
2.5			Skala sama dengan gambar paling bawah (sampel fraksi volume kawat baja 7.5%)
5			Skala sama dengan gambar paling bawah (sampel fraksi volume kawat baja 7.5%)
7.5			



**Gambar 4.13.** Bentuk jejak pada komposit aluminium dengan fraksi kawat baja karbon tinggi 2.5% akibat penetrasi proyektil kaliber 9 mm

Dari Gambar 4.13 terlihat bahwa proyektil peluru kaliber 9 mm tidak dapat menembus pelat komposit aluminium. Pola jejak yang ditinggalkan menunjukkan aliran material kearah tepi dari jejak peluru. Tipe kerusakan tersebut dapat memberikan keterangan bahwa energi yang berasal dari proyektil peluru lebih rendah dibandingkan energi impact yang dimiliki oleh komposit aluminium sehingga hanya terjadi penetrasi peluru sebagian (*partial penetration*).

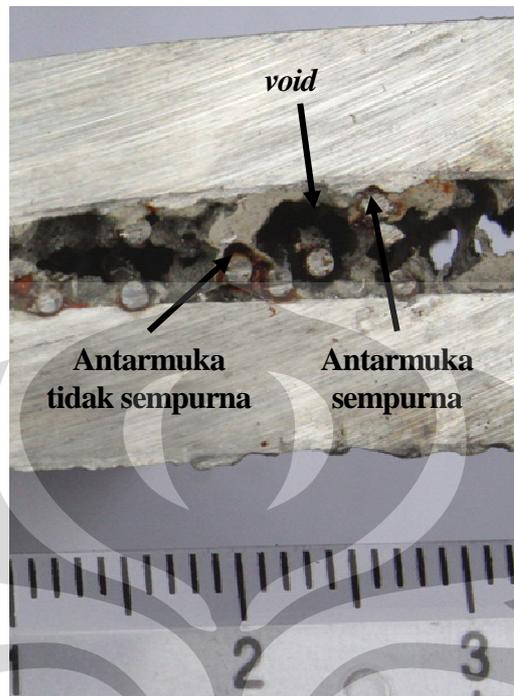


**Gambar 4.14.** Bentuk perforasi pada komposit aluminium dengan fraksi kawat baja karbon tinggi 2.5% akibat penetrasi proyektil kaliber 7.62 mm

Dari bentuk perforasi pada Gambar 4.14 dapat diperkirakan dari proses penetrasi proyektil peluru kaliber 7.62 mm pada pelat komposit aluminium. Pada awalnya terbentuk pola seperti kelopak bunga pada permukaan pelat aluminium muka saat kontak pertama dengan proyektil peluru. Pola tersebut terjadi pada seluruh komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja yang berbeda. Pola tersebut terjadi akibat kecepatan yang sangat besar dari proyektil peluru sehingga energi yang dibawa peluru sangat besar. Selain kecepatan pola tersebut disebabkan karena bentuk hidung dari peluru 7.62 mm yang runcing sehingga pelat muka pecah. Setelah peluru berpenetrasi kedalam komposit aluminium dengan gerakan memutar sehingga membentuk permukaan yang rata pada bagian dalam pelat muka. Selanjutnya proyektil menuju lapisan kawat baja karbon tinggi dan adhesif. Pada lapisan tersebut terlihat pergerakan peluru dihambat oleh susunan kawat baja karbon tinggi yang searah, namun energi yang sangat besar mampu memutuskan susunan dari kawat tersebut. Setelah proyektil peluru melewati lapisan kawat baja karbon tinggi kemudian menembus pelat aluminium bagian belakang dari pelat komposit aluminium. Dari Gambar 4.14 juga terlihat dengan jelas pola lubang yang diciptakan oleh peluru pada pelat aluminium terakhir (*backing plate*) berbeda dari lubang pada pelat muka dimana lubang pada pelat aluminium terakhir memiliki ukuran yang lebih besar dan permukaan yang tidak rata. Hal tersebut mungkin terjadi akibat hambatan kawat baja karbon tinggi yang membuat pergerakan proyektil peluru menjadi tidak beraturan sehingga menyebabkan perforasi yang lebih besar.

Selain mengetahui kerusakan yang disebabkan oleh proyektil peluru pengamatan struktur makro juga dapat menggambarkan antarmuka yang terjadi pada pelat komposit aluminium. Gambar 4.15 menunjukkan tidak sempurnanya ikatan yang dibuat oleh adhesif polyurethane. Selain itu terdapat banyak sekali *void* pada lapisan adhesif. Hal tersebut menjawab perbedaan volume yang terjadi antara hasil perhitungan hokum pencampuran dan volume aktual dari komposit aluminium. *Void* dapat terjadi pada lapisan adhesif *polyurethane* karena adanya udara yang terperangkap pada lapisan adhesif saat proses laminasi. Adanya udara yang terperangkap didalam adhesif *polyurethane* akan sulit untuk keluar karena sifat adhesif yang sangat kental (*viscous*) sehingga menimbulkan *void* pada lapisan adhesif tersebut. Ikatan antarmuka yang tidak sempurna dan *void* dapat menurunkan sifat mekanik dari komposit aluminium yang

dibuat. Namun dari Gambar 4.15 juga terlihat bahwa ada sebagian adhesif yang memiliki ikatan antarmuka yang baik dengan kawat baja dan juga pelat aluminium.



**Gambar 4.15.** Antarmuka (*interface*) dari komposit aluminium

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

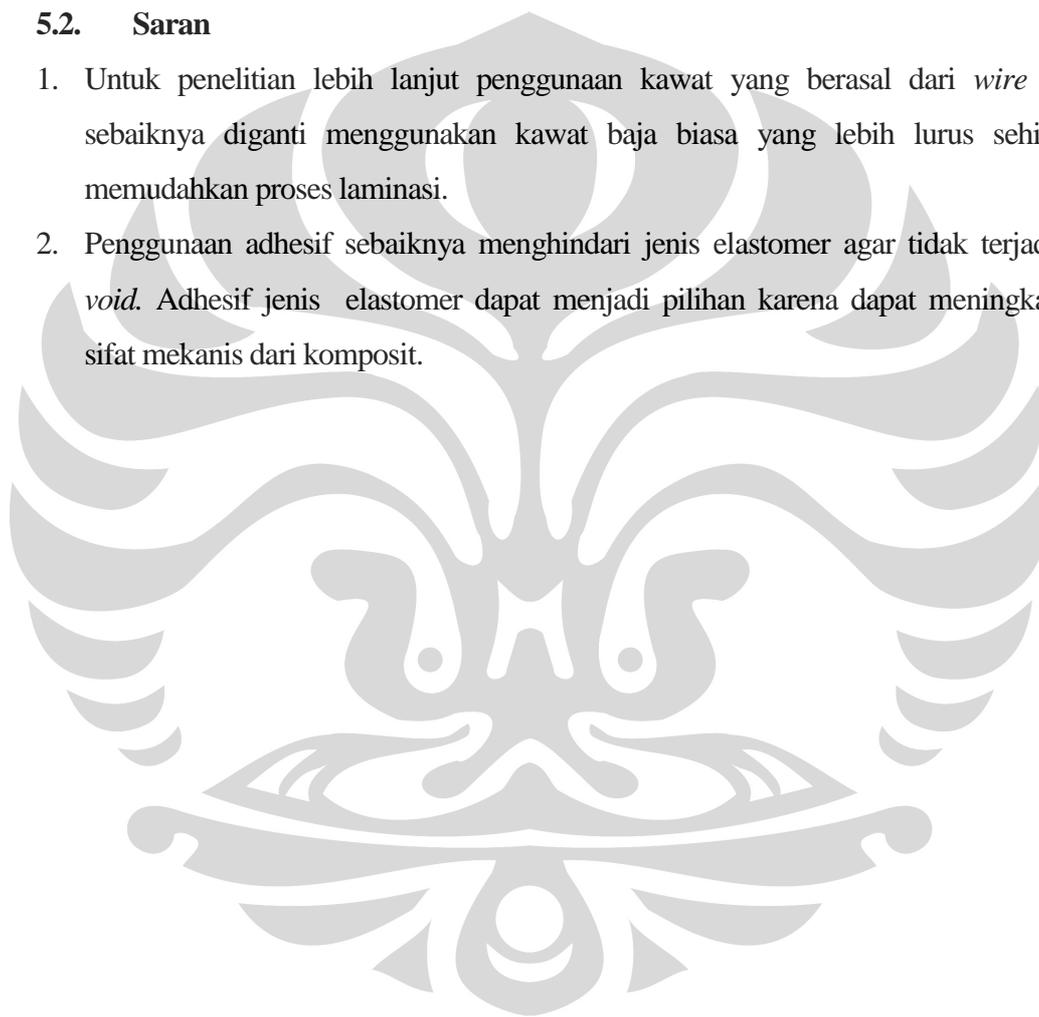
1. Semakin besar fraksi volume dari kawat baja karbon tinggi yang disusun searah akan meningkatkan kekuatan impact dari pelat komposit aluminium (pada fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5% memiliki  $HI=0.642 \text{ J/mm}^2$ , 5% memiliki  $HI=0.677 \text{ J/mm}^2$  dan 7.5% memiliki  $HI=0.725 \text{ J/mm}^2$ ) karena kawat baja karbon tinggi memiliki sifat mekanik yang sangat baik sehingga memberikan pengaruh yang besar pada hasil pengujian impact.
2. Semakin besar fraksi volume dari kawat baja karbon tinggi juga mengakibatkan ukuran perforasi yang semakin kecil akibat peluru kaliber 9 mm.
3. Karakteristik balistik akibat peluru kaliber 9 mm hanya menunjukkan pola cekungan pada pelat muka dari komposit aluminium (*partial penetration*).
4. Karakteristik balistik akibat peluru kaliber 7.62 mm menghasilkan penetrasi seluruhnya (perforasi) dengan terdapat pola kelopak bunga pada pelat aluminium muka. Selain itu ukuran lubang pada pelat muka lebih kecil dibandingkan dengan lubang pada pelat belakang dari komposit aluminium.
5. AA 5083 berperan sebagai matriks yang menyerap energi awal dari proyektil peluru dan menyalurkannya ke fasa penguat kawat baja karbon tinggi serta menjadi hambatan utama proyektil peluru, sedangkan kawat baja karbon tinggi berperan sebagai penyerap energi dari peluru dan menghambat pergerakan dari peluru, kemudian adhesif *polyurethane* berperan sebagai perekat antara fasa matrik AA5083 dan penguat kawat baja karbon tinggi.
6. Peran kawat baja karbon tinggi dipengaruhi oleh tingkat kelurusan kawat. dengan semakin lurusnya kawat akan meningkatkan sifat mekanik dari komposit aluminium. Tingkat kelurusan kawat yang tinggi, mencapai 94.31%, dapat diperoleh menggunakan alat bantu pelurus kawat.
7. Kawat baja karbon tinggi memiliki pengaruh yang sangat besar dalam perhitungan mikromekanik dimana meningkatkan kekakuan (modulus elastisitas) komposit aluminium (fraksi kawat baja karbon tinggi 2.5% memiliki  $E_1=36.08 \text{ GPa}$ , 5% memiliki  $E_1=37.63 \text{ GPa}$  dan 7.5% memiliki  $E_1=39.20 \text{ GPa}$ ) karena memiliki

modulus elastisitas sebesar 112.17 GPa, sedangkan adhesif *polyurethane* dalam bentuk elastomer dapat menurunkan kekuatan mikromekanik dari pelat komposit aluminium.

8. Ikatan antarmuka yang terjadi antara adhesif *polyurethane* dengan kawat baja karbon tinggi dan AA 5083 kurang sempurna pada beberapa bagian dan terdapat *void* pada daerah kawat baja karbon tinggi dan adhesif.

## 5.2. Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut penggunaan kawat yang berasal dari *wire rope* sebaiknya diganti menggunakan kawat baja biasa yang lebih lurus sehingga memudahkan proses laminasi.
2. Penggunaan adhesif sebaiknya menghindari jenis elastomer agar tidak terjadinya *void*. Adhesif jenis elastomer dapat menjadi pilihan karena dapat meningkatkan sifat mekanis dari komposit.



## DAFTAR ACUAN

- [1] <http://nbasis.wordpress.com/2008/12/05/menggagas-indonesia-bermartabat-12/>
- [2] U.S. Patent 6216579 B1. 2001. *Composite armour material*
- [3] US patent No : 004461202. 1984. *Six wheeled Armored Vehicle*
- [4] W.D. Callister. 2004. *Materials Science and Engineering, 6<sup>th</sup> edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- [5] ASM Handbook Volume 2.1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee
- [6] *Certificate of Test Steel Wire Rope*. USHA SIAM steel industry Public co. Ltd. 2009
- [7] R. Zaera, S. Sanchez-Saez, M.S. Sierra, J.L. Perez-Castellanos. *Influence Of The Adhesive In The Ballistic Performance Of Ceramic Faced Plate Armour*. Departamento de Ingenieria Mecanica, Escuela Politecnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid
- [8] Mazumdar, K. Sanjay. 2002. *Composite Manufacturing : material, products and process engineering*. CLC Press
- [9] A. Basuki. *Ketahanan Balistik Baja Tahan Peluru Produksi dalam Negeri terhadap Penetrasi Proyektil 5.56 mm*. SENAMM (2010)
- [10] B. Srivathsa, dan N. Ramakrishnan. *Iso-Contour Maps for Ballistic Performance of Thick Metallic Armour*. India : Computer Modelling and Simulation Centre, DMRI.
- [11] Jerz, Simancik, Bortel, Kubo, Kovacik . 2003. *The design of lightweight Armor Sheet*. Slovakia : materials and mechanics institute
- [12] NIJ Standard 0108-01. 1985. *Ballistic Resistant Protective Materials*. Washington : National Institute of Justice
- [13] NATO STATNAG 4569. 2004. *Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles*.
- [14] M. Ubeyli, R.O. Yildirim, B Ogel. *Drop-weight testing of alumina/aluminum laminated composites*. Sadhana vol.30 part.5 (2005) 673-686
- [15] J.S. Montgomery, E.S. Chin. 2004. *Army Material Research : Transforming Land Combat Through New Technologies*. AMPTIAC Quarterly vol. 8, number. 4

- [16] 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
- [17] T. Borvik, M.J. Forrestal, T.L. Warren. *Perforation of 5083-H116 Aluminum Armor Plates with Ogive-Nose Rods and 7.62 mm APM2 Bullets*. Society for Engineering Mechanic (2009)
- [18] ASM Handbook Volume 1. 1993. *Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys*. ASM International Handbook Committee
- [19] [http://www.lni.wa.gov/wisha/rules/construction/HTML/296-155L\\_2.htm](http://www.lni.wa.gov/wisha/rules/construction/HTML/296-155L_2.htm)
- [20] <http://timeltd.ca/products/hoisting-lifting/wire-rope/>
- [21] "Seal N Flex I" *Technical Data Sheet (TDS)*. 2001. Australia: Bostik Findley.
- [22] F.L. Matthews, R.D. Rawlings. 1994. *Composite Materials : Engineering and Science*. London : Chapman & Hall
- [23] ASM Handbook Volume 21. 2001. *Composites*. ASM International Handbook Committee
- [24] M. Ubeyli, R.O. Yildirim, B. Ogel. *On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors*. Material and Design 28 (2007) 1257-1262
- [25] C.M. Roland, D. Fragiadakis, R.M. Gamache. *Elastomer-Steel Laminate Armor*. Composite Structures 92 (2010) 1059-1064
- [26] A.P Suvorov dan G.J Dvorak. *Optimal Design of Prestressed Laminate/Ceramic Plate Assemblies*. Mecchanica 36 (2001) : 87-109
- [27] <http://www.pindad.com/prodgul800.php?bahasa=2&varkdnews=MUKAL9>
- [28] <http://www.pindad.com/prodgul800.php?bahasa=2&varkdnews=MU762>
- [29] ASTM E23. 2002. *Standard Testing Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. ASTM International.
- [30] ASTM E8M. 2004. *Standard Testing Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]*. ASTM Internasional
- [31] JIS 3525. 1998
- [32] ASTM D638. 2003. *Standard Testing Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM Internasional

- [33] R. M. Christensen. 2008. *Failure Criteria for Anisotropic Fiber Composite Materials*.  
([http://www.failurecriteria.com/Media/Failure\\_Criteria\\_for\\_Anisotropic\\_Fiber\\_Composite\\_Materials.pdf](http://www.failurecriteria.com/Media/Failure_Criteria_for_Anisotropic_Fiber_Composite_Materials.pdf))
- [34] ASM Handbook Volume 8. 2000. *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM International Handbook Committee



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 : Spesifikasi data material

- Data spesifikasi adhesif *polyurethane*:



## 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:

- In situ 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
- AS1157-1972 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	10mm	20mm
	x	x	x
	6mm	10mm	10mm
300ml	8.3	3	1.5
600ml	16.7	6	3

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

## 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.

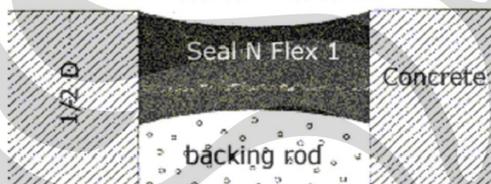
## APPLICATION

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

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  
SAIGLOBAL

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

**PERTH**  
Phone: 08 9258 6218  
Fax: 08 9258 7687

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

Product:	Seal N Flex 1
Issue Date:	Aug 2010
Issue No:	8
Division:	Construction
Total Pages:	3



- Data spesifikasi adhesif *wire rope* :

Certificate no: **BGK 0810035/06**  
Page 1 of 1

**Lloyd's Register** Certificate for Steel Wire Rope

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

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.

<b>Particulars</b>			
Length	<b>1x1000 m. (REEL.No.1)</b>	Nominal Diameter	<b>16.00 mm.</b>
Number of strands	<b>6</b>	Core of rope	<b>IWRC</b>
Number of wires per strand	<b>19</b>	Grade of zinc coating	-
Diameter of wire	<b>1.03 mm.</b>	Specific weight (kg/m)	-
Specific range of tensile strength of wire	<b>1960 N/mm<sup>2</sup></b>	Rope construction	<b>6x19</b>
Construction of strand	<b>1276/1</b>		
Lay (if other than right hand ordinary)			
Applicable standard or specification	<b>ANSI/API SPEC 9A/2004</b>		

**Tests**

Samples have been tested in the following manner:

Tensile test	<b>167.00 kN.</b>	Breaking load on full rope section of rope	
Breaking load (kN)	<b>176.52 kN.</b>	Laying up (%)	
Tests on six wires	before stranding		
(a) Torsion	Test length between grips		
	Number of twists before fracture	max.	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	max.	max.
	Condition of coating after		bends

**Identification Marks**

Type	Diameter	Length	(Initials)
-	-	-	-

**PT. INDOSPlice**  
RIGGING & LIFTING SPECIALIST  
Jl. Ciputat Raya No. 15 Pondok Pinang JAKARTA 12310  
Tel: 021 751.7878, Fax: 021 751.7887

**TR COPY CERTIFICATE**

CUSTOMER NAME: **PAN TEKNIK UJ**

PO NO: **DPT. MEGALIND & LIDL**

LENGTH: **20 M + 10 M**

Authorized by: *[Signature]*

Surveyor to Lloyd's Register Asia  
A member of the Lloyd's Register Group

Date of issuing: **31 Mar 2010**

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.

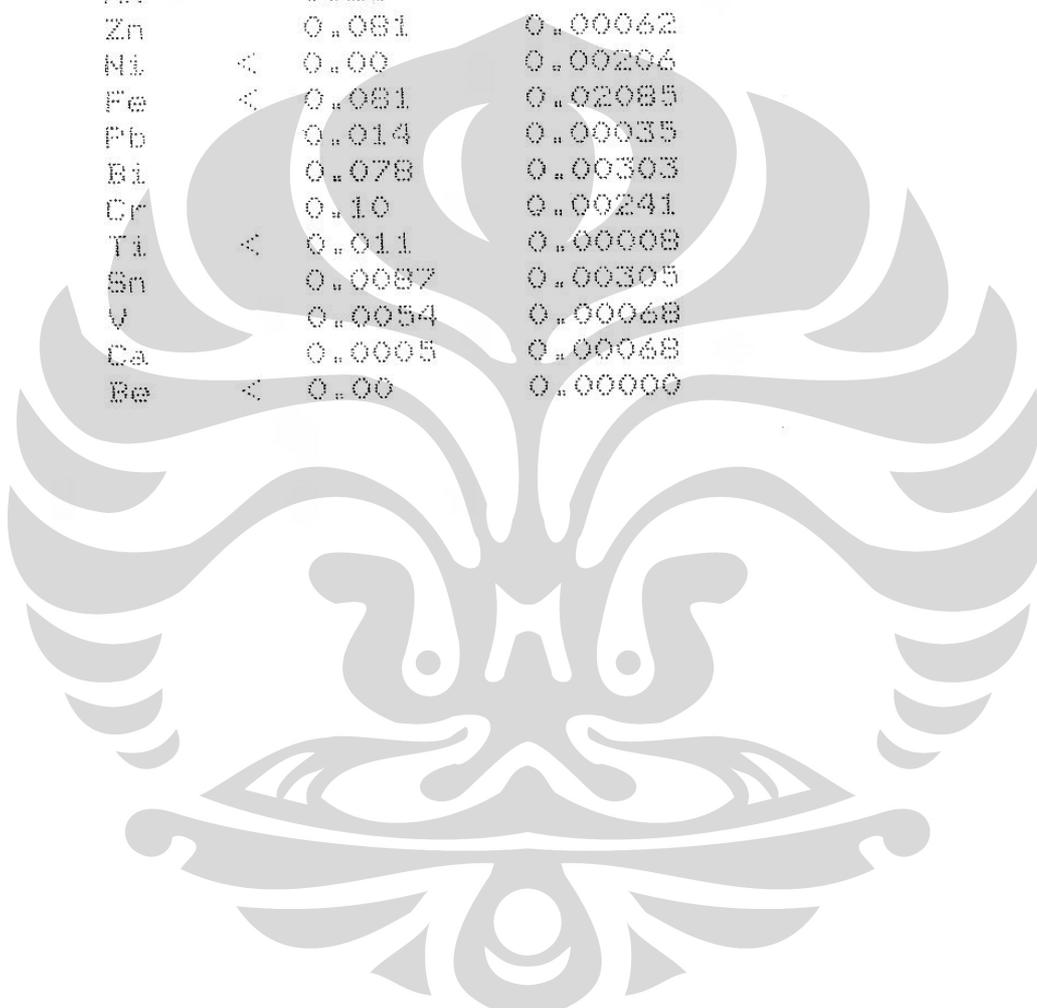
Form 1277 (2004.11)

**Lampiran 2 : Hasil pengujian spectroscopy**

AVERAGE: 5083

12.10.2010 10:45:37

Al	94.46	0.11165
Si	0.28	0.00792
Mg	4.72	0.15128
Cu	0.050	0.00038
Mn	0.28	0.01590
Zn	0.081	0.00062
Ni	< 0.00	0.00206
Fe	< 0.081	0.02085
Pb	0.014	0.00035
Bi	0.078	0.00303
Cr	0.10	0.00241
Ti	< 0.011	0.00008
Sn	0.0087	0.00305
V	0.0054	0.00068
Ca	0.0005	0.00068
Be	< 0.00	0.00000



**Lampiran 3 : Hasil pengujian tarik**

a. Data uji tarik AA5083-H112



S-S-3  
 DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
 FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA

S-S-2

S-S-1

Data uji tarik pelat aluminium sampel 1

Lebar (mm)	Tebal (mm)	luas (mm <sup>2</sup> )	luas (m <sup>2</sup> )	GL (mm)
12	5.75	69	0.0000690	50

perpanjangan (mm)	beban (kg)	regangan	tegangan (MPa)
0	0	0	0
0.25	1500	0.005	213.0
0.50	1725	0.010	245.0
0.75	1780	0.015	252.8
1.00	1840	0.020	261.3
1.25	1890	0.025	268.4
1.50	1930	0.030	274.1
1.75	1980	0.035	281.2
2.00	2020	0.040	286.9
2.25	2050	0.045	291.2
2.50	2095	0.050	297.6
2.75	2125	0.055	301.8
3.00	2145	0.060	304.7
3.25	2170	0.065	308.2
3.50	2200	0.070	312.5
3.75	2225	0.075	316.0
4.00	2250	0.080	319.6
4.25	2250	0.085	319.6
4.50	2260	0.090	321.0
4.75	2275	0.095	323.1
5.00	2300	0.100	326.7
5.25	2325	0.105	330.2
5.50	2340	0.110	332.3
5.75	2340	0.115	332.3
6.00	2340	0.120	332.3
6.25	2345	0.125	333.1
6.50	2350	0.130	333.8
6.75	2350	0.135	333.8
7.00	2360	0.140	335.2
7.25	2365	0.145	335.9
7.50	2365	0.150	335.9
7.75	2365	0.155	335.9
8.00	2345	0.160	333.1

yield stress (MPa)	yield strain	modulus elastisitas (MPa)
215.884058	0.005	43176.81159

Data uji tarik pelat aluminium sampel 2

Lebar (mm)	Tebal (mm)	luas (mm <sup>2</sup> )	luas (m <sup>2</sup> )	GL (mm)
12.4	6	74.4	0.0000744	50

Perpanjangan (mm)	beban (Kg)	regangan	tegangan (MPa)
0	0	0	0
0.25	1250	0.005	164.7
0.50	1700	0.010	223.9
0.75	1790	0.015	235.8
1.00	1830	0.020	241.0
1.25	1880	0.025	247.6
1.50	1935	0.030	254.9
1.75	1985	0.035	261.5
2.00	2020	0.040	266.1
2.25	2050	0.045	270.0
2.50	2100	0.050	276.6
2.75	2120	0.055	279.2
3.00	2150	0.060	283.2
3.25	2190	0.065	288.5
3.50	2215	0.070	291.8
3.75	2220	0.075	292.4
4.00	2240	0.080	295.1
4.25	2255	0.085	297.0
4.50	2290	0.090	301.6
4.75	2310	0.095	304.3
5.00	2320	0.100	305.6
5.25	2325	0.105	306.3
5.50	2345	0.110	308.9
5.75	2355	0.115	310.2
6.00	2365	0.120	311.5
6.25	2380	0.125	313.5
6.50	2390	0.130	314.8
6.75	2395	0.135	315.5
7.00	2400	0.140	316.1
7.25	2405	0.145	316.8
7.50	2410	0.150	317.4
7.75	2420	0.155	318.8
8.00	2420	0.160	318.8
8.25	2425	0.165	319.4
8.50	2430	0.170	320.1
8.75	2430	0.175	320.1
9.00	2410	0.180	317.4

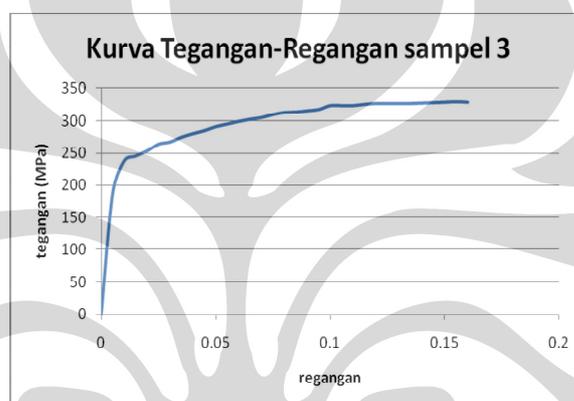
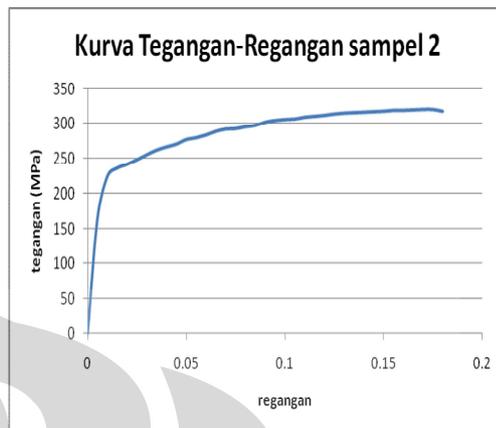
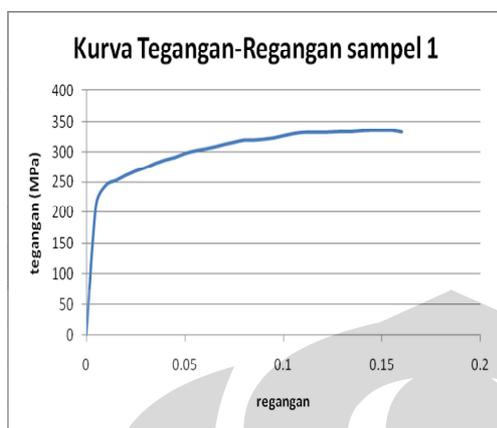
<i>yield stress</i> (MPa)	<i>yield strain</i>	modulus elastisitas (MPa)
184.4086022	0.004	46102.15054

Data uji tarik pelat aluminium sampel 3

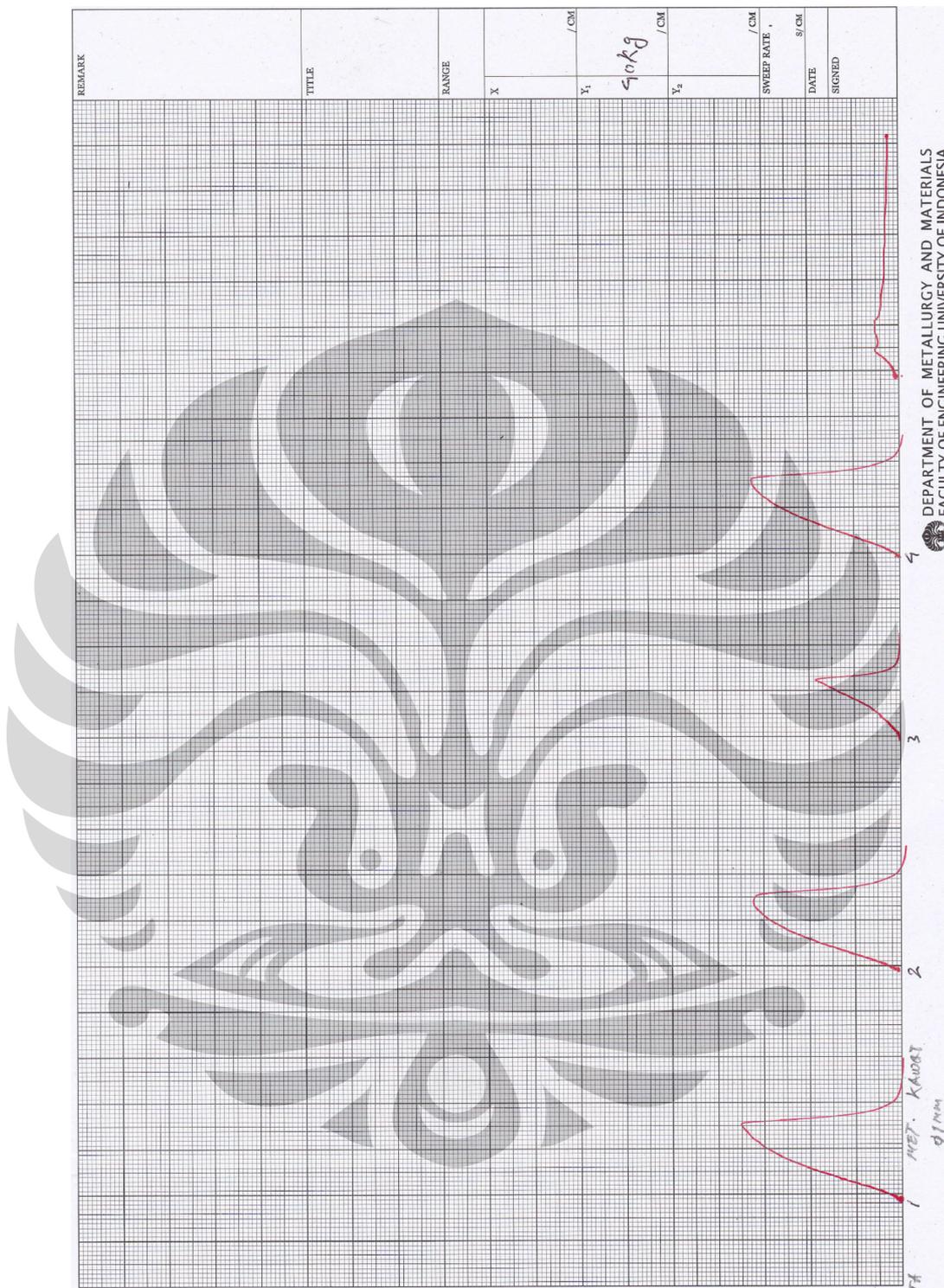
Lebar (mm)	tebal (mm)	luas (mm <sup>2</sup> )	luas (m <sup>2</sup> )	GL (mm)
12.55	5.85	73.4175	0.0000734	50

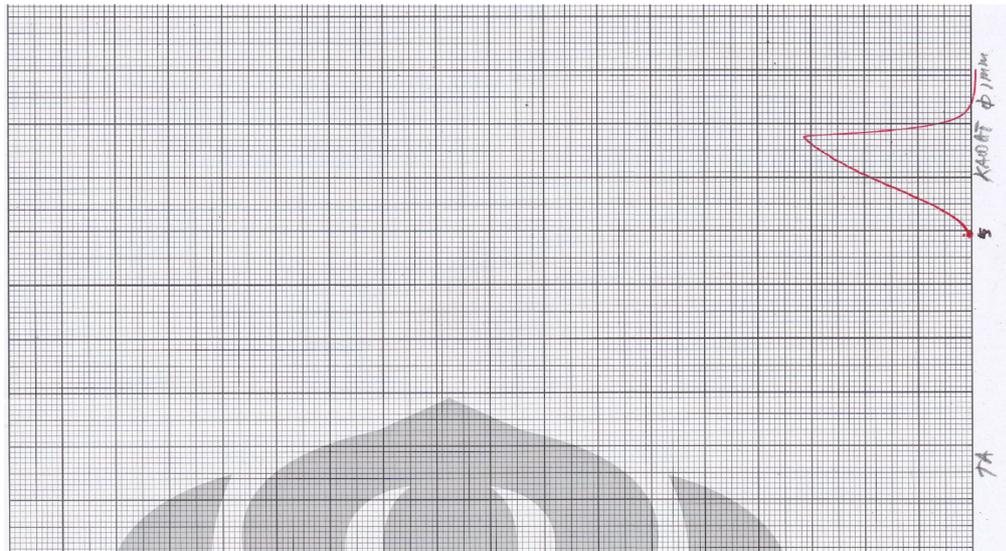
perpanjangan (mm)	beban (Kg)	regangan	tegangan (MPa)
0	0	0	0
0.25	1400	0.005	186.9
0.50	1780	0.010	237.6
0.75	1840	0.015	245.6
1.00	1900	0.020	253.6
1.25	1980	0.025	264.3
1.50	2005	0.030	267.6
1.75	2060	0.035	275.0
2.00	2100	0.040	280.3
2.25	2135	0.045	285.0
2.50	2180	0.050	291.0
2.75	2210	0.055	295.0
3.00	2240	0.060	299.0
3.25	2265	0.065	302.3
3.50	2285	0.070	305.0
3.75	2320	0.075	309.7
4.00	2345	0.080	313.0
4.25	2350	0.085	313.7
4.50	2365	0.090	315.7
4.75	2380	0.095	317.7
5.00	2425	0.100	323.7
5.25	2425	0.105	323.7
5.50	2425	0.110	323.7
5.75	2440	0.115	325.7
6.00	2450	0.120	327.0
6.25	2450	0.125	327.0
6.50	2450	0.130	327.0
6.75	2450	0.135	327.0
7.00	2455	0.140	327.7
7.25	2460	0.145	328.4
7.50	2465	0.150	329.0
7.75	2470	0.155	329.7
8.00	2465	0.160	329.0

yield stress (MPa)	yield strain	modulus elastisitas (MPa)
210.903395	0.005	42180.67899



b. Data uji tarik kawat baja karbon tinggi





Data uji tarik kawat sampel 1

perpanjangan (mm)	beban (kg)	strain	stress (MPa)
0	0	0.00000	0.00
0.25	5	0.00125	62.42
0.50	12	0.00250	149.81
0.75	20	0.00375	249.68
1.00	32	0.00500	399.49
1.25	45	0.00625	561.78
1.50	56	0.00750	699.11
1.75	67	0.00875	836.43
2.00	77	0.01000	961.27
2.25	88	0.01125	1098.60
2.50	96	0.01250	1198.47
2.75	104	0.01375	1298.34
3.00	111	0.01500	1385.73
3.25	117	0.01625	1460.64
3.50	122	0.01750	1523.06
3.75	126	0.01875	1572.99
4.00	129	0.02000	1610.45
4.25	129.5	0.02125	1616.69
4.50	108	0.02250	1348.28

Data uji tarik kawat sampel 2

perpanjangan (mm)	beban (kg)	strain	stress (MPa)
0	0	0.00000	0.00
0.25	6	0.00125	74.90
0.50	18	0.00250	224.71

0.75	28	0.00375	349.55
1.00	41	0.00500	511.85
1.25	55	0.00625	686.62
1.50	66	0.00750	823.95
1.75	78	0.00875	973.76
2.00	89	0.01000	1111.08
2.25	99	0.01125	1235.92
2.50	107	0.01250	1335.80
2.75	114	0.01375	1423.18
3.00	121	0.01500	1510.57
3.25	126	0.01625	1572.99
3.50	131	0.01750	1635.41
3.75	135	0.01875	1685.35
4.00	138.5	0.02000	1729.04
4.20	140.5	0.02100	1754.01
4.25	138	0.02125	1722.80
4.50	88	0.02250	1098.60

Data uji tarik kawat sampel 3

perpanjangan (mm)	beban (kg)	strain	stress (MPa)
0	0	0.00000	0.00
0.25	4	0.00125	49.94
0.50	6	0.00250	74.90
0.75	10	0.00375	124.84
1.00	16	0.00500	199.75
1.25	24	0.00625	299.62
1.50	30	0.00750	374.52
1.75	40	0.00875	499.36
2.00	48	0.01000	599.24
2.25	56	0.01125	699.11
2.50	68	0.01250	848.92
2.75	76	0.01375	948.79
3.00	84	0.01500	1048.66
3.25	92	0.01625	1148.54
3.50	100	0.01750	1248.41
3.75	106	0.01875	1323.31
4.00	112	0.02000	1398.22
4.20	120	0.02100	1498.09
4.25	123	0.02125	1535.54
4.38	126	0.02188	1572.99
4.50	120	0.02250	1498.09
4.75	52	0.02375	649.17

## c. Data uji tarik adhesif

Data uji tarik adhesif sampel 1**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 No. 1
12/10/2010	10:49:13 AM	RS	Polyurethane		

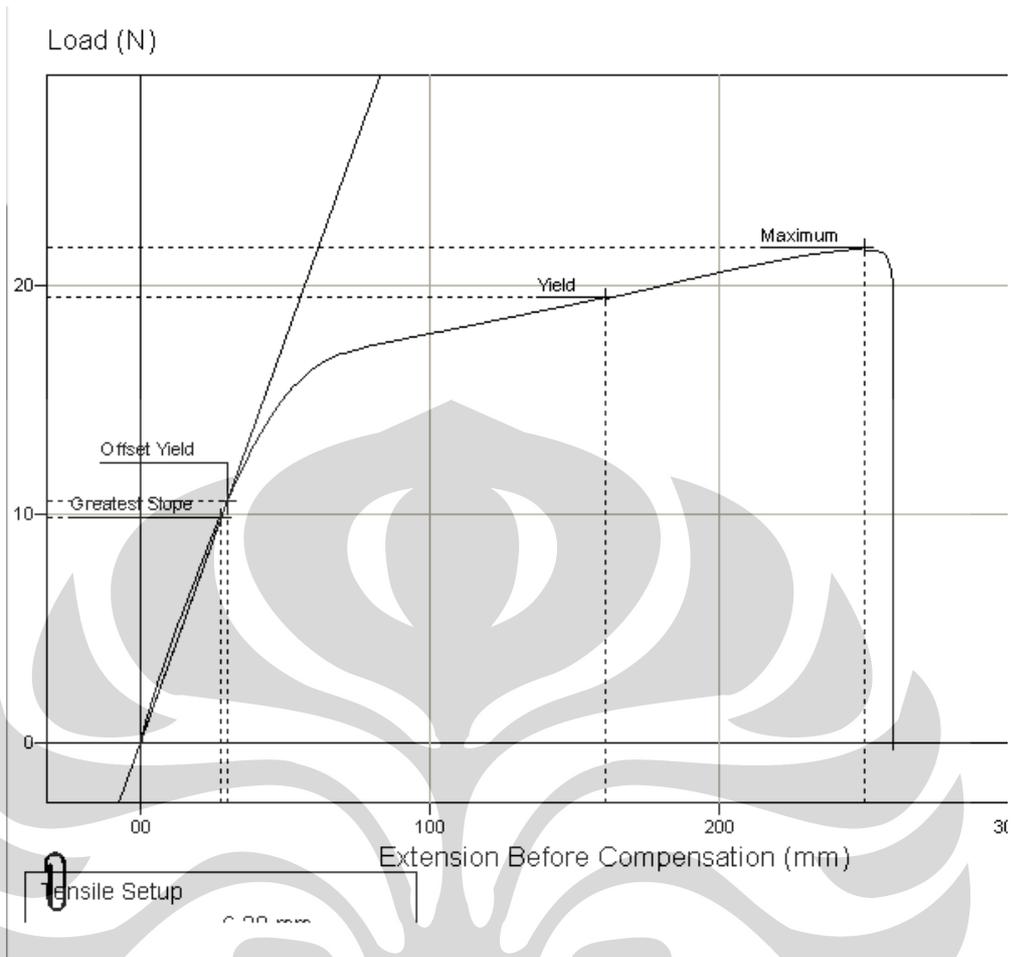
Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.3000 mm	5.0000 mm	31.500 mm <sup>2</sup>

	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	<MEAN Work to Maximum Load>	<MEAN Load at Break>	<MEAN Extension at Break>	<MEAN Work to Break>
Coefficient of Variation	0.00%	<DEVIATION Work to Maximum Load>	<DEVIATION Load at Break>	<DEVIATION Extension at Break>	<DEVIATION 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



## Data uji tarik adhesif sampel 2



### 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

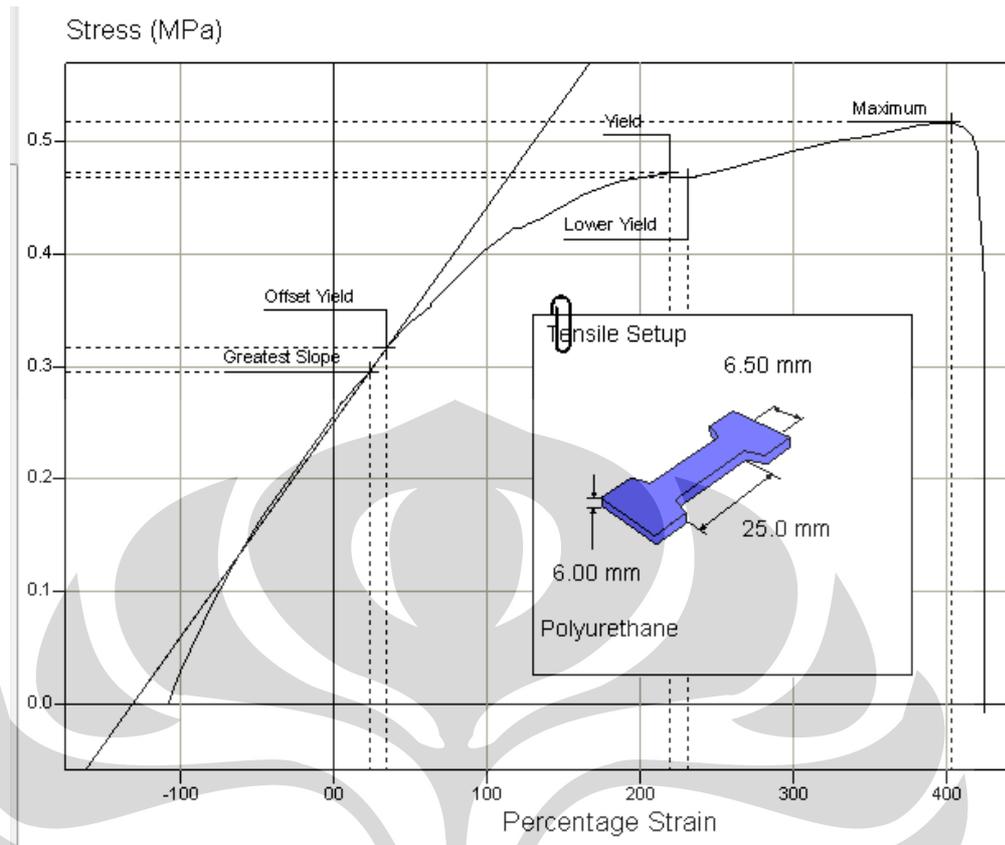
Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.5000 mm	6.0000 mm	39.000 mm <sup>2</sup>

	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	<MEAN Work to Maximum Load>	<MEAN Load at Break>	<MEAN Extension at Break>	<MEAN Work to Break>
Coefficient of Variation	0.00%	<DEVIATION Work to Maximum Load>	<DEVIATION Load at Break>	<DEVIATION Extension at Break>	<DEVIATION 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 of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd



### Data uji tarik adhesif sampel 3



## 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. 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	10:54:09 AM	RS	Polyurethane		No. 7

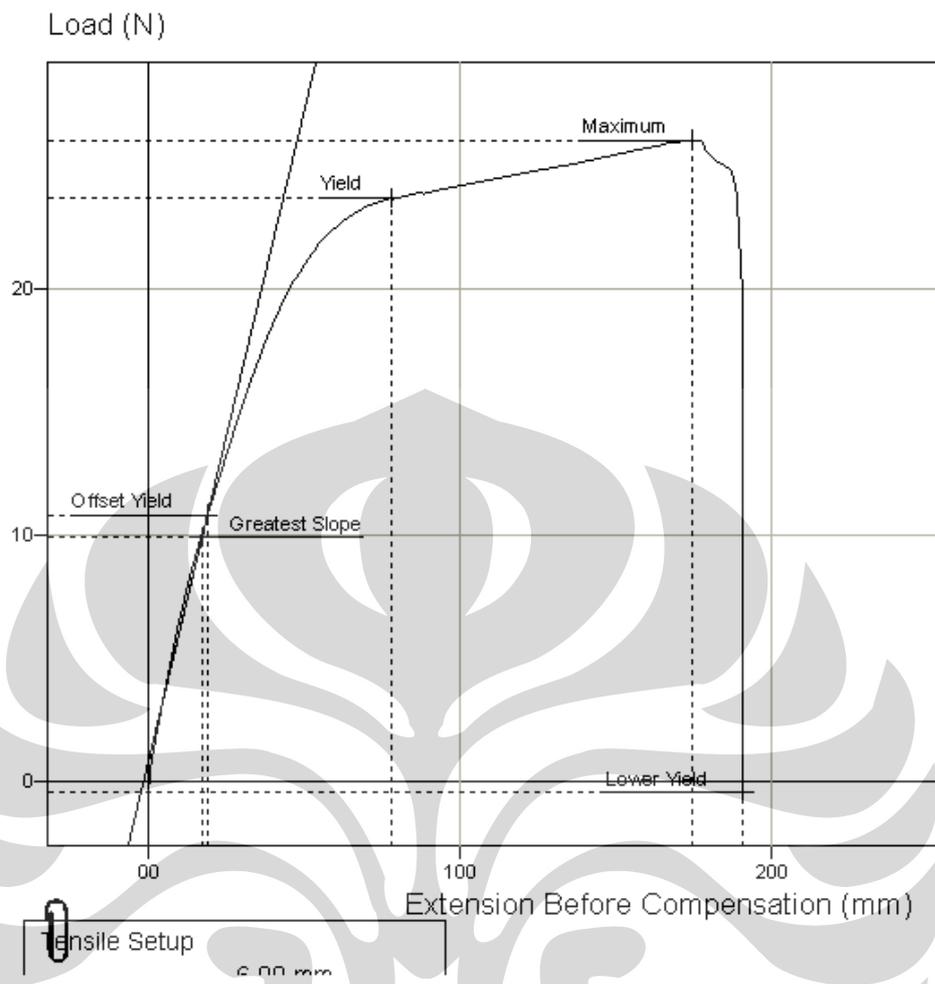
Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.0000 mm	6.5000 mm	39.000 mm <sup>2</sup>

	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	<MEAN Work to Maximum Load>	<MEAN Load at Break>	<MEAN Extension at Break>	<MEAN Work to Break>
Coefficient of Variation	0.00%	<DEVIATION Work to Maximum Load>	<DEVIATION Load at Break>	<DEVIATION Extension at Break>	<DEVIATION Work to Break>

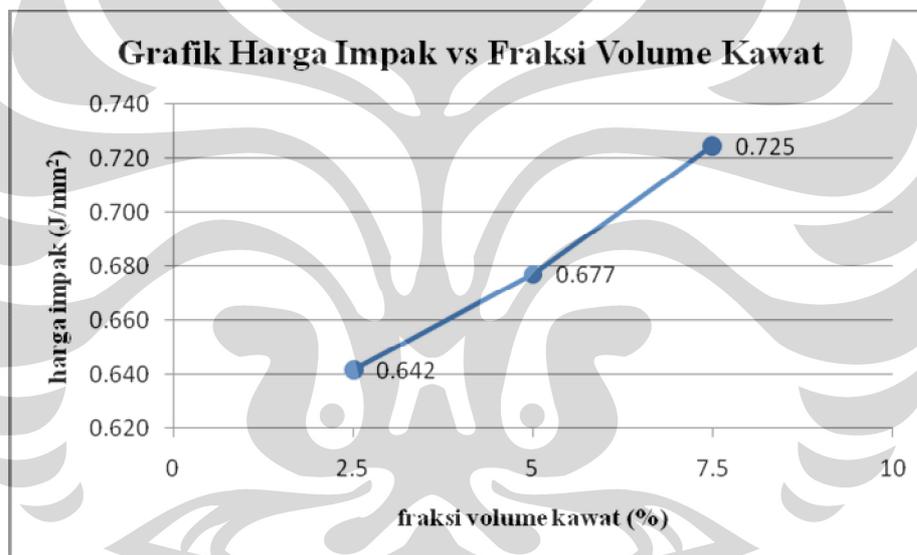
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	23.730 N	61.127 mm	-0.47773 N	173.95 mm	10.828 N	1.9911 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%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

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd



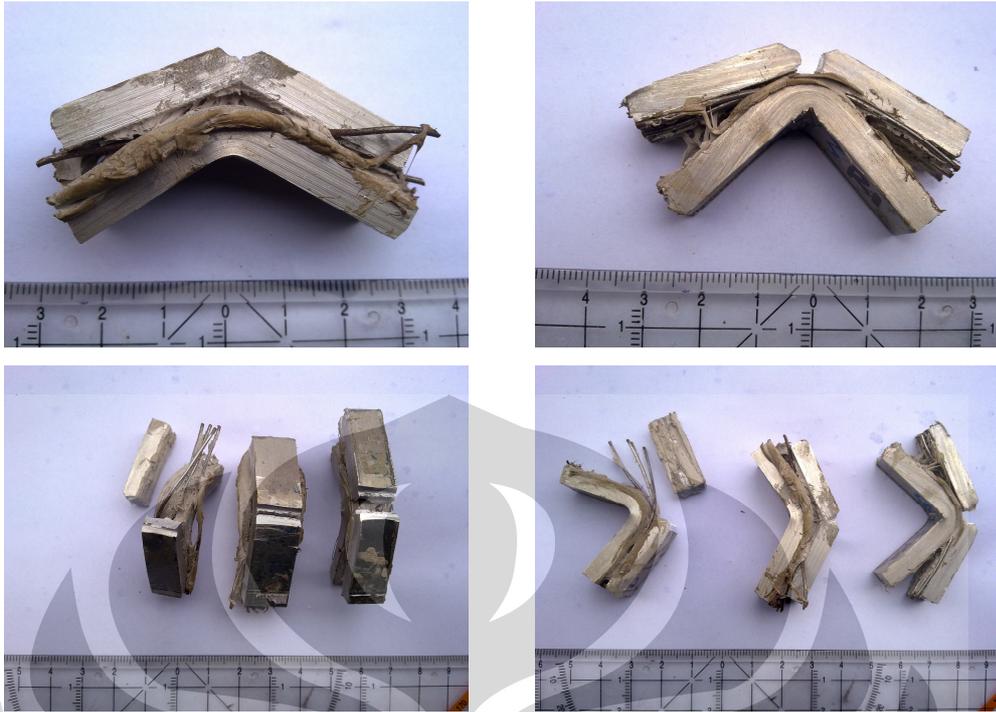
#### Lampiran 4 : Hasil pengujian impact

kode sampel	Fraksi kawat	nomer sampel	dimensi		energi diserap (joule)	harga impact ( $J/mm^2$ )	harga impact rata2 ( $J/mm^2$ )
			lebar (mm)	tebal (mm)			
5U10-2.5	2.5	1	10.20	12.66	84	0.650	0.642
		2	14.68	13.26	90	0.462	
		3	10.26	12.00	100	0.812	
5U10-5	5	1	13.60	12.42	102	0.604	0.677
		2	14.18	12.92	130	0.710	
		3	14.20	12.56	128	0.718	
5U10-7.5	7.5	1	13.42	12.30	108	0.654	0.725
		2	12.72	12.02	118	0.772	
		3	14.10	12.90	136	0.748	



- Foto sampel uji impact dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%





- Foto sampel uji impak dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 5%



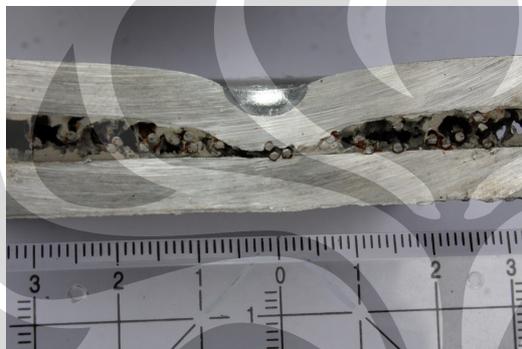
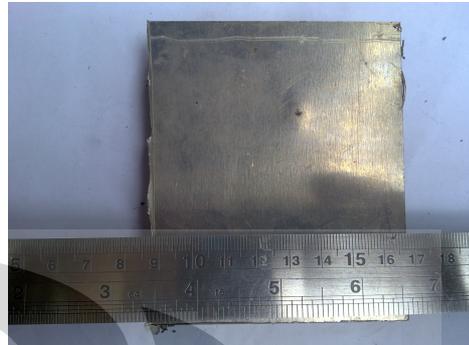
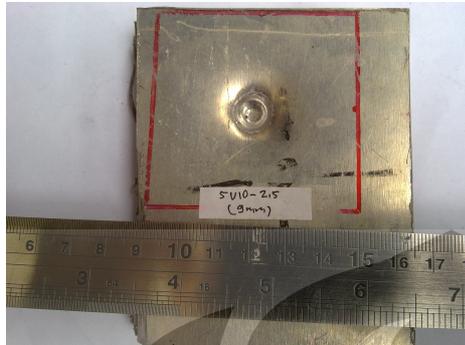


- Foto sampel uji impak dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 7.5%

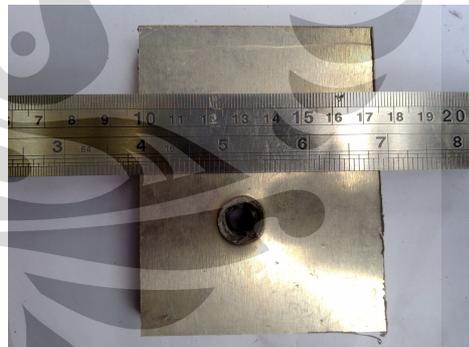


**Lampiran 5 : Hasil foto makro**

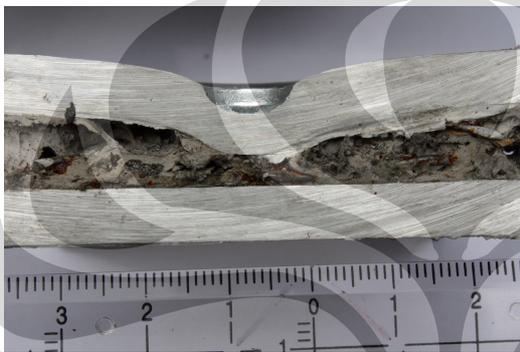
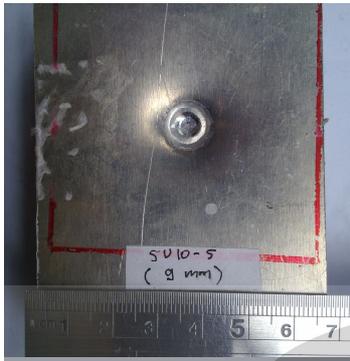
- Sampel komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 2.5%
  - Peluru kaliber 9 mm



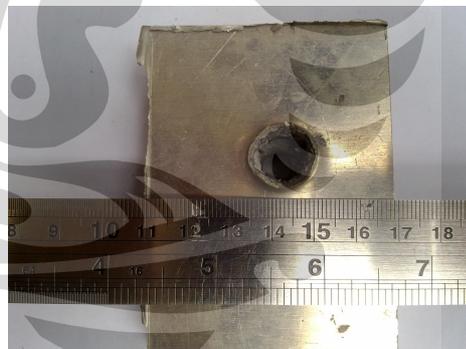
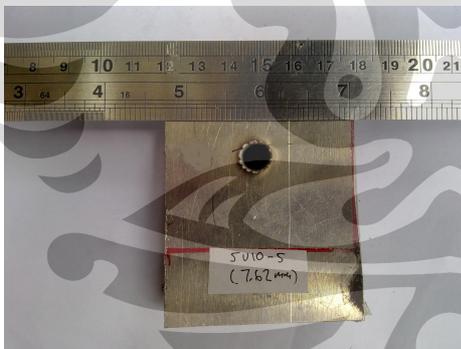
- Peluru kaliber 7.62 mm



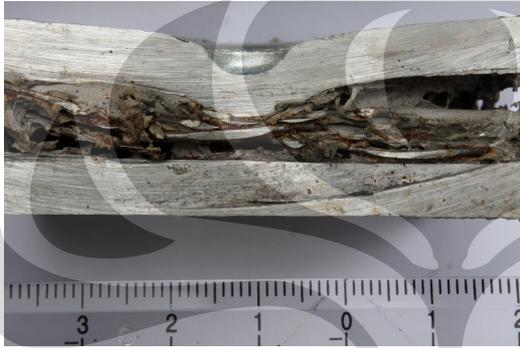
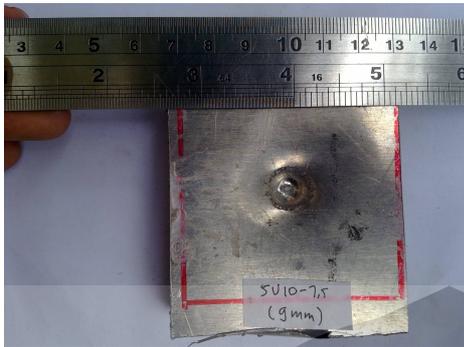
- Sampel komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 5%
  - Peluru kaliber 9 mm



- Peluru kaliber 7.62 mm



- Sampel komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja karbon tinggi 7.5%
  - Peluru kaliber 9 mm



- Peluru kaliber 7.62 mm

