



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN PELAT KOMPOSIT AA5083 TAHAN PELURU
DENGAN PENGUAT KAWAT BAJA KARBON TINGGI
BERDIAMETER 1.4 mm YANG DISUSUN SATU ARAH DAN
VARIASI FRAKSI VOLUME 2.5, 5 DAN 7.5%**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HESTI IBRAHIM
0706268581**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hesti Ibrahim

NPM : 0706268581

Tanda Tangan:

Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hesti Ibrahim
NPM : 0706268581
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Perancangan Pelat Komposit Aa5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5, 5 Dan 7.5%

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

DEWAN PENGUJI

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

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

Penguji 2 : Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar M.S. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan pencapaian gelar Sarjana Teknik jurusan Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tanpa bantuan dan saran dari berbagai pihak, saya akan sulit menyelesaikan berbagai proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah membantu, memimbing dan memberikan ilmu kepada saya dengan bantuan berupa tenaga, pikiran dan waktunya sehingga saya dapat menyelesaikan 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, sebagai pembimbing saya dalam penyelesaian skripsi ini dengan baik;
6. PT PINDAD yang telah banyak membantu dalam proses pengujian balistik;
7. Ibrahim dan Ermi Zainah, sebagai kedua orang tua yang telah banyak membantu saya baik sebagai doa maupun materi, merekalah alasan saya bisa menyelesaikan skripsi ini;
8. Bang Ricki, bang Ardi, kak Heidi, kak Ayu, saudara yang selalu menyemangati dan pemberi inspirasi saya;
9. Adenanta Saputra, *you gave me light when everythings turn out dark*;
10. Teman seperjuangan dalam KP dan TA komposit aluminium tahan peluru, Novian Lamanda Putra, Muhammad Ridwan, Muhammad Nurrahman, Abdan Syakuura, Fariz Ammar Bujakesuma, dan Henri Suropati, terima kasih atas kerja samanya, gelak tawanya dan semua yang telah kita jalani selama 1.5 tahun ini kawan;
11. Para senior yang mengerjakan TA bersama kita, Ferdian, Riki, Bang Tri, Nduy, terima kasih atas segala bantuannya;

12. Para asisten laboratorium pengecoran, terima kasih telah meminjamkan tempat pengerjaan TA, serta membantu kita dalam pengerjaannya;
13. Para asisten laboratorium DT, yang telah meminjamkan alat-alat uji yang kita pergunakan;
14. Bibsy, Miska, Kiki, Astri, Hilda, Lia, Christine, Sari, Dinda, Henny, sebagai teman sejati selama 4 tahun, kalian adalah perempuan yang sangat kuat;
15. Teman-teman metal 07, terima kasih atas semua dukungannya, canda tawa, 4 tahun ini sangat berarti dan berwarna;
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 Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Depok, 28 Juni 2011

Penulis

Hesti Ibrahim

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Hesti Ibrahim
NPM : 0706268581
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 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5, 5 dan 7.5%”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 30 Juni 2011

Yang menyatakan

(Hesti Ibrahim)

ABSTRAK

Nama : Hesti Ibrahim
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Perancangan Pelat Komposit Aa5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1.4 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5, 5 Dan 7.5%

Pengembangan komposit saat ini telah banyak dilakukan, terutama pada bidang militer. Salah satunya adalah komposit aluminium dengan berbagai jenis penguat yang telah berhasil menahan proyektil dengan berbagai ketebalan. Dalam penelitian ini, komposit aluminium balistik yang dipelajari adalah komposit dengan matriks berupa AA 5083 dengan penguat kawat baja karbon tinggi dan adhesif *polyurethane* sebagai perekat antara matriks dan penguatnya.

Komposit divariasikan dengan 3 fraksi volume kawat baja, yaitu 2.5, 5, dan 7.5% dengan kawat baja berdiameter 1.4 mm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian tarik, impak dan balistik. Sehingga dapat diketahui sifat mekanis, kemampuan penyerapan energi pada komposit dan ketahanan komposit menahan proyektil. Struktur makro pasca uji balistik diamati dengan kamera beresolusi tinggi.

Hasil pengujian membuktikan bahwa semakin meningkat jumlah fraksi volume kawat baja yang dipergunakan, semakin baik kemampuan komposit menahan penetrasi balistik. Pengujian menggunakan 2 jenis proyektil, 9 mm menggunakan pistol P2 PINDAD dan 7.62 mm menggunakan senapan laras panjang SPR-1. Harga impak terbesar terdapat pada sampel fraksi volume kawat 7.5% sebesar 0.68 J/mm^2 . Modulus elastisitas terbaik juga terdapat pada sampel berfraksi volume kawat baja 7.5% sebesar 39.2 GPa. Pada pengujian balistik, sampel dapat menahan laju proyektil pada penggunaan proyektil 9 mm, tetapi pada penggunaan proyektil 7.62 mm, proyektil berhasil menembus sampel. Pada pengamatan struktur makro, terdapat banyak void, sehingga penggunaan adhesif *polyurethane* tidak berfungsi secara optimum.

Kata kunci :

Balistik, aluminium komposit, polyurethane, tahan peluru, laminat.

ABSTRACT

Name : Hesti Ibrahim
Major : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Design of AA5083 Armor Plates Reinforced by Unidirectional 1.4 mm High Carbon Steel Wire with Volume Fraction of 2.5, 5 and 7.5 %

Composite material has been widely used for military application. Some examples use aluminum based composite reinforce with many kind of material that can withstand penetration with many thickness. This research evaluates ballistic aluminum composite with AA5083 as the base material and reinforce with high carbon wire that is attached with polyurethane adhesive.

The composite is varied by the volume fraction of the wire of 2.5, 5 and 7.5%. The test include tensile, impact and ballistic testing, to study the mechanical properties and the ability of the composite to absorb energy and withstand the projectile. Ballistic fracture was observed by using high resolution camera.

The result showed that the higher the fraction volume of the wire, the better the capability of the composite in holding the projectile. The highest impact value of 0.68 J/mm² and the highest elastic modulus of 39.2 GPa was achieved by the sample with 7.5% of wire. All sample were not penetrated by 9 mm projectile from P2 gun, but on the other hand all were penetrated by 7.62 mm bullet from SPR-1 gun. Macrostructure observation showed that voids were presents in the sample, indicating that the polyurethane adhesive didn't well function in the composite.

Keyword :

Ballistic, Aluminum composite, polyurethane, bullet proof, laminate.

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
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
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	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Balistik	6
2.2. Aluminium	10
2.2.1. Dasar Teori dan Sistem Penamaan Aluminium	10
2.2.2. Aluminium 5083 sebagai Panel Anti Peluru	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	16
2.4.1. Adhesif pada Komposit	16
2.4.2. Adhesif <i>Polyurethane</i>	18
2.4.3. <i>Polyurethane Seal 'N' Flex Bostik Findley</i>	18
2.5. Komposit	19
2.5.1. Definisi Komposit	19
2.5.2. Komposit Balistik	20
2.5.3. Teori Mikromekanik	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Diagram Alir Penelitian	23
3.2. Alat dan Bahan	24
3.2.1. Alat	24
3.2.2. Bahan	24
3.3. Prosedur Pembuatan Sampel	24
3.3.1. Perhitungan Fraksi Volume	24
3.3.2. Pembuatan Alat Bantu	26
3.3.3. Persiapan Bahan	29
3.3.4. Proses Laminasi Sampel	32
3.3.5. Pemotongan Sampel	34
3.4. Karakterisasi Material	34

3.4.1.	Pengujian Tarik	34
3.4.2.	Pengujian Impak pada Komposit.....	38
3.4.3.	Pengujian Balistik.....	40
3.4.4.	Pengamatan Struktur Makro	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1.	Manufaktur Laminat Aluminium Balistik	43
4.1.1.	Analisa Kelurusan Kawat	43
4.1.2.	Perhitungan Fraksi Volume	46
4.2.	Perhitungan Teoritik Sifat Mekanik Komposit Laminat Aluminium Balistik dengan Metode Mikromekanik	49
4.3.	Pengaruh Fraksi Volume terhadap Kekuatan Impak Laminat	57
4.3.1.	Perbandingan Hasil Pengujian Impak dengan Perbedaan Jenis Kawat Penguat dan Penyusunannya.....	55
4.4.	Karakteristik Balistik Laminat Aluminium	58
4.4.1.	Dimensi Perforasi Balistik.....	58
4.4.2.	Struktur Makro Perforasi	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1.	Kesimpulan	75
5.2.	Saran	76
DAFTAR REFERENSI		77
LAMPIRAN		81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan komposisi kimia pada Aluminium <i>Alloy</i> 5083	12
Tabel 2.2. Sifat fisikal AA 5083	12
Tabel 2.3. Sifat mekanik <i>wire rope</i>	16
Tabel 2.4. Sifat Seal 'N' Flex	19
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. Data volume masing-masing fraksi volume kawat baja	26
Tabel 3.2. Jumlah kawat baja karbon tinggi berdasarkan fraksi volumenya	26
Tabel 3.3. Dimensi sampel sesuai standar ASTM E8	35
Tabel 3.4. Data spesimen uji tarik adhesif	37
Tabel 3.5. Spesifikasi proyektil yang dipergunakan	40
Tabel 4.1. Data volume teoritis dan fraksi volume pada aluminat laminat komposit	47
Tabel 4.2. Data volume sampel aluminium laminat komposit	48
Tabel 4.3. Data perbandingan volume teoritis komposit dan volume aktual	48
Tabel 4.4. Data pengujian tarik modulus elastisitas pada komposit	50
Tabel 4.5. Modulus elastisitas pelat komposit berdasarkan fraksi kawat baja	51
Tabel 4.6. Nilai impact pada pengujian impact	52
Tabel 4.7. Harga impact dari komposit dengan penyusunan searah menggunakan kawat baja berdiameter 1 mm	55
Tabel 4.8. Harga impact dari komposit dengan penyusunan <i>multidirectional</i> menggunakan kawat baja berdiameter 1 mm	56
Tabel 4.9. Dimensi hasil perforasi sampel komposit laminat pada pengujian balistik	61
Tabel 4.10. Data diameter proyektil pada sampel kawat baja 1 mm <i>unidirectional</i>	64
Tabel 4.11. Data diameter proyektil pada sampel kawat baja 1 mm <i>multidirectional</i>	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Klasifikasi kaliber menggunakan Type I berupa <i>handgun</i> 22 LR dan 38 <i>special</i>	7
Gambar 2.2.	Type II Magnum 357 menggunakan kaliber 9 mm	7
Gambar 2.3	Type III 44 Magnum 9 mm dan <i>Submachine Gun</i>	8
Gambar 2.4.	Type III <i>high powered rifle</i> , 223 Remington dan Carbine.....	8
Gambar 2.5.	<i>Armor piercing rifle</i> caliber 30 <i>nickel</i>	9
Gambar 2.6.	Proses penetrasi proyektil APM2 pada pelat AA5083-H116 dengan tebal 20 mm	13
Gambar 2.7.	Penampang melintang bekas uji balistik menggunakan proyektil APM2 pada pelat AA 5083-H116 (kiri) Penampang melintang bekas uji balistik menggunakan proyektil inti baja yang dikeraskan dan dimounting dengan kayu pada pelat AA 5083-H116 (kanan), (a) panel 20 mm, (b) panel dua lapis 40 mm, (c) panel tiga lapis 60 mm.....	14
Gambar 2.8.	Struktur isi <i>wire rope</i>	15
Gambar 2.9.	(a) Struktur penyusunan penampang <i>wire rope</i> (b) Susunan Kawat Baja Karbon Tinggi	15
Gambar 2.10.	Struktur <i>wire rope</i>	16
Gambar 2.11.	Struktur komposit menggunakan adhesif.....	17
Gambar 2.12.	Perbedaan deformasi plastis pada <i>back panel</i> akibat pengaruh ketebalan adhesif (a) adhesif tebal (b) adhesif tipis	17
Gambar 2.13.	Jenis komposit berdasarkan penguatnya.....	20
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2.	a) Batang besi U, dan (b) mur.....	37
Gambar 3.3	Batangan ulir yang telah dilas dan dipasang mur	27
Gambar 3.4.	Besi batangan U yang telah dilubangi dengan mesin bor.....	28
Gambar 3.5.	Besi batangan U yang telah di gerinda lurus.....	28
Gambar 3.6.	Alat bantu cetakan kawatr	29
Gambar 3.7.	Susunan Kawat Baja Karbon Tinggi	30
Gambar 3.8.	(a) <i>Wire rope</i> , (b) 1 strand, (c) kawat baja yang telah dilepas dan dilap, dan (d) kawat baja yang telah diampelas dan diletakkan pada cetakan	31
Gambar 3.9.	a) Proses memasukkan kawat baja ke cetakan kawat, dan (b) rivet	32
Gambar 3.10.	AA5083 yang telah dilapisi <i>polyurethane</i> secara rata.....	33
Gambar 3.11.	a) Cetakan kawat yang diletakkan pada pelat AA5083 yang telah diberi <i>polyurethane</i> , dan (b) proses press pada laminat komposit	33
Gambar 3.12.	a) Hasil aluminium laminat komposit yang telah mengalami proses <i>curing</i> dan <i>pressing</i> , dan (b) gerinda potong	34
Gambar 3.13.	Sampel uji tarik AA5083 sesuai standar ASTM E8.....	35
Gambar 3.14.	Spesimen uji tarik AA 5083.....	35
Gambar 3.15.	Alat uji tarik <i>Universal testing Machine Servopulser Shimazu</i>	36
Gambar 3.16.	Skema sampel uji tarik kawat baja.	36

Gambar 3.17.	Spesimen uji tarik adhesif	37
Gambar 3.18.	Sampel spesimen uji tarik adhesif (a) cetakan dan adhesif yang telah dituang, dan (b) adhesif yang telah <i>curing</i> dan dipotong	38
Gambar 3.19.	Skema dimensi dan bentuk uji benda impact.....	38
Gambar 3.20.	Skema dimensi dan bentuk uji benda impact.....	39
Gambar 3.21.	Sampel uji impact AA5083 <i>unidirectional</i> (a) fraksi volume 2.5%, (b) 5%, dan (c) 7.5%	39
Gambar 3.22.	Pemasangan sampel uji impact pada mesin uji impact.....	40
Gambar 3.23.	Tipe II-A (a) Pistol P2, dan (b) amunisi kaliber 9 mm.....	41
Gambar 3.24.	Tipe III (a) Senapan laras panjang SPR-1, dan (b) amunisi kaliber 7.62 mm.....	41
Gambar 3.25.	Pemotongan sampel menggunakan <i>cutting wheel</i>	42
Gambar 4.1.	Kawat baja karbon tinggi pada cetakan kawat sebelum mengalami proses pendorongan	44
Gambar 4.2.	Kawat pada percobaan pelurusan kawat sebelum diluruskan	44
Gambar 4.3.	Kawat yang telah diluruskan.....	45
Gambar 4.4.	Adanya <i>void</i> pada tanda panah mengakibatkan panel tidak merekat sempurna	49
Gambar 4.5.	Pengaruh fraksi volume kawat baja terhadap harga impact	52
Gambar 4.6.	Bentuk patahan sampel impact pada sampel dengan fraksi volume kawat 2.5%	53
Gambar 4.7.	Bentuk patahan sampel impact pada sampel dengan fraksi volume kawat 5%	54
Gambar 4.8.	Bentuk patahan sampel impact pada sampel dengan fraksi volume kawat 7.5%	54
Gambar 4.9.	Perbandingan harga impact berdasarkan jenis kawat baja dan penyusunan kawat sesuai dengan fraksi volume kawat baja	57
Gambar 4.10.	Hasil penjejakan oleh proyektil 9 mm dan 7.62 mm pada sampel panel komposit (a) Fraksi volume kawat 2.5%, (b) 5%, (c) 7.5%	60
Gambar 4.11.	Diameter penetrasi peluru pada sampel dengan proyektil 9 mm	61
Gambar 4.12.	Jalur laju masuk peluru ditandai dengan no 1-4	62
Gambar 4.13.	Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi bagian depan pelat komposit akibat proyektil 7.62 mm	62
Gambar 4.14.	Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi bagian belakang pelat komposit akibat proyektil 7.62 mm	63
Gambar 4.15.	Perbandingan diameter penjejakan pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm dengan susunan <i>unidirectional</i> dan <i>multidirectional</i> dengan menggunakan proyektil 9 mm	66
Gambar 4.16.	Diameter penjejakan depan pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm dengan susunan <i>unidirectional</i> dan <i>multidirectional</i> dengan menggunakan proyektil 7.62 mm	67
Gambar 4.17.	Perbandingan diameter penjejakan belakang pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm dengan susunan <i>unidirectional</i> dan <i>multidirectional</i> dengan menggunakan proyektil 7.62 mm	68
Gambar 4.18.	Perbandingan perforasi pada sampel kawat baja 1 mm dengan susunan <i>unidirectional</i> dan <i>multidirectional</i>	69

Gambar 4.19. Hasil pemotongan sampel berdasarkan fraksi volume kawat baja dan jenis proyektilnya.....	71
Gambar 4.20. Penjejakan dan <i>void</i> pada sampel 9 mm.....	72
Gambar 4.21. <i>Void</i> pada sampel 7.62 mm.....	75



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data spesifikasi material	81
Lampiran 2.	Hasil pengujian OES aluminium 5083	84
Lampiran 3.	Hasil pengujian tarik aluminium	85
Lampiran 4.	Hasil pengujian tarik kawat baja	86
Lampiran 5.	Hasil pengujian tarik adhesif <i>polyurethane</i>	88
Lampiran 6.	Hasil pengujian impak	94
Lampiran 7.	Hasil foto makro penampang utuh	97



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian komposit sebagai pengganti pelat tahan peluru telah banyak dikembangkan sekarang ini. Sebagai komposit, pembuatan pelat tahan peluru merupakan fenomena yang kompleks. Estimasi sifat balistik dari komposit berpenguat fiber sangat sering digunakan terutama apabila ukuran peluru kecil^[1]. Pada lapisan pertama komposit, beberapa kapasitas energi diserap. Sehingga sangat disarankan menemukan perkembangan design yang berbeda untuk menghentikan proyektil apabila energi kinetik melebihi batas penyerapan energi^[1].

Sesuai perkembangan bidang militer di Indonesia, terdapat beberapa jenis material yang umum digunakan, contohnya HARDOX, ARMOX dan bisplate. Hardox adalah pelat tahan aus yang memiliki kekuatan, kualiti yang konsisten, kedataran pada permukaan yang bagus. Kombinasi unik yang memiliki kekerasan yang tinggi, kekuatan yang tinggi dan *impact toughness* yang sangat bagus, sehingga HARDOX sangat umum digunakan dalam berbagai aplikasi. ARMOX adalah pelat proteksi yang sangat umum digunakan dalam hal aplikasi militer^[2]. Bisplate yang umum digunakan sebagai penunjang bidang militer adalah Bisplate High Hardness Armor (Bisplate HHA). Bisplate HHA umumnya digunakan sebagai pertahanan negara Australia. Bisplate HHA memiliki kekuatan dan keandalan yang sangat tinggi^[3]. *Bisalloy Steels* telah dikembangkan sebagai baha armor sebagai bidang pertahanan atau aplikasi lainnya. Peningkatan pengawasan dan pengamanan terhadap berbagai ancaman harus diperhatikan pada armor dengan berat minimum untuk meningkatkan mobilitas sistem pengamanan dan menyimpan energi^[4]. Bisplate, ARMOX dan HARDOX memiliki bahan dasar baja. Pada umumnya, dalam pembuatan panel anti peluru, material yang paling umum digunakan adalah baja. Terdapat beberapa kekurangan material baja seperti^[5] :

- a. Baja memiliki densitas yang tinggi.
- b. Baja tidak cocok sebagai bahan produksi armor ringan.

Oleh karena berbagai faktor yang disebutkan diatas, tujuan untuk mengadakan penelitian yang berhubungan dengan salah satu barang militer yang sangat umum digunakan yaitu panel anti peluru yang terbuat dari Aluminium komposit, berpenguat kawat baja karbon tinggi. Komposit merupakan paduan dari 2 atau lebih material yang digabungkan sehingga didapati sifat yang baru dan lebih dari kedua material tersebut. Komposit yang dikembangkan oleh penulis adalah *Aluminium Matrix Composite*.

Aluminium Matrix Composite didasari oleh *Metal Matrix Composite*, dimana terdapat beberapa keunggulan dalam pemilihannya :

- a. Kombinasi kekuatan dan modulusnya diharapkan memiliki nilai yang baik.
- b. Berat jenis yang rendah.
- c. Mempunyai kekuatan fatik yang baik.
- d. Memiliki transfer tegangan dan regangan yang baik.
- e. Ketahanan terhadap temperatur yang tinggi.
- f. Kekuatan tekan dan geser yang baik.

Dalam beberapa dekade, *aluminum based metal matrix composite (MMCs)* telah menjadi material yang menjanjikan sebagai pemilihan bahan armor pada kendaraan yang ringat dan memiliki spesifik *strength* dan *stiffness* yang tinggi, daya impact dan *damping* yang tinggi dan ketahanan *fatigue* yang bagus dibandingkan *Al-alloys*^[2]. Pemilihan aluminium 5083 didasari oleh tingginya densiti baja, sehingga dicari material yang memiliki densiti yang rendah, aluminium memiliki densitas sepertiga baja. Tetapi dikarenakan aluminium tidak memiliki kekuatan sebesar baja, ditambahkan *reinforce* kawat baja karbon tinggi yang memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi. Sebagai *adhesive* penguat dan perekat pada kedua material diatas, diberi polyurethane. Penambahan *adhesive* pada layer meningkatkan area deformasi plastis pada pelat metal, dan membantu menyerap energi kinetic pada proyektil. Ketebalan adhesif mempengaruhi efek terhadap impact pada lapisan yang berdampingan dan mengurangi terjadinya fragmentasi^[6].

Kawat baja karbon tinggi yang dipergunakan memiliki kekuatan tarik hingga 1960 MPa, sehingga diharapkan dapat menyerap energi hentakan akibat

peluru. Polyurethane dipilih dikarenakan polyurethane memiliki sifat ductility pada saat kering, sehingga daya ikat pada aluminium 5083 dan kawat baja karbon tinggi dapat dilakukan secara maksimal.

Pada penelitian juga diberikan factor fraksi volume kawat baja karbon tinggi. Fraksi volume yang diberikan adalah sebesar 2,5%, 5%, dan 7,5%. Fraksi volume ini diharapkan dapat memberikan gambaran dimana penempatan volume yang pas pada panel aluminium komposit ini.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini merupakan bagian dari pembuatan pelat komposit dengan matrix aluminium 5083 yang diperkuat kawat baja karbon tinggi berdiameter 1.4 mm dan beradesif polyurethane. Penelitian diperlukan untuk menjawab tantangan ketersediaan matrix tahan peluru ringan. Penelitian ini membentuk *laminat* komposit yang diharapkan dapat memberikan hasil berupa ketahanan terhadap uji balistik yang tinggi sehingga terbentuk sebuah gabungan material baru yang digunakan untuk aplikasi panel penahan peluru. Pengujian balistik dilakukan dengan 3 fraksi volume 2.5, 5, dan 7.5% sehingga dapat dibandingkan hasil yang diperoleh pada saat uji balistik. Fraksi volume juga menentukan komposisi terbaik dari komposit yang dirancang. Pengujian lainnya adalah dengan menguji sifat mekanis komposit melalui uji impak dan uji tarik. Pengamatan struktur mikro dan makro dilakukan setelah uji balistik selesai dilakukan, dan pengamatan dilakukan pada jejak bekas tembakan akibat uji balistik dengan menggunakan mikroskop optik. Tahap akhir yang perlu dilakukan adalah melakukan perbandingan hasil pengujian dengan perhitungan teori makromekanik komposit.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui kemampuan pelat komposit aluminium 5083 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun searah (*unidirectional*) dengan variasi fraksi volume 2.5, 5 dan 7.5% untuk dapat menahan penetrasi dari peluru-peluru melalui pengujian balistik.

- b. Mengetahui dan menganalisis seberapa besar pengaruh penambahan fraksi volume penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun satu arah terhadap sifat mekanik dan ketahanan terhadap beban impak balistik pada pelat komposit aluminium 5083 tahan peluru.
- c. Mengetahui dan menganalisis kekuatan makromekanik dari pelat komposit aluminium 5083 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun satu arah dengan variasi fraksi volum 2.5, 5 dan 7.5%.
- d. Mengetahui mekanisme penetrasi proyektil pada pelat komposit aluminium 5083 berpenguat kawat baja karbon tinggi dan peran masing-masing material penyusun dalam menahan penetrasi.
- e. Membandingkan pengaruh susunan kawat dan diameter kawat dalam pengujian impak dan diameter penjejakan proyektil pada uji balistik.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material yang dibutuhkan untuk membuat *laminat* komposit sebagai panel anti peluru ini adalah pelat aluminium 5083, penguat kawat baja karbon tinggi berdiameter 1,4 mm dan adesif polyurethane.
- b. Variasi fraksi volume yang digunakan dalam penelitian ini adalah banyaknya volume kawat baja karbon tinggi pada sebuah pelat komposit pada sampel dengan fraksi volume 2,5% , 5 % , dan 7,5 %.
- c. Proses pembuatan panel anti peluru dilakukan dengan proses laminasi, dimana aluminium 5083 berada pada permukaan luar panel komposit, diisi oleh kawat baja karbon tinggi dengan adesif polyurethane. Proses penyusunan kawat dilakukan secara searah (*unidirectional*). Pemasangan serat dilakukan secara manual dengan mengatur penyusunan dan jarak antar serat dengan menggunakan perhitungan fraksi volume masing-masing. Setelah proses laminasi dilakukan proses *pressing*.
- d. Karakterisasi sampel panel komposit tahan peluru yang meliputi pengujian mekani berupa pengujian tarik (*tensile testing*) dan pengujian impak (*impact testing*), kemudian pengujian balistik, dan terakhir pengamatan struktur secara makro dan mikro dari material.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi dilakukan dengan kerangka alur yang praktis dan mudah, terdiri dari susunan beberapa bab, yaitu :

- Bab I Pendahuluan
Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.
- Bab II Studi Literatur
Berisi mengenai teori-teori mengenai balistik, aluminium, kawat baja dan komposit berdasarkan penelitian yang dilakukan.
- Bab III Metodologi Penelitian
Berisi mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan pada proses penelitian, prosedur penelitian dan pengujian sampel.
- Bab IV Hasil dan Pembahasan
Berisi mengenai pengolahan data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan, baik berupa data angka, gambar maupun grafik.
- Bab V Kesimpulan
Berisi kesimpulan keseluruhan dari hasil penelitian yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balistik

Balistik adalah ilmu yang mempelajari dinamika dari proyektil, aksi internal dari senjata api atau mempelajari proyektil, pergerakannya dan efek yang diakibatkan olehnya. Proyektil adalah media material yang bergerak akibat dari energi yang diberikan dari luar dan memiliki kemampuan merusak material lain. Proyektil yang akan kita pelajari lebih lanjut adalah proyektil peluru.

Terdapat material yang dapat menahan uji balistik. Material ini adalah logam, ceramic, *transparent glazing*, *fabric* dan *fabric-reinforced plastic*. Energi yang diterima proyektil dipengaruhi beberapa faktor seperti komposisi peluru, bentuk caliber, kecepatan impact, berat proyektil, dan jarak tembak. Dikarenakan bermacam-macamnya alat tembak bagi proyektil peluru, maka standar uji bagi pengujian balistik akan berbeda-beda sesuai dengan caliber dan alat tembaknya.

Dalam pengujian balistik, apabila proyektil menembus pelat specimen maka disebut *partial penetration* dan apabila tidak menembus, maka material specimen dianggap memenuhi syarat ketahanan terhadap balistik^[7]. Ketahanan suatu material terhadap impact yang besar dari peluru dipengaruhi oleh ketahanan permukaan luar dari material yang harus sangat keras sehingga membantu memecahkan permukaan luar ujung dari proyektil dan pada material paling dalam harus memiliki kemampuan penyerapan energi yang besar dari proyektil.

Terdapat beberapa klasifikasi caliber pada pengujian balistik^[8].

1. Type I (22 LR; 38 Special)

Armor jenis ini menahan beberapa jenis proyektil dari *handgun* pada caliber 25 dan 32. Pada 22 LR massa peluru 40 gr dengan kecepatan 320 ± 12 m/s. Pada 38 special menggunakan peluru 158 gr dengan kecepatan 259 ± 15 m/s. Type I dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Handgun (a) Kaliber 25^[9], (b) Kaliber 32^[10]

2. Type II-A (Lower Velocity 357 Magnum; 9mm)

Armor tahan terhadap beban dari kaliber 357 Magnum dan 9 mm dengan kecepatan yang rendah dapat dilihat pada Gambar 2.2. Massa peluru 158 dan 124 gr dengan kecepatan 381 ± 15 m/s dan 332 ± 12 m/s.



Gambar 2.2 (a) Magnum 357^[11] dan (b) caliber 9 mm FMJ^[12].

3. Type II (Higher Velocity 357 Magnum; 9mm)

Armor ini tahan terhadap pengujian dengan caliber 357 Magnum dan 9mm FMJ dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu 425 ± 15 m/s dan 358 ± 12 m/s.

4. Type III-A (44Magnum; Submachine Gun 9mm)

Gambar 2.3 merupakan armor yang dalam pengujiannya dapat menahan caliber 9 mm dengan menggunakan 44 Magnum 240 gr dan kecepatan 426 ± 15 m/s dan Submachine Gun 9 mm 124 gr.



Gambar 2.3 (a) 44Magnum 9mm^[13] dan (b) Submachine Gun^[14]

5. Type III (High Powered Rifle)

Armor ini dapat menahan dengan aksi yang lebih rendah seperti 223 Remington (5.56 mm FMJ) dan 30 Carbine FMJ (*Full Metal Jacket*) dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) 223 Remington^[15] dan (b) 30 Carbine^[16]

6. Type IV (Armor-Piercing Rifle)

Armor jenis ini dapat menahan peluru jenis caliber 30 dengan massa 166 gram dan kecepatan $878 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$, sesuai dengan Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Armor Piercing Rifle caliber 30 nickel*^[17].

7. *Special Type*

Pembelian dengan permintaan special dari consumer dengan level proteksi diatas standar sehingga harus dispesifikasikan dengan pengujian.

Juga terdapat beberapa istilah pada pengujian balistik^[8] :

1. *Full Metal Jacketed (FMJ) Bullet*

Sebuah peluru yang dibentuk oleh lapisan timah secara keseluruhan, kecuali pada dasarnya ditutupi oleh tembaga paduan yang pada umumnya 90 Cu-10 Zn.

2. *Jacketed Soft Point (JSP) Bullet*

Sebuah peluru yang dibentuk oleh lapisan timah secara keseluruhan, kecuali pada bagian atas ditutupi oleh tembaga paduan yang pada umumnya 90 Cu-10 Zn.

3. *Lead Bullet*

Sebuah peluru yang dibuat oleh paduan timah dan penguat.

4. *Fair Hit*

Sebuah pukulan impak kepada material balistik dengan sudut tidak lebih dari 5° dan setidaknya berukuran 5cm dari pukulan pertama atau sudut dari specimen dan dengan kecepatan yang sesuai dengan standar.

5. *Strike Face*

Permukaan dari material balistik yang akan menghadap proyektil peluru.

6. *Semiwadcutter*

Karakteristik bentuk dari peluru dengan *flat nose* dan bentuk badan silinder meruncing.

7. *Witness Plate*

Sebuah lembaran paduan aluminium tipis yang diletakkan pada bagian belakang specimen untuk melihat potensial apakah adanya penembusan proyektil.

2.2 Aluminium

2.2.1 Dasar Teori dan Sistem Penamaan Aluminium

Aluminium adalah elemen metal kedua terbanyak di bumi, dan menjadi logam dengan urutan kedua yang sering digunakan setelah baja dan tertinggi diantara logam *non ferrous*. Bijih aluminium atau hidrat aluminium oksida ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$). Aluminium dikenal dengan logam yang memiliki densitas rendah, ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Sifat ketahanan korosi pada aluminium diakibatkan oleh adanya lapisan oksida yang melekat dengan kuat pada permukaan aluminium. Sifat lain yang menguntungkan pada aluminium adalah sangat mudah difabrikasi. Penambahan logam lainnya seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya dapat meningkatkan sifat mekanik pada aluminium^[18].

1. Silikon (Si)

Silicon menambah ketahanan aluminium terhadap korosi. Apabila mengalami *heat treatment*, memiliki kekuatan yang tinggi. Tetapi akibat penambahan silicon, akan mengakibatkan pengerjaan mesin yang jelek, dan ketahanan koefisien yang rendah.

2. Tembaga (Cu)

Tembaga akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada penggabungannya. Penambahan tembaga juga dapat memperhalus struktur butir, mampu tempa, menambah keuletan dan mudah dibentuk.

3. Magnesium (Mg)

Unsur magnesium pada aluminium akan menambah ketahanan korosi dan pengerjaan mesin yang baik dan kemampuan lasan yang cukup.

4. Nikel (Ni)

Unsur nikel membuat aluminium dapat bekerja pada temperatur yang tinggi.

5. Mangan (Mn)

Unsur mangan membuat aluminium mudah dibentuk, tahan korosi yang baik dan kemampuan lasan yang baik.

6. Seng (Zn)

Unsur seng umumnya ditambahkan dengan unsur tembaga dalam jumlah yang kecil. Penambahan seng akan meningkatkan sifat mekanik pada perlakuan panas dan kemampuan mesin aluminium.

Aluminium paduan dibagi menjadi dua klasifikasi, *cast* dan *wrought alloy*. Sistem penamaan menggunakan 4 digit angka (contoh : AA 2xxx). Pembagian pada *cast alloy* ^[19]:

- a. 1xxx Aluminium murni >99%
- b. 2xxx Tembaga
- c. 3xxx Mangan
- d. 4xxx Silikon
- e. 5xxx Magnesium
- f. 6xxx Magnesium-Silikon
- g. 7xxx Zinc
- h. 8xxx Lithium
- i. 9xxx -

Sedangkan pada *wrought alloy* :

- a. 1xxx Aluminium murni >99%
- b. 2xxx Tembaga
- c. 3xxx Silikon/Tembaga/Magnesium
- d. 4xxx Silikon
- e. 5xxx Magnesium
- f. 6xxx -
- g. 7xxx Zinc/Tembaga/Magnesium
- h. 8xxx Tin
- i. 9xxx -

2.2.2 Aluminium 5083 sebagai Panel Anti Peluru

Pengembangan aplikasi aluminium sebagai panel anti peluru telah banyak digunakan dalam bidang militer dikarenakan sifat aluminium yang ringan. Kelas AA5xxx mengandung elemen aluminium-magnesium yang sangat cocok untuk rolling, sehingga pelat aluminium merupakan produk utamanya. Penggunaan utama pelat AA5xxx adalah sebagai struktur pelayaran termasuk *ship hulls* dan *offshore topsides*. Penggunaan lainnya adalah sebagai *ballistic protection*^[20]. Aluminium yang dipergunakan dalam penelitian adalah aluminium tipe AA 5083. AA 5083 merupakan aluminium paduan magnesium yang memiliki komposisi seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan komposisi kimia pada AA 5083 ^[21]

Material	% massa (max)							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AA 5083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15

Tabel 2.2 Sifat Fisikal AA 5083 ^[22]

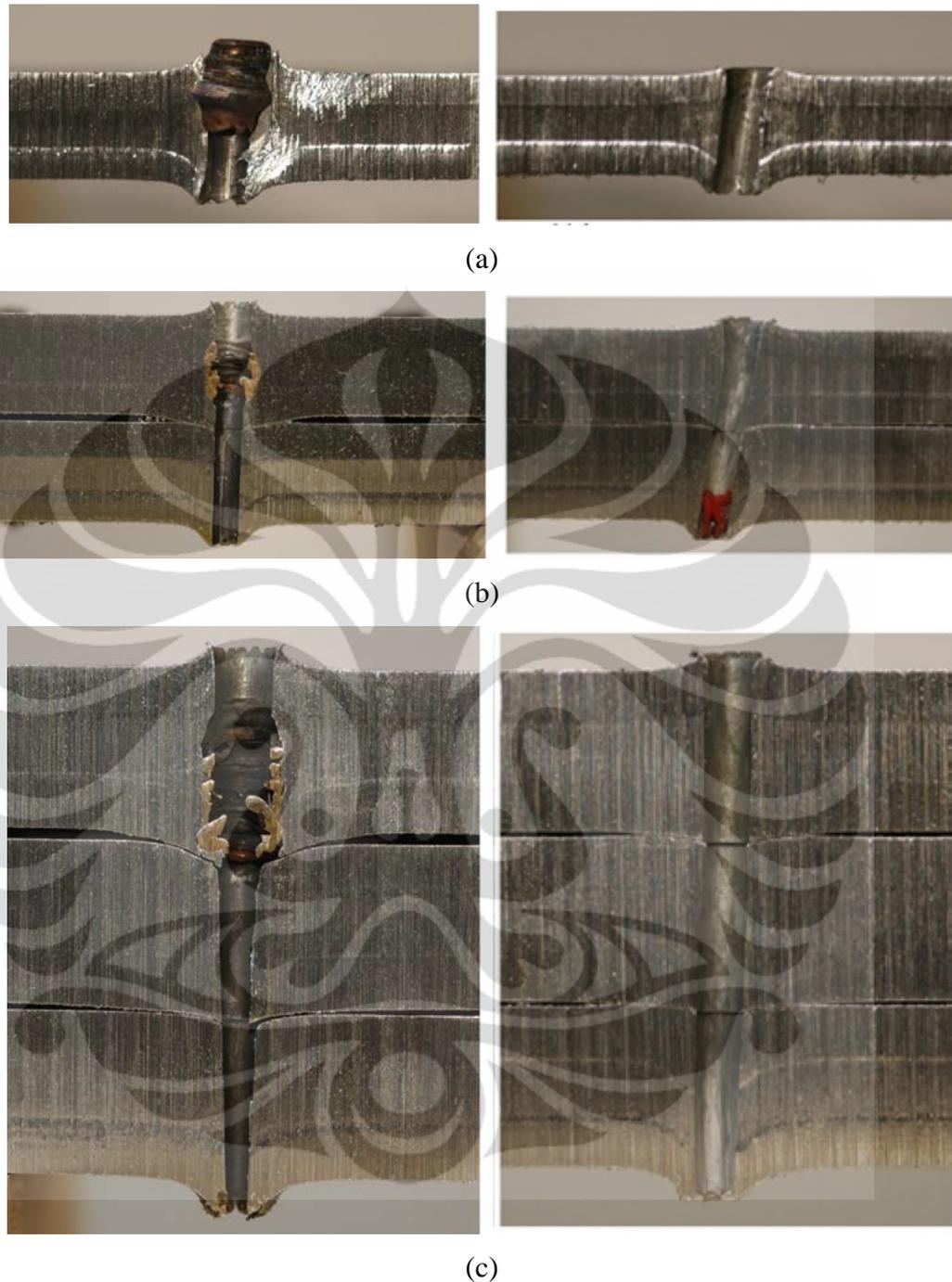
Sifat -Sifat AA 5083	Nilai
Densitas	2.65 g/cm ³
Melting Point	570°C
Modulus Elastisitas	72 Gpa
Resistivitas Listrik	0.058x10 ⁻⁶ Ω.m
Konduktivitas Thermal	121 W/m.K
Ekspansi Thermal	25x10 ⁻⁶ /K

Aluminium 5083 dikenal dengan performanya yang bagus pada kondisi berbagai lingkungan, ketahanan terhadap serangan air laut dan lingkungan industri kimia. Aluminium 5083 juga memiliki kekuatan yang tinggi setelah welding, dan memiliki kekuatan tertinggi pada *non-heat treatable alloys*, tetapi tidak direkomendasikan digunakan pada suhu diatas 65°C. Aluminium 5083 juga memiliki density yang cukup rendah (2.7 g/cm³) dan harga yang cukup terjangkau sehingga penggantian sebagai material utama pada armor yang umumnya menggunakan baja atau kevlar dapat tergantikan.

Sebuah percobaan balistik menggunakan AA 5083 telah dilakukan oleh Borvik et al. Dimana AA 5083-H116 dengan ketebalan 20 mm, 40 mm, dan 60 mm diuji balistik dengan menggunakan proyektil 20mm (*ogive nose rods*) dan 7.62 APM2^[20]. Proses uji balistik dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses penetrasi proyektil APM2 pada pelat AA 5083-H116 dengan tebal 20 mm



Gambar 2.7 Penampang melintang bekas uji balistik menggunakan proyektil APM2 pada pelat AA 5083-H116 (kiri) Penampang melintang bekas uji balistik menggunakan proyektil inti baja yang dikeraskan dan dimounting dengan kayu pada pelat AA 5083-H116 (kanan), (a) panel 20 mm, (b) panel dua lapis 40 mm, (c) panel tiga lapis 60 mm^[20].

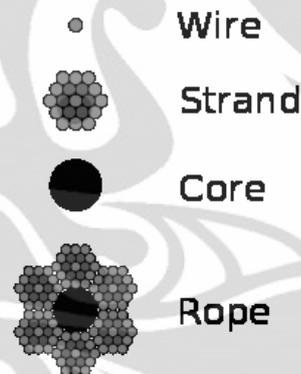
Pada Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa material aluminium AA 5083-H116, semakin tebal panel, semakin kecil penempusan proyektil APM2. Pada panel ketiga didapati bahwa peluru dapat tertahan dan keuletan yang diperoleh sangat

baik karena bentuk hasil penetrasi membentuk proyektil peluru. Sehingga dapat disimpulkan bahwa AA 5083-H116 dapat menahan laju energi kinetik dari proyektil peluru tergantung pada ketebalan panelnya.

2.3 Wire Rope

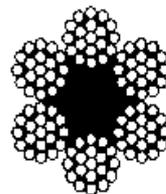
II.3.1 Struktur Wire Rope

Kawat baja karbon tinggi merupakan sebuah penguat yang baik dalam perancangan komposit aluminium tahan peluru dikarenakan kadar karbon yang $> 0.44\%$ sehingga memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi dan tambahan paduan lain yang dapat menambah kegunaannya. Struktur wire rope dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah. Jumlah susunan dari rope apabila memiliki ukuran 6x19, berarti terdapat 6 *strand* yang terdiri dari susunan 19 kawat.

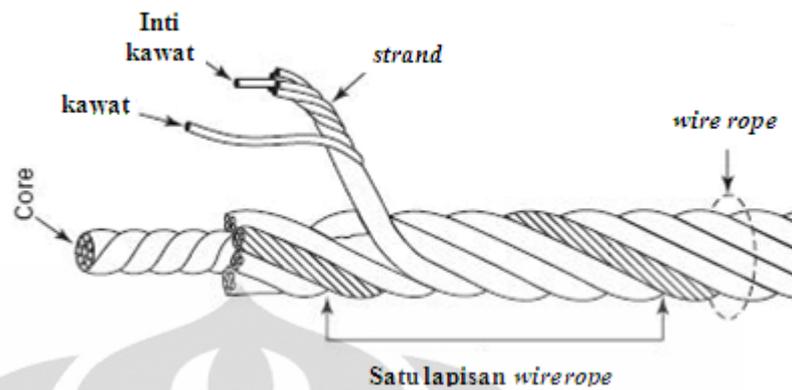


Gambar 2.8 Struktur isi wire rope

6×19 JIS G 3525
Construction : $6 \times (1 + 6 + 12)$



Gambar 2.9. (a) Struktur penyusunan penampang wire rope^[24](b) Susunan Kawat Baja Karbon Tinggi^[24]



Gambar 2.10. Struktur *wire rope*^[25]

2.3.2 Karakteristik *Wire Rope*

Kawat baja karbon tinggi memiliki karakteristik yang berbeda dengan kawat baja pada umumnya. Kawat baja karbon tinggi umumnya dipergunakan sebagai penguat dan aplikasi struktural yang umumnya kawat baja yang dipergunakan dalam penelitian adalah kawat baja berukuran diameter 14 mm. sifat mekanik dari kawat baja yang aja dipergunakan dalam penelitian adalah :

Tabel 2.3. Sifat mekanik *wire rope*^[26].

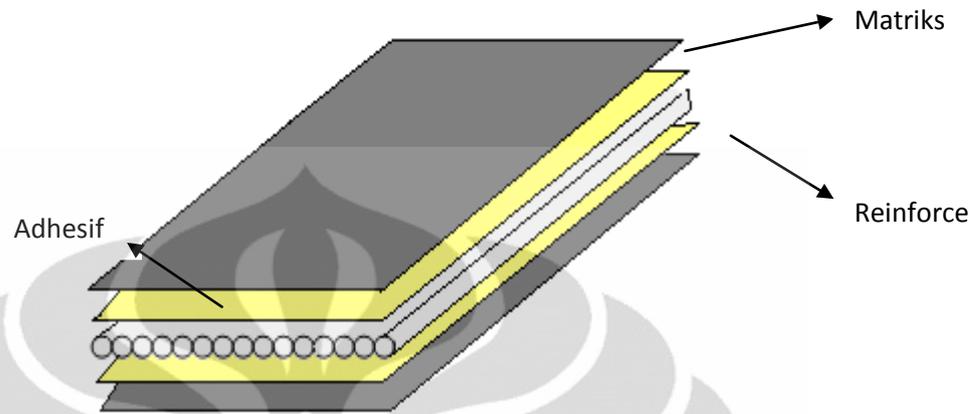
Karakteristik	Spesifikasi
Standar Material	ANSI / API Spec. 9A/2004
Diameter <i>Rope</i>	16 mm
Diameter Kawat	1.03 mm
Kekuatan Tarik Kawat	1960 N/mm ²
<i>Breaking Load</i>	176.52 kN

2.4 Polimer Adhesif

2.4.1 Adhesif pada Komposit

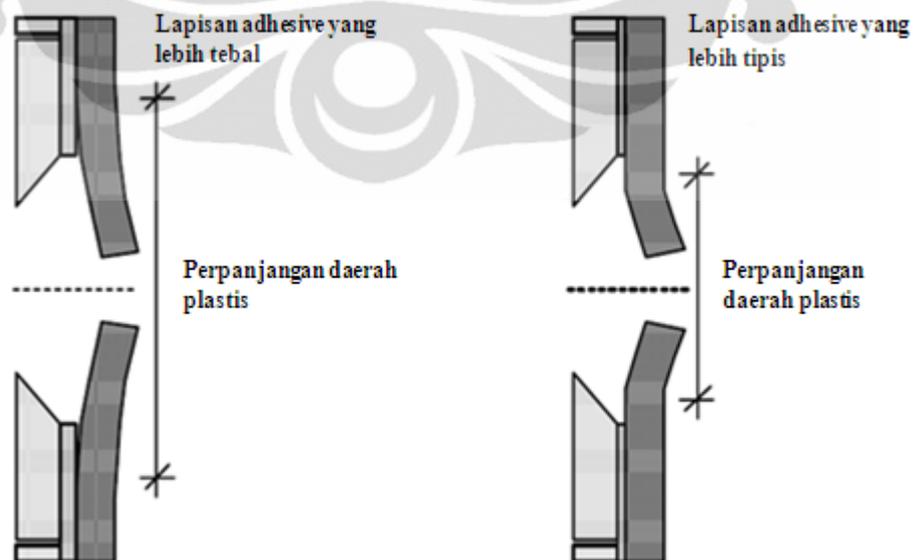
Penggunaan adhesif pada komposit merupakan pilihan dalam proses pembuatan komposit. Pada umumnya penggunaan adhesif dilakukan pada CMC dan MMC. Penggunaan adhesif berfungsi untuk meningkatkan interaksi atau

ikatan antara matriks dan penguatnya. Fungsi adhesif juga dapat meredam energi yang diterima matriks sebelum dihantarkan ke penguat.



Gambar 2.11. Struktur Komposit menggunakan Adhesif

Pada percobaan Zaera et al^[6], komposit keramik alumina (*front*) dan AA2017 (*back*) menggunakan adhesif berupa *polyurethane*. Komposit tersebut akan ditembakkan proyektil 7,62 AP. Dari percobaan dapat dilihat bahwa adhesif menyerap energi kinetik yang dihasilkan oleh proyektil. Semakin tebal adhesif yang diberikan, deformasi plastis pada pelat AA2017 akan semakin besar. Dan apabila adhesif yang diberikan kecil maka deformasi plastis pada AA2017 kecil. Hal ini dijelaskan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. perbedaan deformasi plastis pada *back panel* akibat pengaruh ketebalan adhesif (a) adhesif tebal (b) adhesif tipis^[6]

2.4.2 Adhesif *Polyurethane*

Polyurethane adalah material yang memiliki keuletan karet yang menggabungkan kekerasan dan daya tahan dari logam. *Polyurethane* merupakan polimer yang terdiri dari susunan $-NH-CO-O-$ yang muncul akibat dari reaksi polyol (alcohol dengan dua atau lebih hidroksil reaktif per molekul) dengan diisocyanate atau polymeric isocyanate^[27]. *Polyurethane* memiliki ketahanan terhadap abrasi dan *tear resistance* daripada karet, juga menawarkan kapasitas penerimaan beban yang lebih tinggi. Dibandingkan dengan plastik, *polyurethane* menawarkan ketahanan terhadap gaya impak juga menawarkan ketahanan aus dan elastisitas.

Beberapa keuntungan penggunaan *polyurethane*^[28] :

1. Ketahanan abrasi
2. Ketahanan terhadap minyak dan larutan
3. Kapasitas beban yang tinggi dibanding karet lainnya.
4. Ketahanan terhadap sobekan
5. Ketahanan terhadap cuaca, atmosfer, oksigen dan ozon.
6. Sebagai penghalang suara
7. *Flex-life*
8. Sifat elektrik
9. Ketahanan terhadap panas dan tinggi

2.4.3 *Polyurethane Seal 'N' Flex Bostik Findley*

Polyurethane sebagai adesif pada komposit berfungsi sebagai perekat antara matriks dan penguat. Pada percobaan ini, adhesif *polyurethane* yang digunakan menggunakan merk Seal 'N' Flex Bostik Findley. Adhesif ini berbentuk seperti pasta karet. Umumnya digunakan pada penyambung material seperti pada semen, granit, *sandstone*, jendela aluminium, marble batu bata, beton, *fiber glass* dan material lainnya. Karakteristik Seal 'N' Flex Bostik Findley memiliki modulus yang kecil, terdiri dari 1 komponen dan sebagai *seal polyurethane* kelas A. Seal 'N' Flex tidak bereaksi terhadap perubahan kondisi cuaca seperti hujan, panas, dingin, radiasi UV, ozon, atmosfer dan polusi^[29].

Tabel 2.4. Sifat Seal 'N' Flex^[30]

Penampakan	Tidak lentur, pasta <i>thixotropic</i> yang mulus
Metode curing	<i>Moisture curing</i>
Waktu pelekatan	6-12 jam
Ukuran cure dalam mm/24 jam	2 mm/24 jam
Tensile strength	> 1.3 N/mm ²
Ketahanan kimia	Tahan terhadap asam, alkali, beberapa larutan. Berselang-seling dengan diesel dan petroleum
Elongasi ketika putus	>900%
Temperatur aplikasi	5°C - 35°C
Ketahanan temperatur	-40°C hingga +70°C
Cure penuh	7 hari pada <i>substrate</i> yang berpori

2.5 Komposit

2.5.1 Definisi Komposit

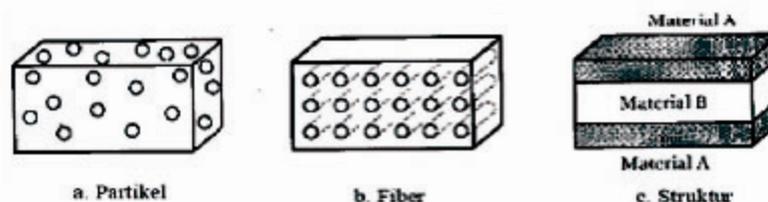
Komposit adalah perpaduan dari beberapa bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusunnya untuk menghasilkan material baru dan unik, dibandingkan dengan sifat material dasarnya sebelum dikombinasikan, terjadi ikatan antara masing-masing material penyusun^[31]. Komposit terdiri dari matriks dan penguat. Matriks adalah material utama yang memiliki sifat dominan dan jumlah berat yang dominan. Matriks diharapkan memiliki keuletan. Fungsi dari matriks adalah untuk mengikat penguat, mentransferkan beban ke penguat, menjaga penguat dari kerusakan pada permukaan diakibatkan oleh abrasi atau serangan kimia. Terdapat beberapa matriks yang dapat digunakan pada proses pembuatan komposit, *ceramic matriks composite* (CMC), *polimer matriks composite* (PMC) dan *metal matriks composite* (MMC). Komposit juga memiliki susunan berupa komposit laminar dan panel *sandwich*^[32].

Ceramic matriks composite dikenal dengan keunggulannya sebagai komposit yang sangat keras dan tahan terhadap aus, memiliki titik didih yang tinggi, ketahanan terhadap reaksi kimia, memiliki kekuatan tekan, memiliki

densitas yang rendah tetapi memiliki kekurangan karena sulit diproduksi dan getas. *Polimer matriks composite* dikenal dengan keunggulan berupa stabilitas dimensi yang baik, resistan terhadap *moisture* dan *solvent*, T_g yang tinggi, memiliki *tensile modulus*, *tensile strength* dan *fracture toughness* yang tinggi tetapi memiliki kekurangan berupa *brittle*, mahal, tidak memiliki standarisasi, modulus elastisitas rendah, dan tidak ramah lingkungan.

Metal matriks composite adalah komposit yang umum digunakan pada kehidupan sehari-hari. *Metal matriks composite* memiliki keunggulan berupa kombinasi kekuatan dan modulusnya yang baik, berat jenisnya cenderung lebih rendah, ratio kekerasan dengan berat dan modulus dengan berat lebih baik dari logam, kekuatan fatik yang cukup baik dan konduktivitas panas dan listrik baik. Penggunaan MMC juga menjadi dasar mengapa komposit pada umumnya menggunakan metal sebagai matriksnya. Dibandingkan dengan PMC, MMC memiliki transfer tegangan dan regangan yang baik, ketahanan terhadap temperatur yang tinggi, tidak menyerap kelembaban, tidak mudah terbakar dan memiliki kekuatan tekan dan geser yang lebih baik, tetapi terdapat beberapa keterbatasan pada penggunaan MMC yaitu harganya yang mahal, dan ketersediaan standarisasi material dan proses pembuatan yang sedikit.

Sedangkan untuk penguat pada komposit terbagi menjadi 2, yaitu *particulate reinforced composites* dan *fibre reinforced composites* (FRC) dan struktural. Sifat *particulates* pada umumnya lebih keras dan lebih kaku daripada matriks materialnya, ukurannya macro, micro atau nan, contoh materialnya adalah TiC, SiC atau Al_2O_3 . Fiber memiliki sifat yang kuat pada *interfacial bond*.



Gambar 2.13 Jenis komposit berdasarkan penguatnya ^[31]

2.5.2 Komposit Balistik

Penggunaan komposit pada panel anti peluru telah menjadi hal yang menarik dalam beberapa periode belakang ini. Penggantian panel baja tahan

peluru menjadi panel komposit tahan peluru dilatar belakangi oleh berbagai alasan karena karakteristik baja yang memiliki densitas yang tinggi sehingga tidak cocok untuk bahan produksi armor ringan dan *cost* produksi yang lebih mahal. Kevlar sebagai material komposit dengan serat penguat aramid memiliki kekuatan yang sangat tinggi, ketahanan panas yang tinggi tetapi memiliki harga yang mahal sehingga penelitian yang berdasarkan komposit masih banyak dilakukan.

Komposit yang umum digunakan pada aplikasi militer adalah baja. Komposit baja harus memiliki syarat :

- 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.

Sedangkan pada komposit keramik, umumnya berupa komposit laminat dengan dua lapisan. Yaitu lapisan keramik yang keras pada permukaan depan untuk memecah peluru dan bagian penguat (dan adhesif) untuk meredam pergerakan peluru.

2.5.3 Teori Mikromekanik

Teori mikromekanik adalah cara untuk mengetahui kemampuan material dalam skala mikro dan mengontrol sifat mekanis dari komposit^[33]. Beberapa hal yang mempengaruhi kekakuan pada komposit adalah kekakuan longitudinal (*longitudinal stiffness*), kekakuan transversal (*transverse stiffnes*), dan modulus geser.

Pada kekakuan longitudinal.

Diasumsikan sebagai kondisi isostrain, yakni regangan dari komposit, matriks dan penguat memiliki nilai yang sama. Sehingga :

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f \quad (2.1)$$

Dimana :

ε_m adalah regangan matriks

ε_f adalah regangan serat.

Sesuai dengan hukum pencampuran

$$E_c = E_m v_m + E_f v_f \quad (2.2)$$

Dimana :

v_m adalah fraksi volume matriks

v_f adalah fraksi volume serat

Pada kekakuan transversal material mengalami isostress diakibatkan adanya beban tegak lurus pada arah serat. Maka :

$$\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f \quad (2.3)$$

Dimana :

σ_c adalah regangan komposit

σ_m adalah regangan matriks

σ_f adalah regangan serat.

Sehingga modulus elastisitasnya :

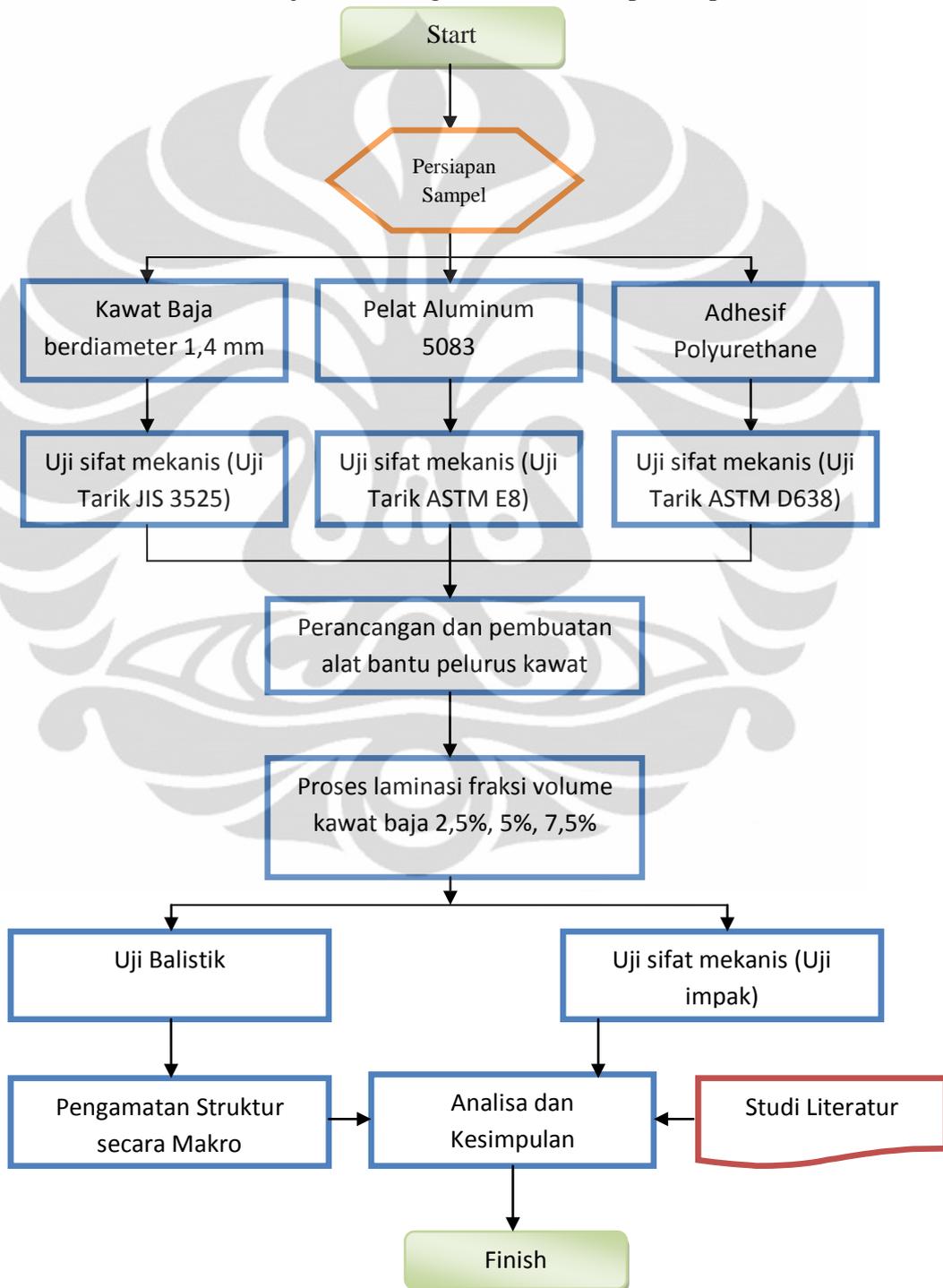
$$\frac{1}{E_c} = \frac{v_m}{E_m} + \frac{v_f}{E_f} \quad (2.4)$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menjelaskan diagram alir selama proses penelitian.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang dipergunakan selama proses penelitian baik berupa peralatan pembuatan sampel hingga pengujian adalah :

1. Cetakan Sampel, yang terdiri dari :
 - a. Ulir 1 meter dengan diameter 12 mm
 - b. Besi U
 - c. Mur
2. *Cutting wheel*
3. *Bend saw*
4. *Jig saw*
5. Gerinda potong
6. *Drilling machine*
7. Timbangan digital
8. Cetakan adhesif
9. Amplas kekasaran 120
10. Mesin press Krisbow
11. Mesin uji tarik (Servopulser Shimadzu)
12. Mesin uji tarik polimer
13. Mesin uji impak
14. Kamera SLR

3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan selama proses penelitian :

1. *Aluminium Alloy 5083*
2. Kawat baja karbon tinggi dengan diameter 14 mm
3. Adhesif *polyurethane* (PU)

3.3 Prosedur Pembuatan Sampel

3.3.1 Perhitungan Fraksi Volume

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat diagram alur proses pembuatan sampel. Pemilihan fraksi volume pada sampel adalah 2.5%, 5%, dan 7.5%. fraksi volume

ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak volume penguat kawat baja karbon tinggi yang akan disusun pada sampel dan mengetahui perbandingan dari ketiga jenis sampel yang akan diuji, seperti perbandingan sifat mekanis dari ketiga sampel. Sehingga dari perbandingan ketiga sampel diharapkan mendapatkan sifat yang sesuai dengan yang diinginkan.

Perhitungan fraksi volume penguat diambil dari total volume pelat aluminium komposit sehingga fraksi volume dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_f \text{ penguat} = \frac{V \text{ penguat}}{V \text{ komposit}} \quad (3.1)$$

$$V_f \text{ aluminium} = \frac{V \text{ matrix}}{V \text{ komposit}} \quad (3.2)$$

Dimana :

V_f = fraksi volume

V = volume (cm³)

Volume matriks didapat dari :

$$V \text{ matrix} = 2x(30.5x30.5x0.6) = 1116.3 \text{ cm}^3 \quad (3.3)$$

Sehingga dengan fraksi volume kawat baja 2.5, 5, dan 7.5% kita dapat menentukan volume kawat baja dengan mengumpamakan fraksi volume matriks 97.5, 95 dan 92.5%. Dengan menggunakan Persamaan 3.1 dan 3.2, kita dapat menghitung volume komposit, sehingga volume penguat juga dapat dihitung, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah.

Fraksi volume aluminium (V_f aluminium) dapat dihitung dengan $1-V_f$ penguat. Sehingga dari persamaan (3.2) dan (3.3) dapat didapati persamaan :

$$V_{\text{komposit}} = \frac{V \text{ matrix}}{1-V_f \text{ penguat}} = \frac{1116.3}{1-V_f \text{ penguat}} \quad (3.4)$$

Sehingga dapat dihitung volume dari total aluminium komposit sesuai fraksi volume kawatnya. Maka dari Persamaan (3.4) dapat ditarik sebuah data volume masing-masing isi komposit aluminium.

Tabel 3.1. Data volume masing-masing fraksi volume kawat baja.

Fraksi Volume kawat baja (%)	Volume aluminium (cm ³)	Volume total komposit (cm ³)	Volume kawat baja (cm ³)
2.5	1116.3	1144.92	28.62
5	1116.3	1175.05	58.75
7.5	1116.3	1206.81	90.51

Masing-masing volume kawat baja sesuai dengan fraksi volumenya dipengaruhi juga oleh volume 1 kawat baja, sehingga dapat diketahui berapa banyak kawat baja yang dibutuhkan. Diameter kawat yang dipergunakan adalah 1.4 mm dan dengan panjang 30.5 cm. sehingga volume satu batang kawat adalah :

$$V \text{ satu kawat} = \pi r^2 x 30.5 = 3.14 x 0.07^2 x 30.5 = 0.469 \text{ cm}^3 \quad (3.5)$$

Berdasarkan Tabel 3. volume kawat yang ditentukan mempengaruhi fraksi volume kawat penguatnya. Maka persamaan dibawah menentukan jumlah kawat yang dibutuhkan masing-masing fraksi.

$$\text{Jumlah kawat} = \frac{V \text{ kawat}}{V \text{ satu kawat}} \quad (3.6)$$

Sehingga didapati jumlah kawat yang dibutuhkan masing-masing fraksi

Tabel 3.2 Jumlah kawat baja karbon tinggi berdasarkan fraksi volumenya.

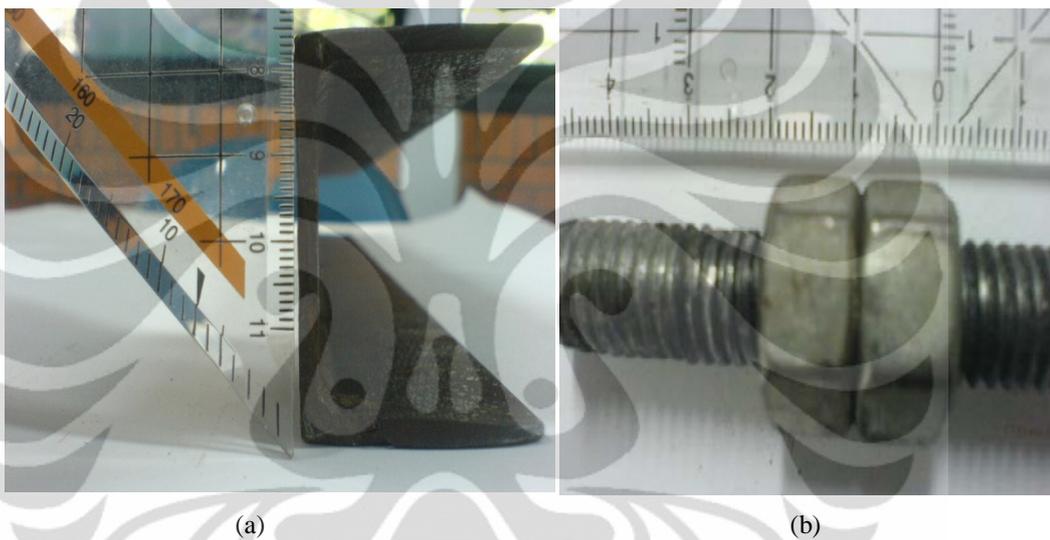
Fraksi volume kawat baja (%)	Jumlah kawat baja
2.5	61
5	125
7.5	193

3.3.2 Pembuatan Alat Bantu

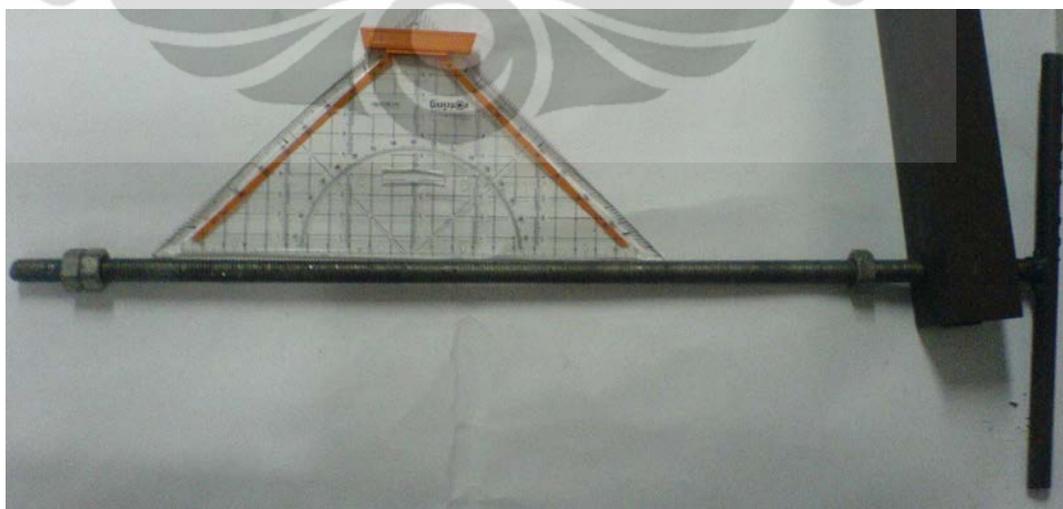
Pemakaian kawat baja karbon tinggi pada pembuatan sampel memiliki kesulitan pada pelurusan kawat tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan alat bantu untuk pemasangan kawat dan memaksimalkan kelurusan dari kawat tersebut. Maka dibentuk sebuah cetakan dimana kawat dapat ditarik secara maksimal dan penyusunan laminat komposit menjadi lebih mudah.

Proses awal pembentukan alat cetakan kawat, dibutuhkan desain yang bagus tetapi juga mengingat faktor ketersediaan bahan pembuat cetakan. Cetakan

membutuhkan batangan besi berbentuk U, batang ulir berukuran 50 cm dengan diameter 12 mm dan juga mur seperti pada Gambar 3.2. Untuk batangan besi berbentuk U, pada kedua bagian tepi ujung diberi lubang dengan menggunakan mesin bor berdiameter 13.5 mm. Lubang ini sebagai tempat batang ulir masuk. Batangan ulir dipermudah pengerjaannya dengan member mur pada bagian atas dan bawahnya, sehingga batangan ulir dapat tertahan dan proses pendorongan ulir ke depan dan ke belakang jadi lebih mudah. Pada batang ulir, dilas bagian ujungnya dilas dan disambungkan dengan batangan besi sebagai pegangan untuk mempermudah proses pemutaran batang ulir seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 (a) Batang besi U, dan (b) mur.



Gambar 3.3 Batangan ulir yang telah dilas dan dipasang mur.

Pada pembuatan sampel, terdapat beberapa fraksi volume yang diuji, maka pada proses pembuatan alat bantu cetakan kawat dibagi menjadi 2, fraksi volume 2.5% dibuat 1 cetakan dan untuk fraksi volume 5 dan 7.5% dibuat 1 cetakan.

Pada fraksi volume 2.5%, batangan besi berbentuk U memiliki lebar 5 cm dan panjang 40 cm dipersiapkan 2 batang. Dapat dilihat pada Gambar 3.4 pada bagian lebar diberi lubang-lubang berukuran 1.5 mm sebanyak 120 buah dengan panjang 30.5 cm (ukuran panjang sampel). Lubang ini berfungsi sebagai letak kawat-kawat akan dimasukkan dan sebagai pengatur kawat dalam penyusunan.



Gambar 3.4 Besi batangan U yang telah dilubangi dengan mesin bor.

Pada fraksi volume 5 dan 7.5%, batangan besi berbentuk U pada bagian lebarnya diberi lubang memanjang lurus sepanjang 30.5 cm dengan bantuan gerinda potong (Gambar 3.5), hal ini didasari karena fraksi volume 5 dan 7.5% memiliki kepadatan yang lebih dibanding fraksi volume 2.5%.



Gambar 3.5. Besi batangan U yang telah di gerinda lurus.

Sistem kerja cetakan yang memiliki 2 batang besi U dan dihubungkan dengan batangan ulir adalah untuk mendorong kawat baja yang akan diikatkan pada kedua batang besi U dan didorong menjauh oleh bantuan ulir. Maka dibutuhkan 1 batang besi U yang diam dan 1 yang fleksibel. Batangan besi yang diam berada didekat pegangan ulir, sedangkan batangan besi yang fleksibel berada didepannya. Proses pendorongan ulir kedepan atau kebelakang dibantu oleh mur. Terdapat 3 mur yang membantu proses pendorongan, 1 mur pada bagian batang besi U yang diam, dan 2 pada bagian batangan besi U yang fleksibel. Pada mur yang 1, proses pendorongan dilakukan dengan memutar mur kedepan atau kebelakang. Sedangkan 2 mur yang didepan berfungsi untuk penguncian dan membantu pendorongan pada batang besi U yang fleksibel. Hasil pembuatan alat bantu pelurus kawat dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Alat bantu cetakan kawat.

3.3.3 Persiapan Bahan

Pada pembuatan material komposit, terdapat matriks sebagai material utama, *reinforce* sebagai penguat sifat mekanik material dan adhesif sebagai material pelekat. Pada penelitian ini, matriks yang digunakan adalah *Aluminium Alloy 5083*, *reinforce* adalah kawat baja karbon tinggi dan adhesif yang digunakan adalah polyurethane.

a. *Aluminium 5083*

Pelat aluminium yang digunakan pada percobaan adalah AA5083 dengan ketebalan 6 mm. Pada sampel uji balistik dibentuk segi empat bersisi 30.5 cm. Proses pemotongan sampel aluminium menggunakan *jig saw*. Sedangkan pada sampel uji dampak digunakan ukuran sampel 5.5 cm x 1 cm menggunakan *bend saw*.

Permukaan AA5083 harus dilakukan pengamplasan dengan menggunakan amplas kekasaran 120. Pengamplasan ini bertujuan untuk mengasarkan permukaan pelat sehingga tercipta ikatan antar muka antara matriks dan penguatnya.

b. Kawat baja karbon tinggi

Kawat baja karbon tinggi yang dipergunakan pada penelitian berasal dari *wire rope*. *Wire rope* yang digunakan adalah konstruksi 6x19 seperti pada Gambar 3.7 yang berarti terdapat 6 *strand* dan pada setiap *strand* terdapat 19 kawat baja karbon tinggi yang akan dipergunakan pada penelitian. Kawat yang dipergunakan berdiameter 1.4 mm. Kawat yang dibutuhkan berjumlah 743 buah.

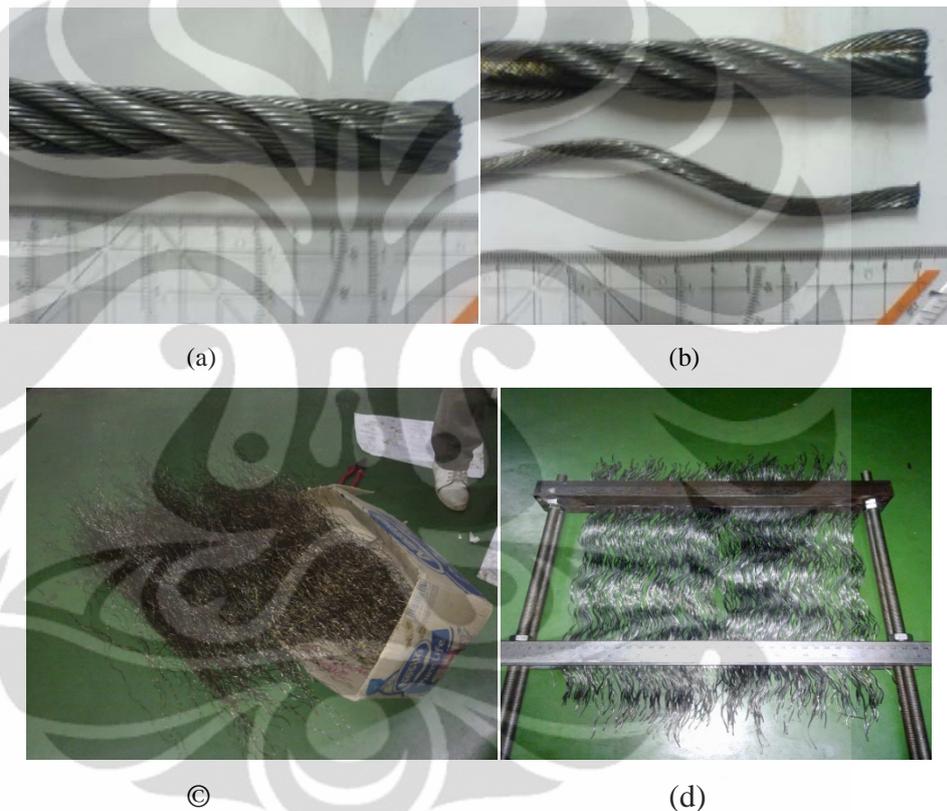
$$\frac{6 \times 19}{\text{Construction : } 6 \times (1 + 6 + 12)}$$
 J I S G 3 5 2 5



Gambar 3.7 Susunan Kawat Baja Karbon Tinggi^[24].

Pemotongan *wire rope* menggunakan *cutting wheel* sepanjang 50 cm sehingga dapat diletakkan pada cetakan kawat. Untuk melepaskan kawat baja dari *wire rope* diperlukan tang untuk menarik kawat dari dari *strand*-nya. Pada pelepasannya *wire rope* mengandung oli yang berfungsi untuk mencegah adanya proses pengaratn pada kawat baja. Maka setelah

kawat baja telah dilepas, kawat dilap untuk menghilangkan oli yang menempel. Untuk membantu penambahan ikatan antar muka antara kawat baja dan adhesif, maka kawat baja diampelas hingga kasar menggunakan kertas ampelas kekerasan 120 dan dipasang pada cetakan kawat. Untuk salah satu ujung dari kawat diberi simpul sehingga mempermudah proses pengikatan kawat ke cetakan kawat dan pada proses pendorongan. Proses pelepasan dan pemasangan *wire rope* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 (a) *Wire rope*, (b) *1 strand*, (c) kawat baja yang telah dilepas dan dilap, dan (d) kawat baja yang telah diampelas dan diletakkan pada cetakan.

c. *Polyurethane*

Adhesif yang dipergunakan pada penelitian adalah adhesif polyurethane yang berupa polimer jenis elastomer ber-merk dagang Seal 'N' Flex dan diproduksi oleh Bostik Australia Ply Ltd. Pada setiap kemasan mengandung volume 600 ml. Pada penelitian tiap sampel fraksi volume membutuhkan sekitar 300 ml. Proses pelapisan adhesif pada pelat

aluminium dibagi menjadi dua. Pada kedua pelat aluminium diberi polyurethane, dan diratakan seperti pada Gambar 3.10.

Waktu *curing* yang dilakukan adalah sekitar 5-7 jam dibantu dengan proses *press*. Dan sampel didiamkan selama seharian untuk melanjutkan proses *curing* adhesif pada sampel.

3.3.4 Proses Laminasi Sampel

Proses laminasi pada sampel uji diawali dengan menyusun kawat pada cetakan kawat baja sesuai dengan fraksi volume sampel yang akan dibuat. Untuk fraksi volume 2.5% dibutuhkan 61 buah kawat baja, fraksi volume 5% dibutuhkan kawat baja 125 buah dan untuk fraksi volume 7.5% dibutuhkan kawat baja 363 buah. Setelah semua kawat yang telah bersimpul dimasukkan ke cetakan, ujung lain pada kawat akan disimpulkan kembali dan diberi penjepit *rivet* (Gambar 3.9). Sehingga pergerakan kawat pada saat proses pendorongan tidak keluar dari cetakan dan kawat dapat lurus akibat pendorongan tersebut.



(a)

(b)

Gambar 3.9 (a) Proses memasukkan kawat baja ke cetakan kawat, dan (b) *rivet*.

Setelah semua kawat baja dimasukkan ke cetakan sesuai ketentuan fraksi volumenya dan telah diluruskan, kedua pelat AA 5083 pada salah satu permukaannya diberi polyurethane secara merata.



Gambar 3.10 AA5083 yang telah dilapisi polyurethane secara rata.

Cetakan kawat yang telah diberi kawat dan diluruskan diletakkan pada salah satu pelat AA5083 yang telah memiliki polyurethane, lalu beberapa polyurethane diberikan pada sela-sela kawat, kemudian ditutup dengan pelat AA5083 yang lain sehingga proses laminat terbentuk. Proses laminasi dibantu dengan mesin press Krisbow (Gambar 3.11) dengan tekanan 300 bar atau 30 MPa. Proses press bertujuan untuk memadatkan lapisan komposit antara adhesif dan kawat selama proses *curing* polyurethane. Proses penekanan juga bertujuan untuk meminimalisir ketebalan aluminium komposit ini.



(a)

(b)

Gambar 3.11 (a) Cetakan kawat yang diletakkan pada pelat AA5083 yang telah diberi polyurethane, dan (b) proses press pada laminat komposit.

3.3.5 Pemotongan Sampel

Sampel yang telah mengalami *curing* secara sempurna (Gambar 3.12 a) akan dilepaskan dari mesin *press* dan cetakan kawat.



(a)

(b)

Gambar 3.12 (a) Hasil aluminium laminat komposit yang telah mengalami proses *curing* dan *pressing*, dan (b) gerinda potong.

Pada pemrosesan penyusunan laminat sebelumnya, kawat yang mengikat pada cetakan kawat akan dipotong menggunakan gerinda potong (Gambar 3.12 b). Apabila telah terlepas dari cetakan, sisa ujung kawat yang menempel pada sampel akan dipotong rata. Bagian laminat yang kosong akan diisi penuh dengan adhesif sehingga sampel akan terisi penuh. Pada ujung aluminium yang terasa runcing akan diampelas, sehingga tidak membahayakan pada proses pemegangan. Sampel dapat dilakukan pengujian mekanis setelah semua proses dilakukan.

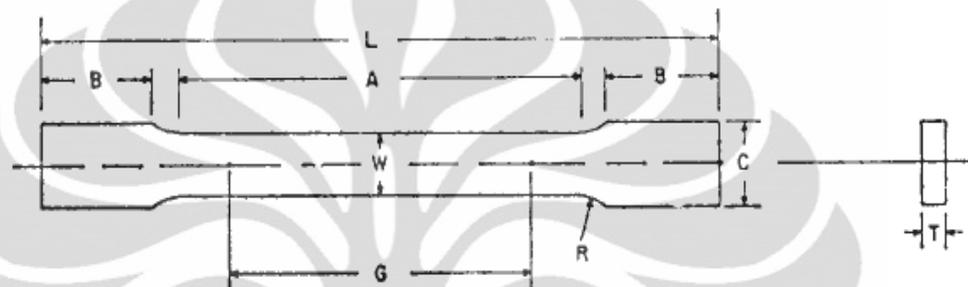
3.4 Karakterisasi Material

3.4.1 Pengujian Tarik

Seperti pada penjelasan sebelumnya, komposit merupakan gabungan dari 2-3 material sehingga didapati sifat yang baru. Pada proses pengujian tarik pada sampel uji, dilakukan secara terpisah. Sehingga dapat diketahui data kekuatan tarik maksimum dari material kawat baja, aluminium dan adhesif polyurethane. Sehingga dibutuhkan pengujian yang berbeda dari ketiga material tersebut.

a. Pengujian tarik AA 5083

Proses pengujian tarik AA5083 sesuai dengan standar ASTM E8 (*Standard Test Method for Tensile Testing of Metallic Materials*). Pengujian menggunakan 3 sampel percobaan. Pengujian tarik aluminium dilakukan di departemen metalurgi dan material FTUI dengan menggunakan *Universal testing Machine Servopulser Shimazu* yang memiliki kapasitas 30 ton seperti pada Gambar 3.15.



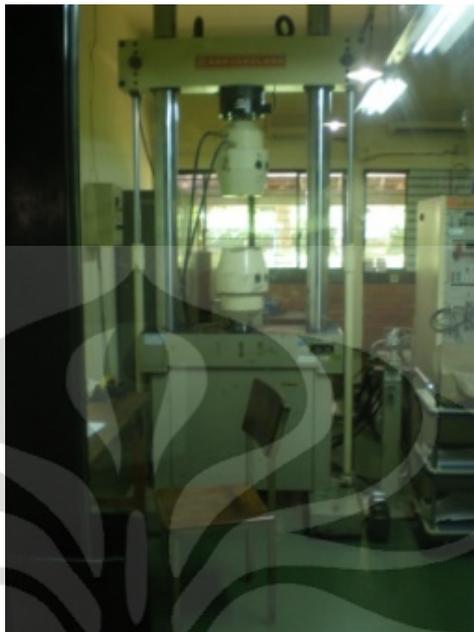
Gambar 3.13 Sampel uji tarik AA5083 sesuai standar ASTM E8^[34]

Tabel 3.3. Dimensi sampel sesuai standar ASTM E8^[34]

Nominal Width	Dimensions, mm		
	Plate-Type 40 mm	Standard Specimens Sheet-Type 12.5 mm	Subsize Specimen 6 mm
G— Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W— Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T— Thickness (Note 5)		thickness of material	
R— Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5	6
L— Overall length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	450	200	100
A— Length of reduced section, min	225	57	32
B— Length of grip section, (Note 8)	75	50	30
C— Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50	20	10



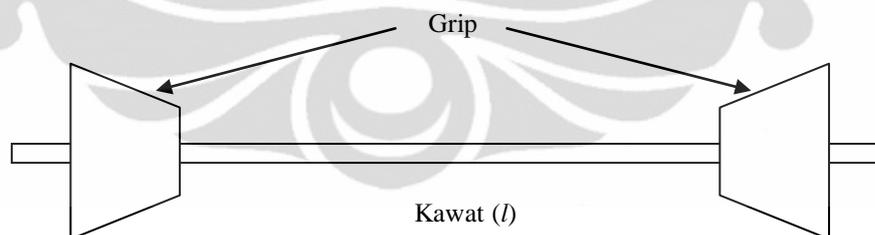
Gambar 3.14 Spesimen uji tarik AA 5083.



Gambar 3.15 Alat uji tarik *Universal testing Machine Servopulser Shimadzu*.

b. Pengujian tarik kawat baja

Pengujian tarik kawat baja menggunakan standar JIS 3525. Terdapat penyangga kawat (*grip*) pada kedua ujung kawat dengan jarak antara kedua penyangga (*gauge length l*) 200 mm dengan diameter kawat 1.4 mm^[35] yang digambarkan pada Gambar 3.16.

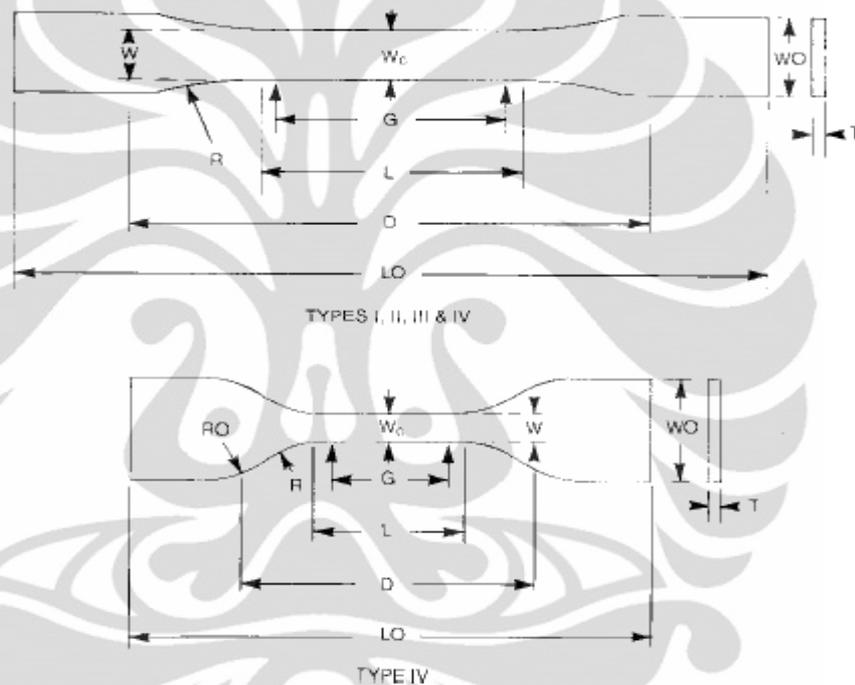


Gambar 3.16 Skema sampel uji tarik kawat baja.

c. Pengujian tarik adhesif polyurethane

Uji tarik adhesif menggunakan standar yang berbeda dengan pengujian tarik pada logam. Standar uji yang digunakan adalah ASTM D638 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*). Alat pengujian tarik adhesif juga berbeda, dikarenakan kapasitas yang lebih kecil.

Pada Gambar 3.18 proses pembuatan sampel uji tarik adhesif dimulai dengan membuat cetakan adhesif yang terdiri dari cetakan kayu dengan permukaan yang rata dengan cetakan segi empat 15x15 cm. Adesif dituangkan pada cetakan secara rata, dan ditekan dengan menggunakan beban dan dibiarkan hingga adhesif *curing*. Pembentukan sampel dilakukan dengan menggunakan gunting.

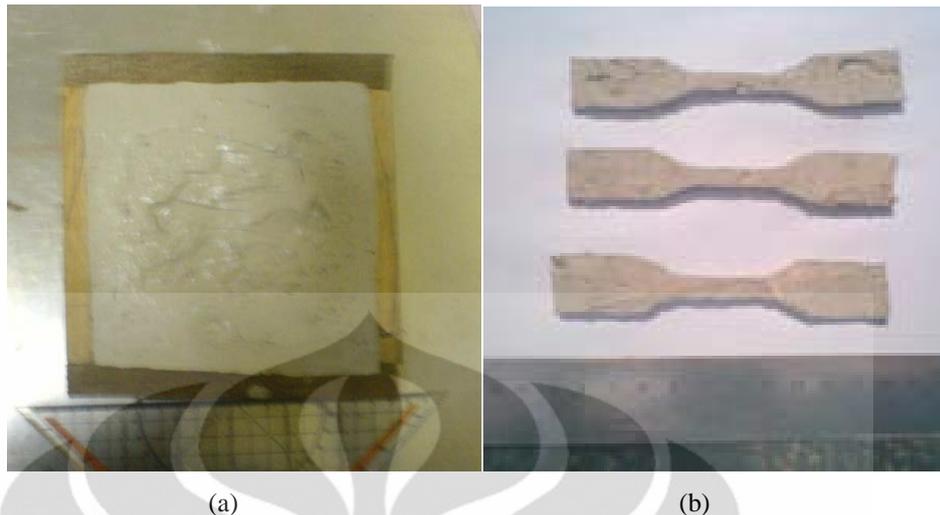


Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^A

Gambar 3.17 Spesimen uji tarik adhesif^[36]

Tabel 3.4. Data spesimen uji tarik adhesif^[36].

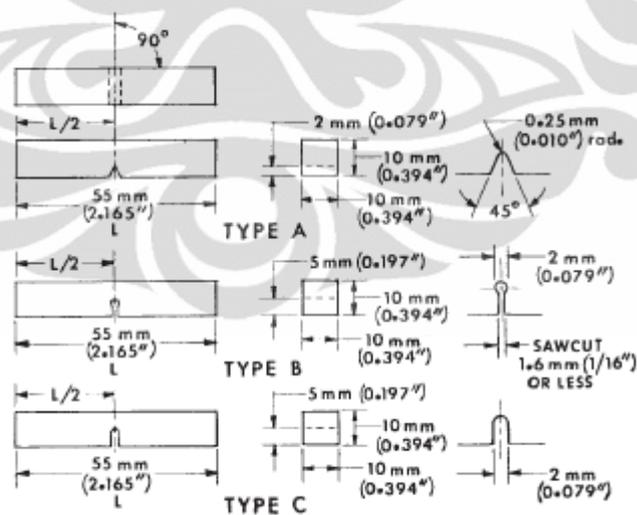
Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^C
WO —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^C
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^C
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	± 1 (± 0.04)



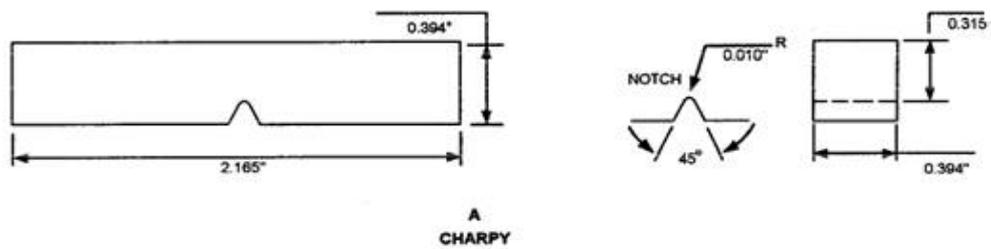
Gambar 3.18 Sampel spesimen uji tarik adhesif (a) cetakan dan adhesif yang telah dituang, dan (b) adhesif yang telah curing dang dipotong.

3.4.2 Pengujian Impak pada Komposit

Pengujian impak pada komposit disesuaikan dengan pengujian impak pada logam menggunakan standar ASTM E23. Dimensi spesimen untuk uji impak dengan takik berbentuk “v” metode *charpy* dapat dilihat pada Gambar 3.19 dan 3.20.



Gambar 3.19 Skema dimensi dan bentuk uji benda impak^[37].



Gambar 3.20 Skema dimensi dan bentuk uji benda impact^[37]

Berbeda dengan pengujian benda impact pada logam, pengujian impact pada komposit memiliki ketebalan yang berbeda dikarenakan pada sampel komposit, penyusun komposit memiliki ukuran yang berbeda-beda.

Pada proses pengujian impact, dibentuk 3 sampel yang mewakili fraksi volume pada sampel uji balistik. Sampel memiliki fraksi volume 2.5%, 5%, dan 7.5% seperti pada Gambar 3.21. Pengujian impact menggunakan mesin uji impact yang terdapat di departemen metalurgi dan material (Gambar 3.22).



Gambar 3.21 Sampel uji impact AA5083 *unidirectional* (a) fraksi volume 2.5%, (b) 5%, dan (c) 7.5%)



Gambar 3.22 Pemasangan sampel uji impact pada mesin uji impact.

3.4.3 Pengujian Balistik

Uji tembak balistik dilakukan dengan standar uji NIJ 0108.01 dengan ketentuan dimensi 30.5x50.5 cm atau 12x12 in. Pengujian balistik dilakukan di PT PINDAD Bandung.

Proyektil yang dipergunakan dalam pengujian balistik menggunakan tipe II-A dan tipe III. Tipe II-A menggunakan pistol P2 yang dibuat oleh PINDAD dengan amunisi kaliber 9 mm, seperti pada Gambar 3.23. Dan menggunakan senapan laras panjang SPR-1 dengan kaliber 7.62 mm, seperti pada Gambar 3.24.

Tabel 3.5. Spesifikasi proyektil yang dipergunakan

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 ² maks	3300 kg/cm ² maks



Gambar 3.23 Tipe II-A (a) Pistol P2, dan (b) amunisi kaliber 9 mm.



Gambar 3.24 Tipe III (a) Senapan laras panjang SPR-1, dan (b) amunisi caliber 7.62 mm.

Proses penembakan juga disesuaikan dengan standar. Pada proses penembakan menggunakan tipe II-A, jarak tembak adalah 5 m dan pada proses penembakan menggunakan tipe III, jarak tembaknya adalah 25 m.

3.4.4 Pengamatan Foto Makro

Pengamatan foto makro dilakukan setelah pengujian balistik selesai. Pengamatan dilakukan menggunakan kamera 5 megapixel. Hasil penembakan peluru setelah pengujian balistik dipotong menggunakan *cutting wheel* (Gambar 3.25). Pada proses pemotongan, diberikan air sebagai pendingin sehingga diharapkan tidak terjadi perubahan bentuk pada sampel. Potongan dilakukan pada

bagian tengah penetrasi peluru, sehingga dapat dilihat penampang dari penetrasi peluru pada pengujian balistik.



Gambar 3.25 Pemotongan sampel menggunakan *cutting wheel*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Manufaktur Laminat Aluminium Balistik

4.1.1 Analisis Kelurusan Kawat

Kawat yang dipergunakan dalam penelitian adalah kawat yang merupakan untaian dari tali baja. Sehingga pada saat pelepasan, kawat yang dihasilkan memiliki gelombang-gelombang yang berantakan. Proses pelurusan kawat membutuhkan tenaga lebih karena apabila hanya menggunakan tenaga tangan, kawat akan kembali ke bentuk semula pada saat pemasangan laminat. Oleh karena itu diperlukan cetakan kawat seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3.

Pengaruh penggunaan cetakan akan dibahas dalam analisa kelurusan kawat dilihat dari persentase perubahan panjang sebelum kawat didorong pada cetakan dan setelah kawat dipasang dan didorong pada cetakan. Pemasangan kawat pada cetakan dipasang sejajar dengan kawat lainnya. Panjang kawat pada saat dipasang dihitung dan dibandingkan dengan panjang kawat setelah diluruskan.

Pada saat pendorongan kawat yang telah terpasang pada cetakan, kawat tetap tidak mengalami pelurusan secara sempurna, dikarenakan gelombang kawat yang telah terbentuk sebelum kawat dilepas dari untaian. Apabila pendorongan dipaksakan pada cetakan, maka besi batangan U akan mengalami pembengkokan dikarenakan tidak kuatnya batangan besi pada cetakan menahan gaya tolak yang diberikan oleh kawat baja.



Gambar 4.1 Kawat baja karbon tinggi pada cetakan kawat sebelum mengalami proses pendorongan.

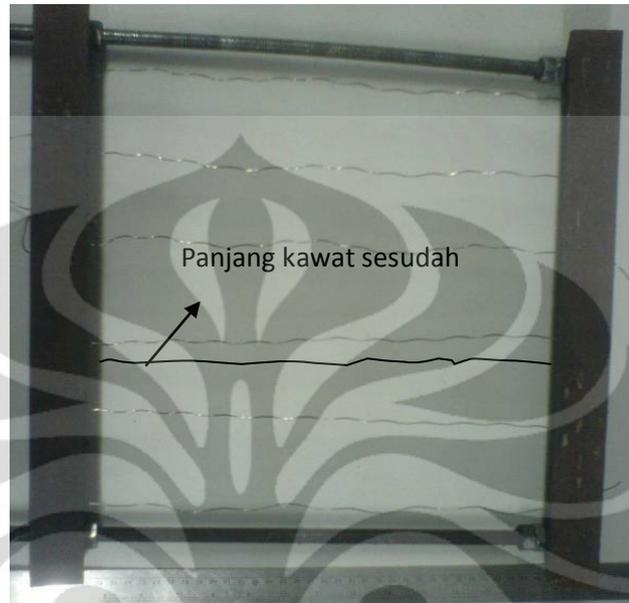
Sehingga akan dihitung kelurusan kawat baja sebelum dan sesudah pendorongan. Dilakukan pengujian dengan menggunakan persamaan 4.1.

$$\% \text{ Kelurusan Kawat} = \frac{P \text{ kawat sebelum}}{P \text{ kawat sesudah}} \times 100\% \quad (4.1)$$



Gambar 4.2 Kawat pada percobaan pelurusan kawat sebelum diluruskan.

Panjang kawat setelah diletakkan pada cetakan dihitung menggunakan penggaris panjang, data yang diperoleh adalah 27 cm. Panjang kawat sebenarnya adalah 33.4 cm.



Gambar 4.3 Kawat yang telah diluruskan

Proses pelurusan kawat telah dijelaskan pada Bab 3. Setelah pelurusan, panjang kawat adalah 31.5 cm. Sehingga sesuai persamaan 4.1 maka persentase kelurusan sebelum pendorongan adalah :

$$\% \text{ Kelurusan kawat}_{\text{sebelum}} = \frac{27 \text{ cm}}{33.4 \text{ cm}} \times 100\% = 80.84\%$$

Dan untuk persentase kelurusan sesudah pelurusan adalah :

$$\% \text{ Kelurusan kawat}_{\text{sesudah}} = \frac{31.5 \text{ cm}}{33.4 \text{ cm}} \times 100\% = 94.31\%$$

Sehingga dapat dilihat bahwa pada kawat yang bergelombang dan belum diluruskan hanya mengalami kelurusan kawat sebesar 80.84%, sedangkan 19.17% kawat lainnya masih bergelombang. Pada saat setelah perlurusan kawat, persentase kelurusan kawat adalah 94.31% dan 5.69% masih bergelombang. Dari perubahan sebelum dan sesudah pelurusan dapat dilihat perbedaan sebesar 13.47%, sehingga dapat disimpulkan pelurusan kawat baja sangat berguna dan berfungsi untuk menghemat penggunaan kawat baja.

Semakin tinggi tingkat kelurusan kawat baja, maka kawat baja akan semakin tegang yang berfungsi untuk menyerap energi impak menjadi lebih

optimum pada saat pengujian balistik dan uji impak. Kawat baja juga akan semakin rapat, sehingga pada saat penembakan proyektil, kemungkinan peluru ditahan oleh kawat baja menjadi semakin tinggi.

4.1.2 Perhitungan Fraksi Volume

Pada laminat komposit, terdapat 3 komponen penting, matriks AA5083, kawat baja karbon tinggi sebagai penguat dan polimer polyurethane sebagai adhesif. Sehingga tiap-tiap komponen memiliki fraksi volumenya. Fraksi volume masing-masing jenis persentase kawat baja telah dibahas pada Bab 3, pada Tabel 3.1.

Perhitungan fraksi volume untuk masing-masing komponen pada komposit adalah :

$$\% V_f X = \frac{Vol X}{V Komposit} \quad (4.2)$$

Untuk perhitungan persentase fraksi volume masing-masing jenis persentase kawat baja dibagi menjadi 3 bagian :

- a. Fraksi volume kawat baja 2.5% (sebelum perhitungan adhesif)

Volume komposit total adalah volume adhesif ditambah volume aluminium dan volume kawat baja, sehingga totalnya adalah 1444.92 cm³

Fraksi volume aluminium :

$$\% V_f AA5083 = \frac{1116.3}{1444.92} = 77.26 \%$$

Fraksi volume kawat baja :

$$\% V_f kawat baja = \frac{28.62}{1444.92} = 1.98 \%$$

Fraksi volume adhesif :

$$\% V_f adhesif = \frac{300}{1444.92} = 20.76 \%$$

- b. Fraksi volume kawat baja 5% (sebelum perhitungan adhesif)

Volume total komposinya adalah 1475.05 cm³

Fraksi volume aluminium :

$$\% V_f AA5083 = \frac{1116.3}{1475.05} = 75.68 \%$$

Fraksi volume kawat baja :

$$\% V_f \text{ kawat baja} = \frac{58.75}{1475.05} = 3.98 \%$$

Fraksi volume adhesif :

$$\% V_f \text{ adhesif} = \frac{300}{1475.05} = 20.34 \%$$

c. Fraksi volume kawat baja 7.5% (sebelum perhitungan adhesif)

Volume total komposit adalah 1506.81 cm³

Fraksi volume aluminium :

$$\% V_f \text{ AA5083} = \frac{1116.3}{1506.81} = 74.08 \%$$

Fraksi volume kawat baja :

$$\% V_f \text{ kawat baja} = \frac{90.51}{1506.81} = 6.01 \%$$

Fraksi volume adhesif :

$$\% V_f \text{ adhesif} = \frac{300}{1506.81} = 19.91 \%$$

Sehingga perhitungan persamaan diatas dengan data yang diperoleh dari Bab 3 adalah :

Tabel 4.1 Data volume teoritis dan fraksi volume pada aluminat laminat komposit

% volume kawat awal	Volume teoritis (cm ³)				Fraksi volume aktual (%)		
	Aluminium	Kawat baja	Adhesif	Komposit	Aluminium	Kawat baja	Adhesif
2.5	111.63	28.62	300	1444.92	77.26	1.98	20.76
5	111.63	58.75	300	1475.05	75.68	3.98	20.34
7.5	111.63	90.51	300	1506.81	74.08	6.01	19.91

Data volume diatas adalah data teoritik, untuk membuktikan apakah volume tersebut akurat atau tidaknya, diperlukan data sebenarnya dari sampel. Volume total sebenarnya dapat dicari dengan mencari tebal dari aluminium laminat komposit yang telah dibuat. Volume dicari dengan mengkalikan luas permukaan (30.5x30.5 cm) dengan tebal sampel. Sehingga didapati volume dari sampel yang sebenarnya. Tabel 4.2 dibawah adalah volume sampel yang telah dibuat.

Tabel 4.2 Data volume sampel aluminium laminat komposit.

Fraksi Volume kawat baja (%)	Luas permukaan aluminium (cm ²)	Tebal sampel komposit (cm)	Volume sampel komposit (cm ³)
2.5	930.25	1.66	1544.215
5	930.25	1.9	1767.475
7.5	930.25	2.115	1967.478

Untuk membandingkan volume teoritis sampel dan volume aktual sampel dapat dilihat pada Tabel 4.3. Dapat dilihat terdapat peningkatan volume pada volume sampel yang sebenarnya. Ini diakibatkan adanya *void* atau rongga kosong pada komposit aluminium, sehingga terdapat udara yang terkurung didalam sampel komposit. *Void* yang terjadi dikarenakan pada saat pelapisan dan pemasangan adhesif pada sampel mengalami kesulitan dikarenakan adhesif yang berbentuk pasta yang padat dan susah memasuki seluruh rongga pada kawat baja. Besar persentase *void* pada masing-masing sampel aluminium komposit dapat dihitung dengan Persamaan 4.3.

Tabel 4.3 Data perbandingan volume teoritis komposit dan volume aktual

Fraksi volume kawat baja (%)	Volume teoritis (cm ³)	Volume aktual (cm ³)	<i>Void</i> (cm ³)	Persentase <i>Void</i> (%)
2.5	1444.92	1544.215	99.295	6.87
5	1475.05	1767.475	292.425	19.82
7.5	1506.81	1967.478	460.668	30.57

$$\% \text{Void} = \frac{\text{Volume void}}{\text{Volume komposit aktual}} \times 100\% \quad (4.3)$$

Dari Tabel 4.3 diatas juga dapat dilihat besar *void* yang paling besar terletak pada sampel dengan fraksi volume kawat 7.5 %, sedangkan *void* yang terkecil pada sampel dengan fraksi volume kawat 2.5%. Pada sampel yang memiliki fraksi volume kawat 7.5 % dikarenakan pada saat pemakaian adhesif, adhesif tidak masuk kebagian-bagian yang sulit dijangkau dikarenakan kepadatan kawat, sehingga *void* banyak terbentuk seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Adanya *void* pada tanda panah mengakibatkan panel tidak merekat sempurna

Void sangat umum terjadi pada komposit yang memiliki adhesif sebagai perekat. Untuk mencegahnya dibutuhkan dapat dilakukan dengan menggunakan *pressing* tetapi dalam percobaan udara yang masih terperangkap susah dikeluarkan karena kerapatan adhesif. *Void* dapat berpengaruh besar terhadap sampel komposit. Perubahan nilai volume komposit dari volume teoritiknya, ketebalan material aluminium laminat komposit yang diinginkan tidak tercapai karena ketebalan sampel yang tinggi, efek perekatan antara matriks dan penguat menjadi berkurang, kemungkinan adanya gagal dapat bermula dari *void* dan juga pada saat uji balistik, peredaman energi kinetik dari proyektil tidak berfungsi sepenuhnya.

4.2 Perhitungan Teoritik Sifat Komposit Laminat Aluminium Balistik dengan Metode Mikromekanik

Pembuatan material komposit bertujuan untuk menggabungkan sifat-sifat dari beberapa material menjadi material yang lebih baik dan memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Dikarenakan komposit merupakan kumpulan dari beberapa material, sifat mekanik keseluruhan dapat dilihat dari material penyusunnya. Pada Bab 3 telah dijelaskan beberapa metode pengujian yang dapat ditarik kesimpulan sifat mekaniknya, tetapi ada metode lain yang dapat

menyimpulkan sifat mekanik dari komposit laminat, yaitu metode mikromekanik^[39].

Modulus elastisitas dari komposit terdiri dari material penyusunnya, yaitu modulus elastisitas aluminium, adhesif dan kawat baja. Hasil modulus elastisitas ketiga bahan didapat dari pengujian tarik pada ketiga bahan. Data dari pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Data pengujian tarik modulus elastisitas pada komposit.

Bahan Komposit	No.	Tegangan maksimum / UTS (MPa)	Tegangan maksimum daerah elastis (MPa)	Regangan maksimum elastis	Modulus elastisitas (GPa)	Modulus elastisitas rata-rata (GPa)
AA 5083	1	335.9	215.88	0.005	43.18	43.82
	2	320.08	184.41	0.004	46.1	
	3	329.7	210.9	0.005	42.18	
Adhesif Polyurethane	1	0.69	-	-	0.00028	0.00027
	2	0.52	-	-	0.00019	
	3	0.67	-	-	0.00034	
Kawat Baja	1	1610.45	1098.6	0.011	97.65	112.17
	2	1754.01	1036.18	0.009	118.42	
	3	1572.99	1023.69	0.009	120.43	

Maka dapat dilihat sesuai tabel, modulus elastisitas pada aluminium adalah 43.82 GPa, polyurethane 0.00027 GPa, dan pada kawat baja 112.17 GPa. Pada pembentukan komposit dipergunakan 3 jenis fraksi volume kawat baja 2.5, 5 dan 7.5% sehingga pada Tabel 4.6 dapat dilihat modulus elastisitas pada arah longitudinal (E_1) dan transversal (E_2) dari komposit aluminium berdasarkan fraksi tersebut.

Tabel 4.5 Modulus elastisitas pelat komposit berdasarkan fraksi kawat baja

% vol kawat awal	A5083		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

Modulus elastisitas pada arah longitudinal lebih besar dari pada modulus elastisitas arah transversal ($E_1 > E_2$). Sehingga apabila E_1/E_2 lebih besar dari 1, sifat komposit adalah *anisotropy*^[40]. *Anisotropy* adalah sifat mekanik yang memiliki keunggulan pada satu arah. Seperti pada komposit, serat yang disusun satu arah, akan memiliki kekuatan yang bagus pada satu arahnya. Pada penelitian yang dilakukan, kawat baja yang disusun pada pelat komposit akan memiliki kekuatan yang bagus pada satu arah, sehingga semakin besar fraksi volume kawat baja yang dipergunakan, semakin bagus sifat mekanik pada komposit tersebut. Pada tabel 4.5 juga dapat dilihat, semakin tinggi fraksi volume kawat yang dipergunakan, semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya.

4.3 Pengaruh Fraksi Volume Kawat terhadap Kekuatan Impak Laminat

Pada proses uji balistik, kekuatan impak suatu material dapat menjadi acuan karena uji balistik merupakan uji dengan menggunakan beban yang tinggi dan secara spontan. Proses pengujian impak telah dijelaskan pada Bab 3.4.2 dengan menggunakan standar ASTM E23 dan takik *charpy*. Sampel yang dibagi menjadi 3 bagian, fraksi volume kawat 2.5%, 5% dan 7.5% dengan 3 contoh sampel. Tabel 4.7 menunjukkan nilai impak setiap jenis sampel dengan keadaan normal (tekanan normal dan temperatur ruang).

Pada pengujian impak, nilai harga impak (HI) ditentukan oleh luas daerah bawah takik dan energi yang diserap material, sesuai dengan rumus :

$$HI = \frac{E}{A} \quad (4.3)$$

Dimana :

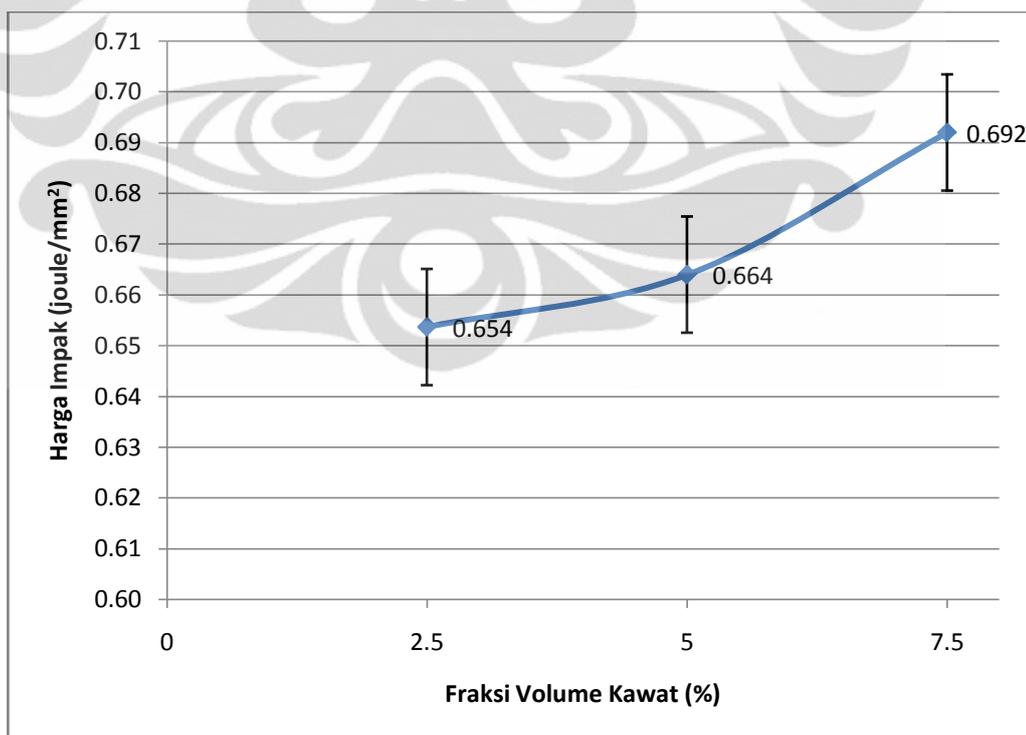
HI = harga impak (joule/mm^2)

E = energi yang diserap material (joule)

A = luas daerah bawah takik (mm^2)

Tabel 4.6. Nilai impak pada pengujian impak

Nama Sampel	% Fraksi volume kawat (%)	L (mm)	D (mm)	E (joule)	HI (joule/mm^2)	HI rata-rata (joule/mm^2)
H11	2.5	11.7	12.6	101	0.678	
H12	2.5	11.9	13	88	0.569	0.654
H13	2.5	12.9	12.7	117	0.714	
H21	5	12.4	12.9	120	0.750	
H22	5	12.6	12.6	94	0.592	0.664
H23	5	13.8	12.7	114	0.650	
H31	7.5	12.4	13.3	100	0.606	
H32	7.5	14.5	13.3	134	0.695	0.692
H33	7.5	13.2	13.1	134	0.775	



Gambar 4.5 Pengaruh fraksi volume kawat baja terhadap harga impak

Harga impact rata-rata adalah nilai jumlah energi tiap jenis fraksi volume kawat yang mampu diserap tiap persatuan mm^2 . Berdasarkan Gambar 4.5 harga impact pada fraksi volume kawat baja 2.5% adalah 0.654 mm^2 , fraksi volume kawat 5% dengan harga impact 0.664 mm^2 dan fraksi volume kawat 7.5% dengan harga impact 0.692 mm^2 . Dari Gambar 4. dapat dilihat bahwa semakin tinggi jumlah fraksi volume kawat, semakin meningkat ketahanan benda menerima beban impact.

Dari pengujian impact juga dapat dilihat hasil patahan pada pengujian impact dan keefektifan polimer adhesif sebagai perekat pada komposit. Bentuk perpatahan dari sampel impact dapat dilihat pada Gambar 4.6 - 4.7 dan 4.8. sebagian dari sampel memiliki patahan sempurna tepat pada bagian takik.



Gambar 4.6. Bentuk patahan sampel impact pada sampel dengan fraksi volume kawat 2.5%



Gambar 4.7. Bentuk patahan sampel impact pada sampel dengan fraksi volume kawat 5%



Gambar 4.8. Bentuk patahan sampel impact pada sampel dengan fraksi volume kawat 7.5%

Dapat dilihat, pada sampel pada Gambar 4.6 (c) dan pada Gambar 4.8 (a), (b), dan (c) terdapat hasil patahan sempurna, ini juga dibuktikan dengan nilai harga impact yang tinggi, hal ini disebabkan adanya energi impact yang sangat

besar sehingga rambatan energi dari belakang hingga depan mengalir tanpa hambatan yang berarti. Tetapi kawat baja tidak mengalami kerusakan pada semua sampel impact.

4.3.1 Perbandingan Hasil Pengujian Impact dengan Perbedaan Jenis Kawat Penguat dan Penyusunannya.

Terdapat dua jenis perbandingan yang dilakukan pada pengujian impact. Kedua sampel yang diuji menggunakan kawat baja karbon tinggi sebagai penguat dengan diameter kawat 1 mm. Sedangkan penyusunan menggunakan penyusunan *unidirectional* (searah)^[41] dan *multidirectional* dengan arah 0°/90°/0°^[42]. Hasil pengujian impact dapat dilihat pada Tabel 4.7 untuk sampel dengan menggunakan penyusunan searah dan Tabel 4.8 untuk sampel dengan penyusunan multi.

Tabel 4.7 Harga impact dari komposit dengan penyusunan searah menggunakan kawat baja berdiameter 1 mm^[41]

% volume kawat	Kode samp el	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	
	D	13.60	12.42	102	0.604	
5	E	14.18	12.92	130	0.710	0.677
	F	14.20	12.56	128	0.718	
	G	13.42	12.30	108	0.654	
7.5	H	12.72	12.02	118	0.771	0.725
	I	14.10	12.90	136	0.748	

Dari Tabel 4.7 didapatkan data untuk komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 2.5%, 5%, dan 7.5% memiliki harga impact 0.642, 0.677 dan 0.725 Joule/mm². Perbedaan harga impact yang didapat antara sampel dengan kawat baja berdiameter 1 mm dan 1.4 mm dapat dilihat dengan jelas pada grafik terjadi perbedaan harga impact. Harga impact pada sampel kawat baja berdiameter 1 dan 1.4 mm pada fraksi volume 2.5% dan 5% memiliki nilai harga impact yang tidak

terlalu berbeda. Perbedaan terlihat pada fraksi volume kawat 7.5% dimana kawat berdiameter 1 mm dengan harga impact 0.725 dan kawat diameter 1.4 mm dengan harga impact 0.692. Hal ini diperkirakan karena banyaknya kawat baja yg disusun lebih menyebar pada kawat diameter 1 mm sehingga pada saat energi impact yang datang dapat ditransferkan keseluruhan kawat penguat. Diameter 1 mm juga menguntungkan karena daya ikat antara matriks dan penguat akan lebih kuat, sehingga kemungkinan adanya lapisan yang terlepas menjadi lebih kecil dan penyerapan energi impact akan menjadi lebih maksimal.

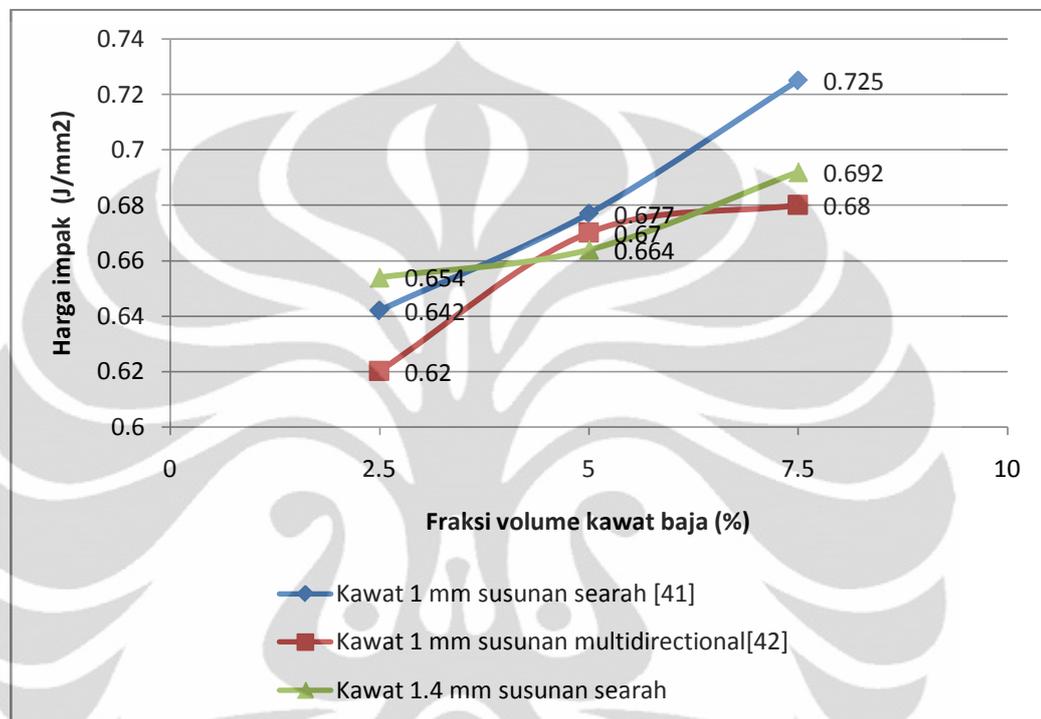
Tabel 4.8 Harga impact dari komposit dengan penyusunan *multidirectional* menggunakan kawat baja berdiameter 1 mm^[42]

% 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	13.5	13.04	108	0.613	0.62
	B	11.7	14.3	96	0.57	
	C	10.85	15.15	112	0.68	
5	D	12.12	14.52	116	0.66	0.67
	E	12.1	13.65	117	0.713	
	F	12.4	14.35	114	0.64	
7.5	G	12.7	15.1	128	0.67	0.68
	H	11.8	15.6	129	0.70	
	I	12.8	15.15	128	0.66	

Dari Tabel 4.8 didapatkan data untuk komposit aluminium dengan fraksi volume kawat baja 2.5%, 5% dan 7.5% memiliki harga impact 0.62, 0.67 dan 0.68 Joule/mm².

Perbedaan harga impact diakibatkan adanya perbedaan diameter pada kawat dan proses penyusunan kawat yang berbeda. Pada fraksi volume penguat 5% dan 7.5% nilai harga impact tidak jauh berbeda, sedangkan pada 2.5% terlihat

perbedaan. Penyusunan *multidirectional* mengakibatkan banyaknya *space* yang kosong, dan pemberian impact yang berlawanan arah dengan arah kawat yang 90° , sehingga nilai harga impact pada penyusunan kawat multi lebih rendah daripada penyusunan kawat searah untuk pengujian impact.



Gambar 4.9 Perbandingan harga impact berdasarkan jenis kawat baja dan penyusunan kawat sesuai dengan fraksi volume kawat baja

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat perbandingan ketiga nilai harga impact berdasarkan diameter kawat baja dan cara penyusunannya. Pada fraksi volume kawat 2.5%, nilai harga impact terendah terdapat pada kawat baja berdiameter 1 mm dengan penyusunan *multidirectional* senilai 0.62 Joule/mm² diikuti oleh kawat sejenis dengan penyusunan searah dengan harga impact 0.642 Joule/mm² dan dengan harga impact tertinggi pada kawat 1.4 mm dengan penyusunan searah dengan harga impact 0.654 Joule/mm².

Pada pengujian ini dapat dilihat penyusunan *multidirectional* memiliki nilai paling kecil karena kekuatan pada arah yang berlawanan dengan datangnya energi impact kecil dibandingkan dengan penyusunan searah. Hal ini sesuai dengan prinsip *anisotropy*, dimana *anisotropy* hanya berlaku bagi material

komposit yang memiliki penguat satu arah, sehingga material tersebut memiliki kekuatan mekanik pada satu arah^[40]. Sedangkan pada perbedaan jenis diameter kawat, kawat 1.4 mm sangat besar memberi dampak menyerap energi impact dikarenakan ketebalan kawat sendiri.

Pada sampel fraksi volume kawat 5% terdapat perbedaan mencolok pada jenis kawat 1.4 mm, harga impact menjadi paling rendah 0.664 Joule/mm² sedangkan urutan selanjutnya masih teratur sesuai kekuatan pada penyusunan arah kawat dengan harga impact 0.67 dan 0.677 Joule/mm². Hal ini dikarenakan mulai munculnya banyak *void* pada sampel dengan kawat baja berdiameter 1.4 mm, *void* muncul dikarenakan rongga yang dihasilkan oleh susunan kawat menjadi lebih banyak dan mengakibatkan adhesif *polyurethane* sulit masuk kesegala arah.

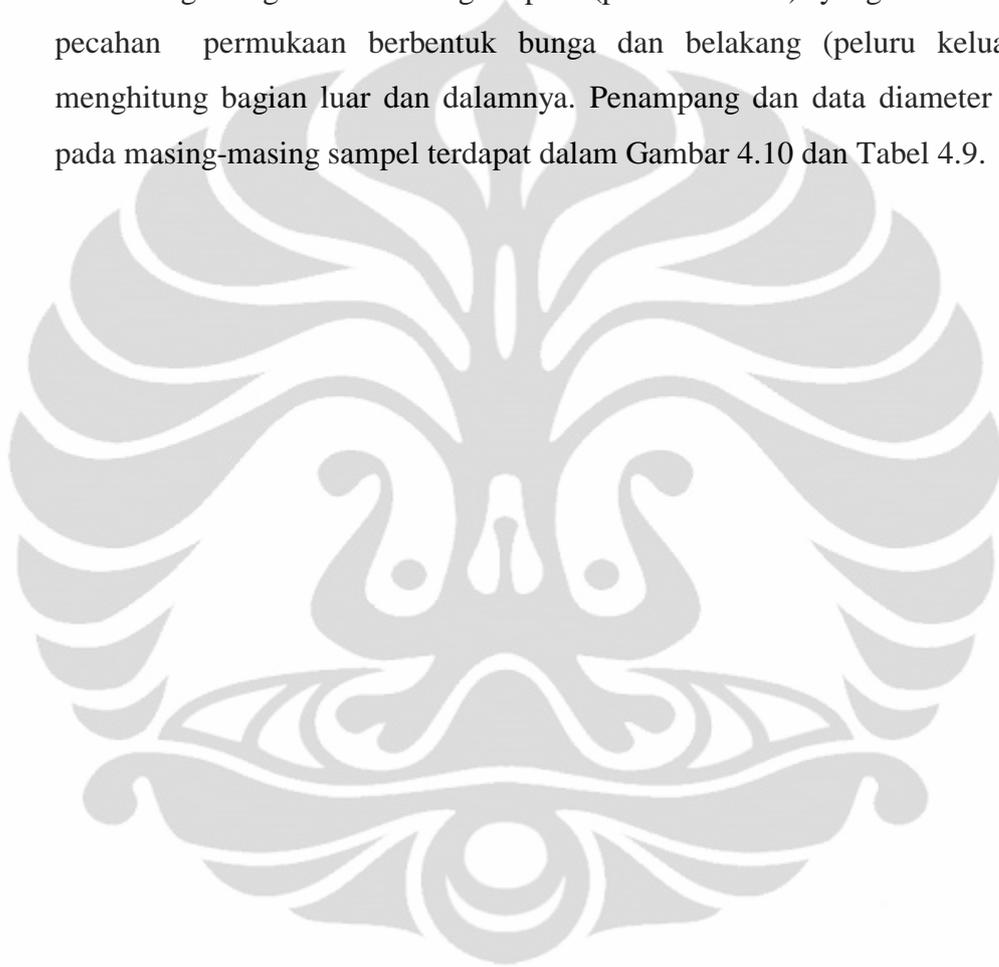
Fraksi volume kawat 7.5% harga impact tertinggi masih didapati pada sampel kawat baja 1 mm susunan searah dengan nilai 0.725 Joule/mm². Hal ini dikarenakan susunan kawat yang lebih teratur sehingga membuat *void* jarang terjadi dan susunan searah membuat material tersebut memiliki sifat *anisotropy*. Kawat 1 mm dan susunan *multidirectional* memiliki harga impact terendah dengan 0.68 Joule/mm² dan pada kawat baja 1.4 mm susunan searah harga impactnya 0.692 Joule/mm². Hal ini diperkirakan karena susunan searah pada sampel kawat 1.4 mm memiliki keunggulan lebih, sedangkan pada kawat 1 mm dengan susunan *multidirectional* tetap memiliki *void* yang cukup banyak dikarenakan penyusunannya yang saling-silang, ditambah penyusunannya yang mengakibatkan sifat mekanik sampel menjadi sangat kurang.

4.4 Karakteristik Balistik Laminat Aluminium

4.4.1 Dimensi Perforasi Balistik

Pada Bab 3 sebelumnya, proses pengujian balistik menggunakan standar NIJ 0108.01. Pada percobaannya, menggunakan dua jenis proyektil. Pada proyektil kaliber 9 mm. Pada setiap jenis fraksi volume kawat, penetrasi peluru pada sampel tertahan dengan baik, sehingga meninggalkan jejak seperti lingkaran pada permukaan laminat komposit. Sedangkan pada proyektil kaliber 7.62 mm proses penetrasi berlangsung dengan mulus atau sampel aluminium laminat komposit tembus.

Pada sub bab ini akan dijelaskan hasil perforasi dari proyektil 7.62 mm yang menembus sampel komposit laminat. Dan untuk proyektil 9 mm, yang dianalisa adalah hasil penjeakan proyektil pada permukaan sampel laminat komposit. Pada kaliber 7.62 mm, proses pengamatan dilakukan pada bagian depan dan bagian belakang pada komposit. Pengambilan nilai besar penetrasi didapati dari menghitung besar lubang depan (peluru masuk) yang ditandai dengan pecahan permukaan berbentuk bunga dan belakang (peluru keluar), serta menghitung bagian luar dan dalamnya. Penampang dan data diameter perforasi pada masing-masing sampel terdapat dalam Gambar 4.10 dan Tabel 4.9.

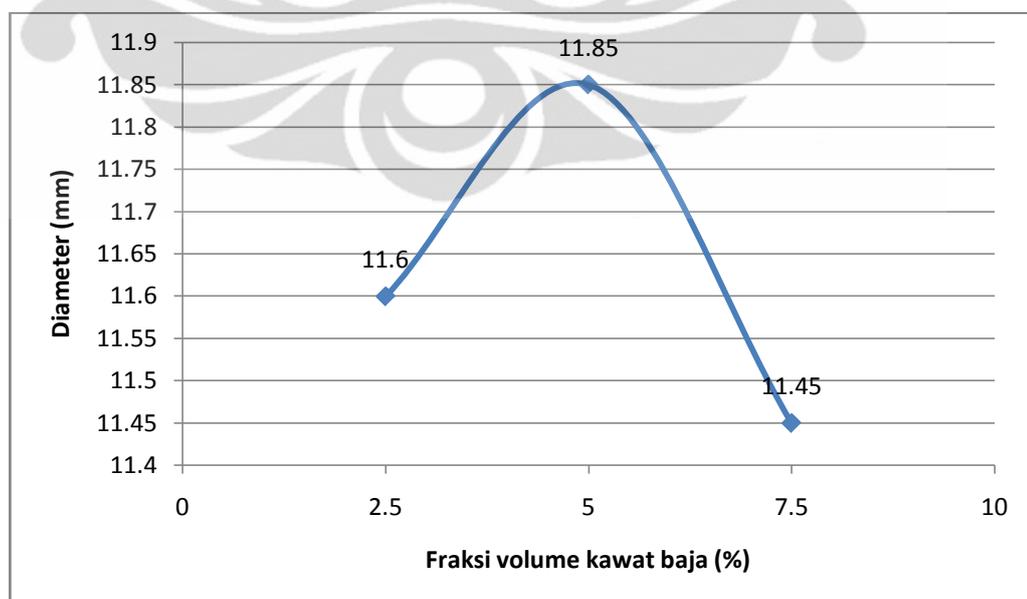




Tabel 4.9 Dimensi hasil perforasi sampel komposit laminat pada pengujian balistik.

Fraksi volume kawat (%)	Jenis peluru (mm)	Dimensi (mm)		Keterangan
		Luar	Dalam	
2.5	9		11.6	Tidak tembus
	7.62	7.95	10.21	Permukaan depan
		14.5	13.1	Permukaan belakang
5	9		11.85	Tidak tembus
	7.62	7.7	9.45	Permukaan depan
		15.9	12.6	Permukaan belakang
7.5	9		11.45	Tidak tembus
	7.62	7.8	8.95	Permukaan depan
		16.25	14.45	Permukaan belakang

Dari data pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.9, dapat dilihat perbedaan akibat pengaruh perbedaan fraksi volume kawat yang diberikan. Pada tabel 4.9 dapat dilihat akibat proyektil 9 mm meninggalkan jejak terbesarnya pada sampel panel dengan fraksi volume kawat 5% dengan 11.85 mm, pada fraksi volume 2.5% sebesar 11.6 mm dan fraksi volume 7.5% sebesar 11.45 mm. pada sampel 5% terjadi pembentukan penetrasi proyektil yang cukup besar dimungkinkan akibat pada saat proses uji balistik, proyektil yang ditembakkan ke sampel mengenai bagian panel yang memiliki sedikit kawat baja penguat.

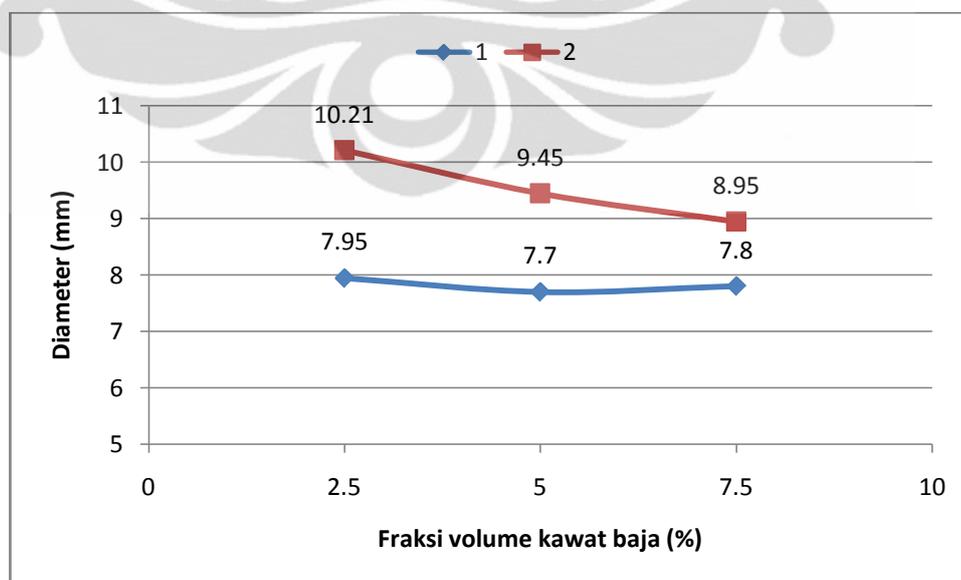
**Gambar 4.11** Diameter penetrasi peluru pada sampel dengan proyektil 9 mm

Penurunan nilai diameter penetrasi pada proyektil 9mm dapat dilihat pada Gambar 4.11.



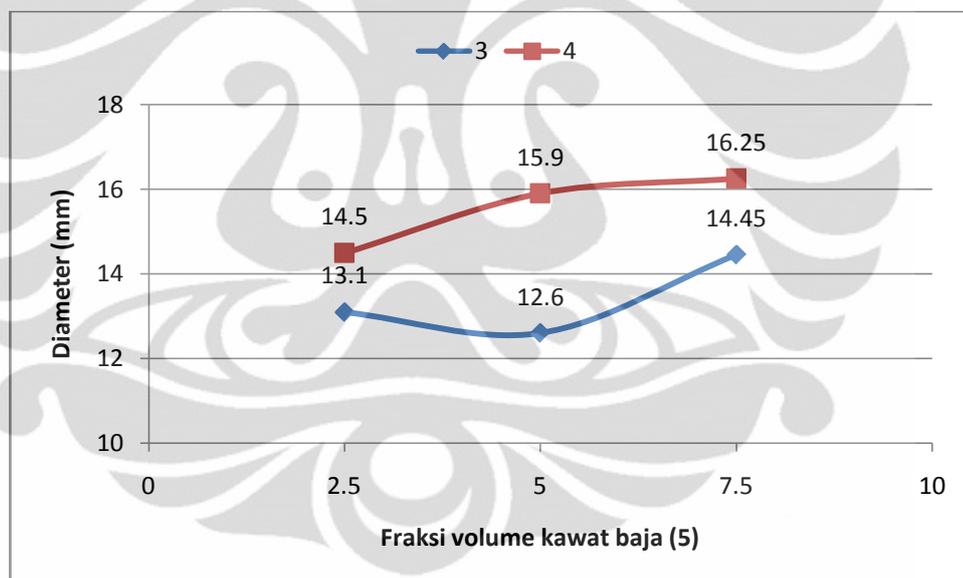
Gambar 4.12 Jalur laju masuk peluru ditandai dengan no 1-4

Penurunan diameter jejak proyektil harus sebanding dengan jumlah penyerapan energi pada uji balistik, semakin besar energi yang diserap oleh benda, semakin kecil jejak proyektil pada panel sesuai dengan pengujian impak yang telah dilakukan terlebih dahulu. Pada fraksi volume kawat 5%, diameter penjejakan meningkat, ini dikarenakan pada saat penembakan, kawat yang berada dibawah peluru kurang dan dikarenakan pada penyusunan sampel berfraksi volume kawat 5% terdapat banyak rongga udara yang terperangkap, sehingga fungsi kawat sebagai peredam tidak berfungsi secara maksimal.



Gambar 4.13 Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi bagian depan pelat komposit akibat proyektil 7.62 mm, posisi 1 dan 2 sesuai Gambar 4.12

Dari Gambar 4.13 diatas, dapat dilihat diameter bagian luar pada permukaan depan sampel memiliki jejak proyektil yang hampir sama (2.5, 5 dan 7.5%). Hal ini diakibatkan apabila dicontohkan adanya dampak tetapi hanya pada lapisan luar yakni matriks pada komposit, sehingga bentuk hasil penetrasi pada bagian luar permukaan dapat dianggap sama. Tetapi pada bagian dalam, terdapat perbedaan diameter. Pada sampel 2.5% 10.21 mm, sampel 5% diameter 9.54 mm dan sampel 7.5% berdiameter 8.95 mm. hal ini dapat dijelaskan karena adanya sistem penguat pada komposit yang mengakibatkan energi dari proyektil yang masuk diserap sehingga jejak peluru menjadi lebih kecil. Pada percobaan juga dapat dibuktikan, semakin besar fraksi volume kawat baja, semakin kecil diameter penetrasi menunjukkan semakin besar energi yang diserap.



Gambar 4.14 Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi bagian belakang pelat komposit akibat proyektil 7.62 mm, posisi 1 dan 2 sesuai Gambar 4.12

Gambar 4.14 menjelaskan bagian permukaan belakang sampel, pada permukaan luar sampel memiliki diameter yang sangat besar, semakin besar diameter yang dihasilkan pada permukaan belakang, semakin besar gesekan yang terjadi pada bagian dalam benda yang ditembus proyektil. Ini sesuai dengan percobaan, pada sampel dengan fraksi volume kawat 2.5%, diameter luar 14.5 mm, fraksi 5% berdiameter 15.9 mm dan pada fraksi volume 7.5% diameternya adalah 16.25 mm. Hal ini dikarenakan adanya pergerakan spiral pada peluru

didalam panel komposit. Pergerakan spiral yang diakibatkan oleh laras pistol akan mengakibatkan kerusakan pada benda yang ditembusnya. Semakin besar hambatan yang diterima peluru, kecepatan peluru akan berkurang, energi putar kinetik pada peluru akan memperbesar kerusakan pada material yang ditembus^[38].

Pada penelitian oleh Muhammad Ridwan^[41] dan Novian Lamanda Putra^[42], pengamatan juga dilakukan pada sampel dengan penguat kawat baja berukuran 1mm yang disusun secara *unidirectional* (searah) dan *multidirectional* ($0^\circ - 90^\circ - 0^\circ$).

Tabel 4.10 Data diameter proyektil pada sampel kawat baja 1 mm *unidirectional*^[41]

% 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	11.40	-	-	-
	7.62 mm	8.46	7.96	8.21	14.04	14.22	14.13
5	9 mm	10.70	11.50	11.10	-	-	-
	7.62 mm	8.14	7.90	8.02	14.80	14.68	14.74
7.5	9 mm	11.74	10.40	11.07	-	-	-
	7.62 mm	8.04	7.82	7.93	13.92	14.98	14.45

Tabel 4.10 menjelaskan perbedaan yang terdapat dengan melihat hasil pengukuran diameter pada jejak tumbukan proyektil. Pada sampel dengan penguat kawat baja berukuran 1 mm, diameter penyusunan *unidirectional* tumbukan untuk permukaan depan pada masing-masing jenis proyektil lebih kecil dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada percobaan. Pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm, jejak proyektil 9 mm pada sampel fraksi 2.5% berukuran 11.40 mm, 5% berukuran 11.10 mm dan 7.5% berukuran 11.07 mm^[41]. Hal ini diperkirakan karena ukuran proyektil yang besar, sehingga pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm, kemungkinan untuk proyektil menumbuk kawat yang lebih padat lebih besar dibandingkan dengan kawat baja berukuran 1.4 mm. Untuk proyektil 7.62 mm, pada permukaan sampel berfraksi 2.5%, ukuran diameter 8.21 mm, 5% berukuran 8.02 mm dan 7.5% berukuran 7.93 mm. Sedangkan pada bagian belakang sampel pada fraksi 2.5% berukuran 14.13 mm, 5% berukuran 14.74 mm

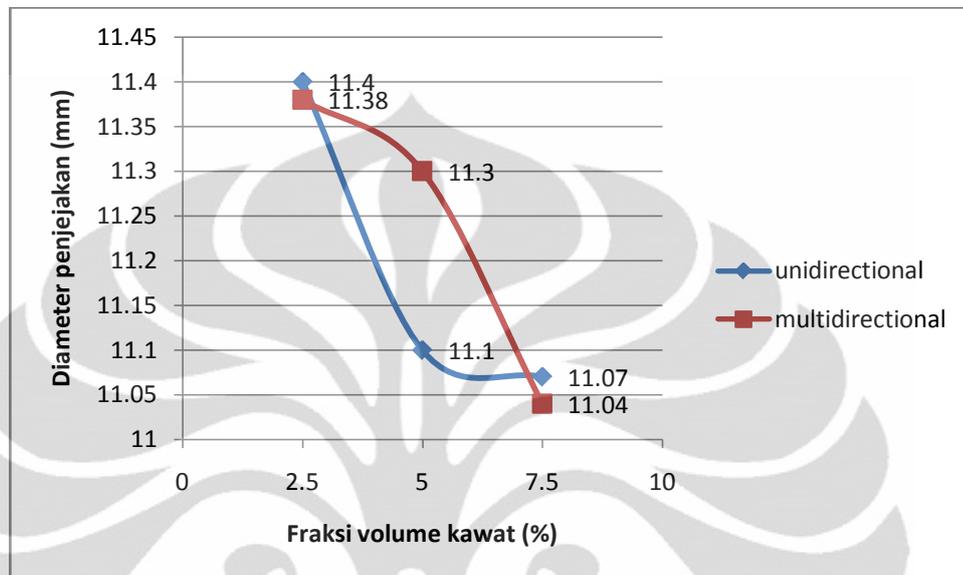
dan fraksi 7.5% berukuran 14.45 mm^[41]. Pada sampel menggunakan kawat baja 1.4 mm, hasil penjejakan berdiameter lebih kecil, hal ini diperkirakan karena pada proyektil 7.62 mm menembus sampel, sehingga pada sampel yang memiliki kawat penguat yang lebih tebal, energi yang dihasilkan proyektil lebih terserap, sehingga hasil penjejakan pada bagian depan lebih kecil dan bagian belakang lebih besar.

Tabel 4.11 Data diameter proyektil pada sampel kawat baja 1 mm *multidirectional*^[42]

Fraksi Volume (%)	Jenis Peluru	Dimensi (mm)			Keterangan
		Sumbu x	Sumbu y	Rata-rata	
2.5	9 mm	11.68	11.08	11.38	Peluru hanya berpenetrasi sampai pelat muka
2.5	7.62 mm	8.12	8.34	8.23	Pelat muka
2.5	7.62 mm	13.74	15.0	14.37	Pelat belakang
5	9 mm	11.30	11.30	11.30	Peluru hanya berpenetrasi sampai pelat muka
5	7.62 mm	8.24	8.30	8.27	Pelat muka
5	7.62 mm	15.10	14.9	15	Pelat belakang
7.5	9 mm	11.06	11.03	11.04	Peluru hanya berpenetrasi sampai pelat muka
7.5	7.62 mm	9.10	9.22	9.16	Pelat muka
7.5	7.62 mm	15.50	15.20	15.35	Pelat belakang

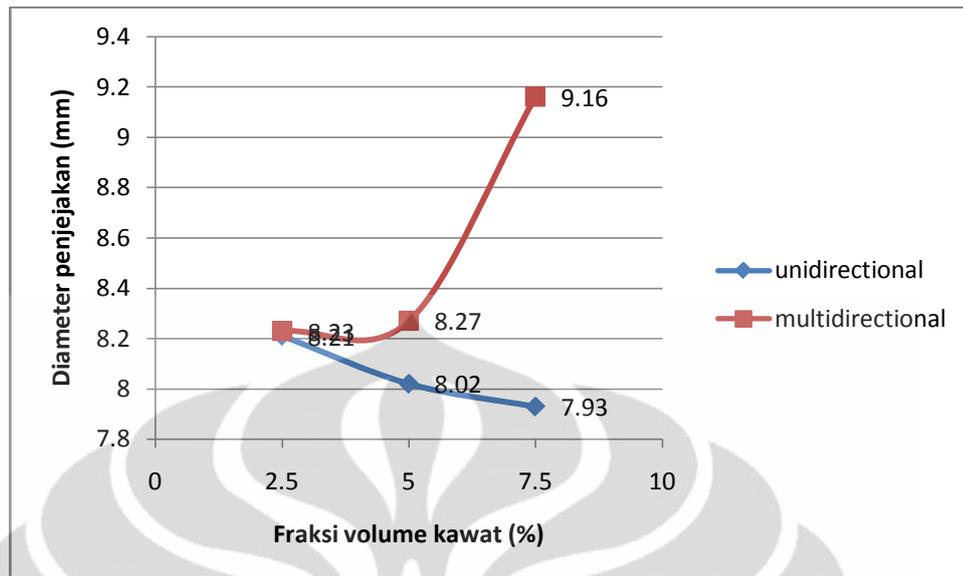
Tabel 4.11 menjelaskan sampel dengan kawat baja 1 penyusunan *multidirectional*. Dengan menggunakan proyektil 9 mm, jejak yang dihasilkan pada fraksi kawat 2.5% 11.38 mm, 5% berukuran 11.30 mm dan 7.5% berukuran 11.04 mm^[42]. Untuk proyektil 7.62 mm pada permukaan depan fraksi kawat 2.5% berukuran 8.23 mm, 5% berukuran 8.27 mm dan 7.5% berukuran 9.16 mm. pada bagian belakang, pada fraksi kawat 2.5% berdiameter 14.37 mm, 5% berukuran 15 mm, dan 7.5% berukuran 15.35 mm^[42]. Hasil penjejakan juga tidak terlalu berbeda dengan hasil penjejakan pada penyusunan *unidirectional*. Pada proyektil 9 mm, hanya menumbuk permukaan pelat komposit, sehingga dapat diperkirakan, energi hanya diserap oleh sebagian besar matriks komposit. Sedangkan pada proyektil 7.62 mm proyektil menembus seluruh pelat komposit, sehingga kawat baja dapat berfungsi untuk menyerap energi dari proyektil.

Pada Tabel 4.12 dan 4.13 hasil pengujian balistik menghasilkan hasil yang sama, pada pelat komposit yang ditembak oleh proyektil 9 mm pelat komposit dapat menahan peluru, sedangkan pada percobaan menggunakan proyektil 7.62 mm, peluru berhasil menembus pelat komposit.



Gambar 4.15 Perbandingan diameter penjejakan pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm dengan susunan unidirectional dan multidirectional dengan menggunakan proyektil 9 mm

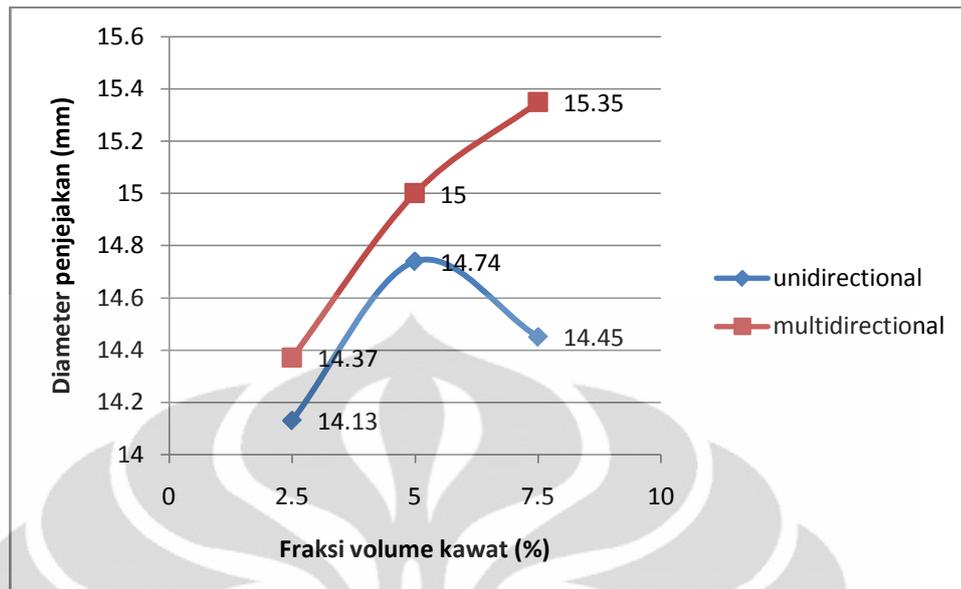
Pada Gambar 4.15 diatas, nilai awal penjejakan pada masing-masing sampel dengan fraksi volume kawat 2.5% hampir bernilai sama, hal ini dikarenakan, susunan kawat yang masih sedikit, mengakibatkan sampel memiliki kepadatan yang sama, *void* berkurang, tetapi tetap memiliki jarak antar kawat yang besar. Sehingga proyektil hanya menumbuk sebagian kawat baja. Pada fraksi volume kawat 5%, susunan *multidirectional* meninggalkan jejak yang lebih besar sebesar 11.3 mm, sedangkan *unidirectional* berada dibawahnya sebesar 11.1 mm. Hal ini dikarenakan susunan searah memiliki kerapatan kawat yang lebih baik dibandingkan susunan *multidirectional*. Pada fraksi volume kawat 7.5% nilai penjejakan proyektil pada permukaan sampel tidak banyak berbeda, hal ini dikarenakan adanya *void* karena susunan kawat menjadi penuh, terdapat banyak rongga-rongga kosong yang sulit dimasuki oleh *polyurethane*, sehingga *void* terbentuk dan sampel menjadi tebal. Akibatnya kawat baja yang berfungsi sebagai penguat, tidak dapat bekerja semaksimal mungkin.



Gambar 4.16 Perbandingan diameter penjejakan depan pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm dengan susunan unidirectional dan multidirectional dengan menggunakan proyektil 7.62 mm

Pada penggunaan proyektil 7.62 mm, proyektil berhasil menem bus sampel, sehingga diperoleh hasil penjejakan bagian depan sampel dan pada bagian belakang sampel

Pada Gambar 4.16 Dapat dilihat pada fraksi 2.5 mm, hasil penjejakan depan pada kedua jenis sampel tidak terlalu berbeda. Hal ini sesuai pada percobaan menggunakan proyektil 9 mm yang memiliki penjejakan yang hampir sama. Hal ini dikarenakan susunan kawat penguat yang masih jarang, sehingga dapat dikatakan yang bekerja pada saat penahanan proyektil adalah pelat aluminiumnya. Pada fraksi kawat 5% dan 7.5%, susunan kawat *unidirectional* mengalami penurunan penjejakan sedangkan susunan kawat *multidirectional* mengalami peningkatan penjejakan. Sehingga dapat disimpulkan susunan kawat *unidirectional* lebih menyerap energi yang dihasilkan proyektil. Hal ini dikarenakan susunan searah, menghasilkan kerapatan kawat yang lebih baik. Sedangkan susunan *multidirectional* mengakibatkan kawat menjadi lebih banyak rongga kosong, dan juga banyak mengakibatkan terperangkapnya udara dikarenakan adhesif polyurethane tidak dapat memasuki bagian-bagian yang lebih dalam.



Gambar 4.17 Perbandingan diameter penjejakan belakang pada sampel berpenguat kawat baja 1 mm dengan susunan unidirectional dan multidirectional dengan menggunakan proyektil 7.62 mm

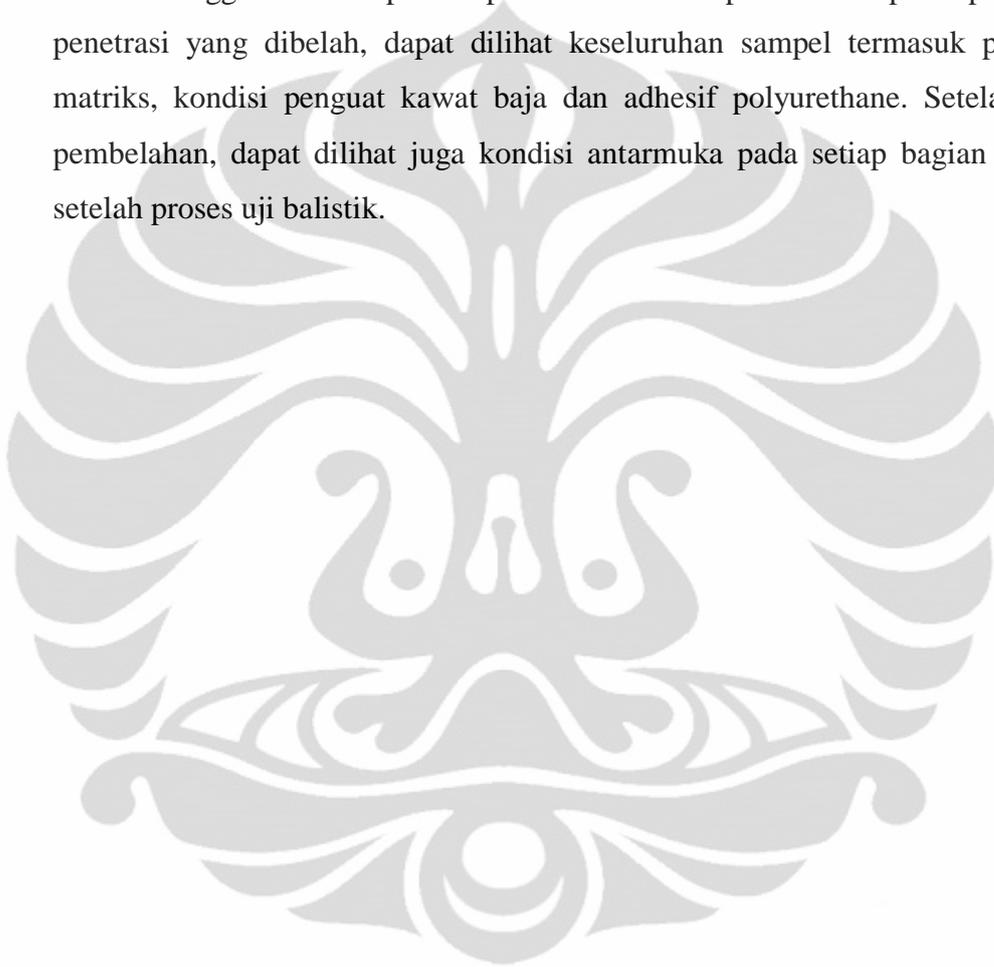
Pada Gambar 4.17 di atas diameter lubang bagian belakang pada sampel berfraksi volume kawat 2.5%, 5%, dan 7.5%, kawat dengan susunan *multidirectional* memiliki diameter yang lebih besar, hal ini dikarenakan putaran spiral pada proyektil lebih merusak pada sampel dengan susunan *multidirectional*. Hambatan yang dihasilkan sampel dengan susunan *multidirectional* lebih besar dikarenakan susunan kawat yang saling silang, sehingga proses jalannya proyektil lebih banyak terhalang. Semakin besar hambatan yang diterima proyektil, maka kecepatan peluru akan semakin berkurang, dan semakin besar energi putar peluru mengakibatkan kerusakan yang semakin besar bagi material yang ditembakkan^[38].

Hasil perforasi pada masing-masing sampel (*unidirectional* dan *multidirectional*) dengan penggunaan kawat baja 1 mm dapat dilihat pada Gambar 4.18

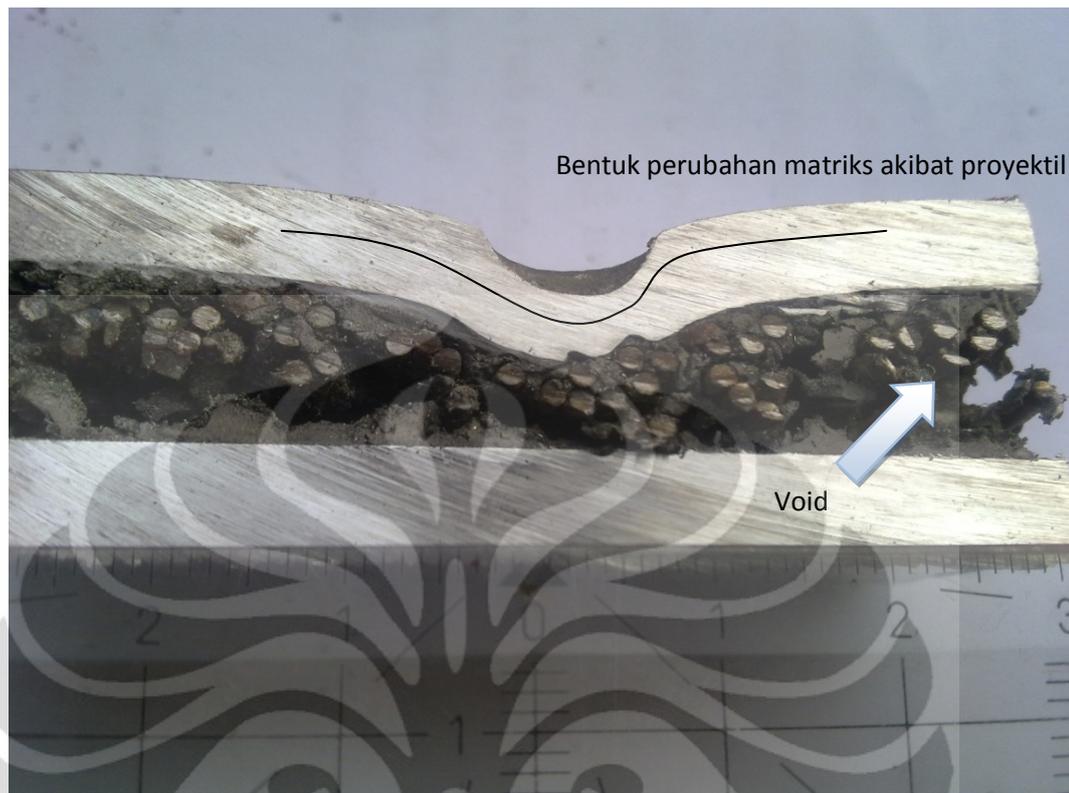


4.4.2 Struktur Makro Perforasi Balistik

Pada proses pengujian balistik terdapat kerusakan yang tampak tanpa perlu melihat secara detail dengan cara melihat diameter hasil kerusakan. Kerusakan pada sampel dilihat dengan cara membelah hasil area pemetrasi menjadi dua bagian dan diamati secara makro dengan menggunakan kamera yang memiliki resolusi tinggi. Setelah proses pembelahan dan pemotretan pada penampang penetrasi yang dibelah, dapat dilihat keseluruhan sampel termasuk perubahan matriks, kondisi penguat kawat baja dan adhesif polyurethane. Setelah proses pembelahan, dapat dilihat juga kondisi antarmuka pada setiap bagian pentusun setelah proses uji balistik.

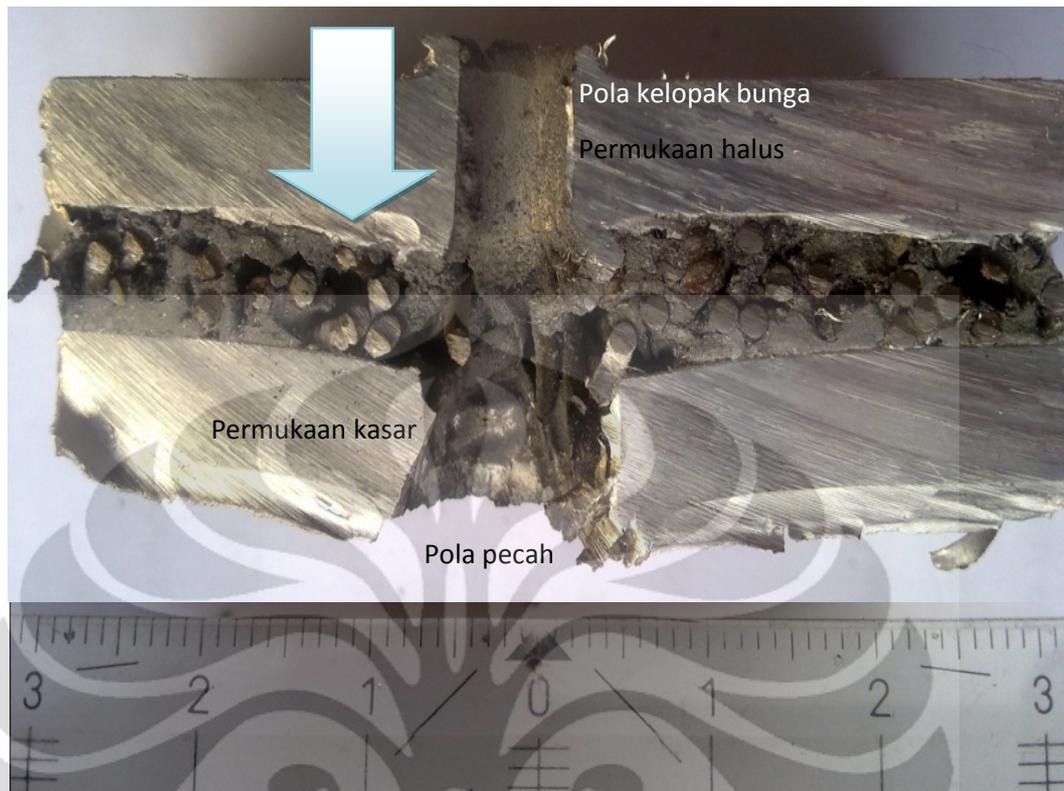






Gambar 4.20 Penjejakan dan void pada sampel 9 mm.

Pada pengujian balistik menggunakan proyektil 9 mm, proyektil tidak dapat menembus pelat komposit. Dapat dilihat pada Gambar 4.20 hasil penjejakan peluru menimbulkan cekungan pada matriks komposit, diikuti oleh kawat-kawat yang berada dibawah. Sehingga dapat dilihat kegunaan kawat dapat berupa menghalangi jalannya proyektil ke bagian belakang pelat. Seperti terlihat pada Gambar diatas, kawat yang diisi sebagai penguat pada komposit terlihat jarang-jarang dan terdapat *void*, terlihat juga bahwa adhesif tidak dapat mengisi seluruh rongga kosong yang dibentuk oleh kawat. Energi yang dihasilkan oleh proyektil lebih rendah dibandingkan energi impact yang dimiliki pelat komposit sehingga yang dihasilkan adalah penetrasi sebagian atau *partial penetration*^[7].



Gambar 4.21 Void pada sampel 7.62 mm.

Dari Gambar 4.21 diatas dapat dilihat arah masuknya peluru (bawah-atas). Tempat masuknya peluru ditandai dengan adanya bentuk bunga pada permukaan pelat komposit atau sering disebut dengan pola kelopak bunga, dan pada bagian belakang pelat berupa jalan keluar peluru yang berantakan dan dapat dilihat memiliki diameter yang lebih besar daripada lubang pada permukaan depan panel diakibatkan adanya gaya spiral pada pergerakan proyektil.

Proses pergerakan proyektil dari penumbukan matriks hingga mengenai kawat baja dan tembus pada bagian belakang panel dapat digambarkan pada Gambar diatas. Proyektil masuk pada matriks AA 5083 dengan mulus atau tidak meninggalkan jejak pada jalan masuknya, kecuali pada permukaan luar meninggalkan bentuk kelopak bunga yang dihasilkan akibat adanya gaya spiral pada proyektil. Ketika proyektil mengenai kawat baja, kawat baja putus, dan sebagian energi yang dimiliki proyektil terserap, sehingga perjalanan proyektil tidak mulus atau berantakan, dapat dilihat dari Gambar diatas. Akibat dari pergerakan yang berantakan, ketika peluru keluar, pelat bagian belakang akan meninggalkan bekas yang berantakan atau pecah^[38].

Dapat dilihat pada Gambar dan Gambar 4.20 dan 4.21, terdapat banyak *void*, hal ini dikarenakan kurangnya ikatan antara adhesif, kawat dan matriks. Hal ini mengakibatkan kurangnya penyerapan energi impak dan mudahnya pelat komposit terlepas atau delaminasi. *Void* yang dihasilkan akan memerangkap rongga udara dan mengakibatkan kawat baja menjadi terkorosi. Adanya *void*, delaminasi dan korosi pada panel komposit mengakibatkan kurangnya sifat-sifat komposit yang diharapkan pada panel.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pembuatan cetakan membantu meluruskan kawat yang sebelumnya terpilin. Kelurusan kawat sebelum adalah 80.84%, setelah dilakukan pelurusan kawat, kelurusan kawat meningkat hingga 94.31%.
2. Nilai harga impact meningkat seiring peningkatan fraksi volume kawat baja. Pada fraksi volume kawat 2.5%, 5% dan 7.5% nilai rata-rata harga impact adalah 0.654, 0.664, dan 0.692 J/mm².
3. Peningkatan fraksi volume kawat baja sebagai penguat mempengaruhi ketahanan balistik pada sampel balistik. Perhitungan kekuatan dilihat dari penjejakan peluru pada sampel. Semakin tinggi fraksi volume kawat, semakin kecil diameter perforasi akibat penetrasi proyektil.
4. Matriks pada komposit berupa AA5083 berfungsi untuk memecah proyektil dan mempertahankan laju peluru. Kawat baja karbon tinggi sebagai penguat berfungsi untuk menyerap energi kinetik yang dihasilkan oleh proyektil. Diantara matriks aluminium dan kawat baja diberi adhesif polyurethane yang berfungsi sebagai pengikat atau *binder*.
5. Pengikat pelat aluminium dan kawat baja adalah adhesif *polyurethane*. Penggunaan *polyurethane* memiliki kekurangan ditandai dengan banyaknya void yang terdapat didalam sampel dan lepasnya pelat setelah dilakukan pengujian impact dan pemotongan sampel.
6. Pengujian balistik menggunakan 2 jenis proyektil, 9 mm dan 7.62 mm. Proyektil 9 mm menggunakan pistol P2 yang dibuat oleh PINDAD, sedangkan proyektil 7.62 mm menggunakan senapan laras panjang SPR-1.
7. Pada penggunaan proyektil 9 mm, pelat dapat menahan proyektil, perhitungan diameter penjejakan pada fraksi volume kawat 2.5% adalah 11.6 mm, 5% adalah 11.85 mm, dan 11.45 mm.
8. Pada proyektil 7.62 mm proyektil berhasil menembus pelat komposit. Diameter depan pada fraksi kawat 2.5% adalah 7.95 mm, 5% adalah 7.7

mm, 7.5% adalah 7.8 mm. Sedangkan pada diameter depan fraksi kawat 2.5% adalah 14.4 mm, 5% adalah 15.9 mm dan 7.5% adalah 16.25 mm.

9. Pada permukaan pelat, semakin kecil diameter yang terbentuk, semakin bagus pelat menahan proyektil, sedangkan pada bagian belakang pelat, apabila semakin besar diameter yang terbuat, semakin rusak pergerakan proyektil, dan semakin besar energi yang diserap oleh pelat komposit.
10. Berdasarkan perbandingan penyusunan kawat, susunan kawat *unidirectional* memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan penyusunan *multidirectional*.

5.2 Saran

1. Penggunaan kawat baja sebagai penguat sangat bagus dalam menahan beban impact, tetapi penyusunan dan proses pelurusan kawat membutuhkan tenaga yang lebih karena kawat baja yang telah dipilin terlebih dahulu sangat susah diluruskan dan apabila kawat yang keriting digunakan pada pembuatan komposit, akan memakan banyak tempat dan menimbulkan *void*.
2. Pemberian *treatment* awal pada matriks komposit sangat dianjurkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada matriks komposit, sehingga pada saat pengujian balistik, peluru dapat pecah pada permukaan pelat komposit.
3. Fraksi volume kawat baja harus ditingkatkan, sehingga proses penyerapan energi impact dari proyektil dapat diserap sempurna.
4. Pemberian adhesif polyurethane kurang bagus pada saat percobaan. Penggunaan adhesif lain sangat dianjurkan, sehingga dapat didapat pengikat yang baik dan gas yang terperangkap semakin sedikit atau mencegah timbulnya *void*.
5. Pemotongan sampel sebaiknya dilakukan dengan alat potong yang memiliki mata yang kecil, sehingga hasil uji balistik tidak mengalami kerusakan, dan penggunaan air pada saat pemotongan harus dihindari untuk mencegah korosi.

DAFTAR REFERENSI

- [1]. Karahana Mehmet, Kus Abdil, Erenc Recep (2007). *An Investigation Into Ballistic Performance and Energy Absorption Capabilities of Woven Aramid Fabric*. Textile Engineering Department. Faculty of Engineering & Architecture, University of Uludag, Turkey
- [2]. Pengaksesan :
<http://www.shitaya.co.jp/english/GIS3525E/rope6X19E.htm> Tanggal : 28 November 2010.
- [3]. *General Product Information WELDOX, HARDOX, ARMOX, and TOOLOX*. SSAB Oxelosund, Sweden
- [4]. Mustafa Ubeyli, R. Orhan Yildirim, Bilgehan Ogel (2004). *On the drop-weight Testing of Alumina/Aluminum Laminated Composite*. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Universitesi Muhendislik Fakultesi, Makine Muhendisligi, Ankara, Turkey.
- [5]. Ubeyli M, Yildirim RO, Ogel B (2007). *On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors*. Material and Design 28.
- [6]. R. Zaera, S. Sanchez-Saez, M. Sanchez-de la Sierra, J.L. Perez-Castellanos, C. Navarro. *Influence of the Adhesive in the Ballistic Performance of Ceramic Faced Plate Armours*. Departamento de Ingenieria Mecanica, Escuela Politecnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid.
- [7]. A. Basuki. *Ketahanan Balistik Baja Tahan Peluru Produksi dalam Negeri terhadap Penetrasi Projektil 5.56 mm*. SENAMM (2010)
- [8]. NIJ-0108.01
- [9]. Pengaksesan : http://www.astorarms.ca/prohibited_handguns.htm. Tanggal : 20 Maret 2011
- [10]. Pengaksesan :
<http://www.democracyforums.com/showthread.php?t=25176>. Tanggal : 20 Maret 2011

- [11]. Pengaksesan : <http://smithandwesson.atspace.com/357-magnum-smith-wesson.html>. Tanggal : 20 Maret 2011
- [12]. Pengaksesan : <http://www.flickr.com/photos/itwuzcryptic/2318074275/> .
Tanggal : 20 Maret 2011
- [13]. Pengaksesan : <http://thezenofhealing.com/2011/01/03/zen-and-the-art-of-shooting/>. Tanggal : 20 Maret 2011
- [14]. Pengaksesan : <http://tech.military.com/equipment/view/89062/mp-5n-9mm-submachine-gun.html>. Tanggal : 20 Maret 2011
- [15]. Pengaksesan : <http://www.gunslot.com/pictures/223>. Tanggal : 20 Maret 2011.
- [16]. Pengaksesan : http://www.jgsales.com/product_info.php/p/30-carbine-tulammo-110gr-fmj,-50-rd-boxes-/products_id/4428. Tanggal : 20 Maret 2011.
- [17]. Pengaksesan :
http://deuce45s.com/index.php?main_page=index&cPath=3_33_37 .
Tanggal : 20 Maret 2011.
- [18]. Utama, Hari. *Pengaruh Penambahan Cu(1%, 3% dan 5%) pada Aluminium dengan Solution Heat Treatment dan Natural Aging terhadap Sifat Fisis dan Mekanis*. Universitas Muhammadiyah Surakarta . 2009.
- [19]. ASM Handbook 2
- [20]. Borvik T, Forrestal M.J, Warren T.L (2009). *Perforation of 5083-H116 Aluminium Armor Plates with Ogive-Nose Rods and 7,62 mm APM2 Bullet*. Society for Experimental Mechanics
- [21]. Ubeyli M, Yildirim RO, Ogel B (2007). *On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors*. Material and Design 28.
- [22]. Pengaksesan : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2804> .
Tanggal : 14 Oktober 2010
- [23]. Pengaksesan : <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-3200/c-2.pdf>. Tanggal : 15 Oktober 2010

- [24]. Pengaksesan :
<http://www.shitaya.co.jp/english/GIS3525E/rope6X19E.htm>. Tanggal : 26 Februari 2011
- [25]. Pengaksesan :
http://www.lni.wa.gov/wisha/rules/construction/HTML/296-155L_2.htm.
Tanggal : 8 September 2010
- [26]. *Certificate of Test Steel Wire Rope*. USHA SIAM steel industry Public co. Ltd. 2009
- [27]. Pengaksesan :
http://indonesiapolyurethane.com/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=4&lang=in. Tanggal : 8 September 2010
- [28]. Pengaksesan : <http://www.sdplastics.com/polyuret.html>. Tanggal : 26 Februari 2011
- [29]. Pengaksesan :
http://www.pasco.net.au/pasco/product_details.php?category_id=319&item_id=197. Tanggal : 26 Februari 2011
- [30]. Technical data sheet seal 'n' flex 1 polyurethane construction joint sealant bostik findley
- [31]. Sciti, D., and Bellosi, A., 2002, microstructure and properties of alumina-SiC *nanocomposites* prepared from ultrafine powders, journal of material science 37, kluwer academic publishers.
- [32]. Hartomo A.J Komposit *metal* penerbit andi offset Yogyakarta 1992
- [33]. Hull, D.1981.*Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press
- [34]. ASTM E 8. 2002. *Standard Test Method for Tensile Testing of Metallic Material*. ASTM International.
- [35]. JIS 3525
- [36]. ASTM D 638. 2002. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*. ASTM International.
- [37]. ASTM E23. 2002. *Standard Testing Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. ASTM International.

- [38]. Pengaksesan :
http://karws.gso.uri.edu/jfk/scientific_topics/wound_ballistics/how_a_high-speed.html. Tanggal : 20 Maret 2011
- [39]. F.L. Matthews, R.D. Rawlings. 1994. *Composite Materials : Engineering and Science*. London : Chapman & Hall
- [40]. R. M. Christensen. 2008. *Failure Criteria for Anisotropic Fiber Composite Materials*.
- [41]. Ridwan Muhammad. 2010. *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%*. Fakultas Teknik Program Studi Metalurgi dan Material. Depok
- [42]. Lamanda Putra Novian. 2010. *Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan ($0^0/90^0/0^0$) dan Fraksi Volume 2.5%, 5% dan 7.5%*. Fakultas Teknik Program Studi Metalurgi dan Material. Depok

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Spesifikasi Material



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 ²
Chemical resistance	Resistant to dilute acids, alkalis & some solvents. Intermittent contact with diesel and petroleum.
Elongation at break	>600%
Application Temperature	5°C to 35°C
In Service Temperature range	-40°C to +70°C
Full cure	7 days on porous substrates

PACKAGING

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

COVERAGE

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

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

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

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

APPLICATION INSTRUCTIONS

Preparation:

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

(Lanjutan)

PRIMING

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

N40 primer is recommended for non-porous surfaces.

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

APPLICATION

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

JOINT SEALING HINTS

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

W = between 12 to 50 mm

**PRECAUTIONS**

Seal N Flex 1 should:

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

PAINTABILITY

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

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

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

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

HEALTH AND SAFETY

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

CLEAN-UP

Clean up uncured material and equipment immediately after use using Bostik Hand 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
248204	300ml Cartridge	Black
248220	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
226568	600ml Sausage	Redwood
218626	600ml Sausage	Off White
232440	600ml Sausage	Manila 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
SAI GLOBAL

FOR FURTHER INFORMATION

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

SYDNEY
Phone: 02 8825 3499
Fax: 02 8825 3411

PERTH
Phone: 08 9258 6218
Fax: 08 9258 7887

www.bostik.com.au
HOTLINE
Consumer 1800 898 551
DIY & Plumber 1300 723 522
(ABN 79 003 893 838)

Product	Seal N Flex 1
Issue Date	April 2016
Issue No	0
Control No	0

(Lanjutan)



Usha Siam Steel Industries Public Company Limited

FACTORY : 101/46 MOO 20, PHAHOLYOTHIN ROAD T.KLONGNUENG A.KLONGLUANG PATHUMTHANI 12120 THAILAND
Phone : (66) 2529-1088, 2529-1167-8, Fax. : (66) 2529-1166, Homepage : www.ushasiam.com

FORM No. : F/QP-2-17/02
 REV. : 07
 DATE : 15.11.2004

CERTIFICATE OF TEST

Customer Order Ref.	PO # 742	Certificate No	E-0809-2526
Sale Order Ref.	E6-254	Date	28.01.09
Sl. No.	4	Invoice No.	EXP-518/0809 DT.29.11.08
Reel/Coil No.	1	Net weight	1.960 Mt.
Length Of Reel/Coil	1x1000 MTRS.		

Party's Name and Address

PT.INDOSPLICE
 JL.CIPUTAT RAYA NO.15
 PONDOK,PINANG
 JAKARTA

PT. INDOSPLICE
 RIGGING & LIFTING SPECIALIST
 Jl. Ciputat Raya No. 15 Pondok Pinang Jakarta 12310
 021- 751 7878, Fax 021- 751 7887

COPY CERTIFICATE

Authorized by:



Type of Product : **STEEL WIRE ROPE**

Customer Name : _____

This is to certify that the material described below conforms to **ANSI/API SPEC 9A/2004 10 mm**

PO No. _____ Date of issue: **13 Nov 2010**

LENGTH _____

Test Results

Test Items	Specification	Test Results
Diameter	22.00 MM. + 5 % - 0 %	22.30-22.54 MM.
Construction	6x19 (12/6/1)	6x19 (12/6/1)
Lay Direction	RHOL	RHOL
Lay Length	159.50 MM. MAX.	141.40 MM.
Core	IWRC	IWRC
Tensile Strength	1960 N/MM2.	1960 N/MM2.
Type Of Coating	UNGALV	UNGALV
Type Of Lubrication	A2	A2
Minimum Breaking Load	315.00 kN.	329.50 kN.

Date of Sample Testing : **29.11.08**

Certify that the above information is in accordance with the records of the company and conforms to the specification (s) as stated.

Certify Authority

Manager Quality Assurance
 Usha Siam Steel Industries Public Company Limited.

Signature: _____





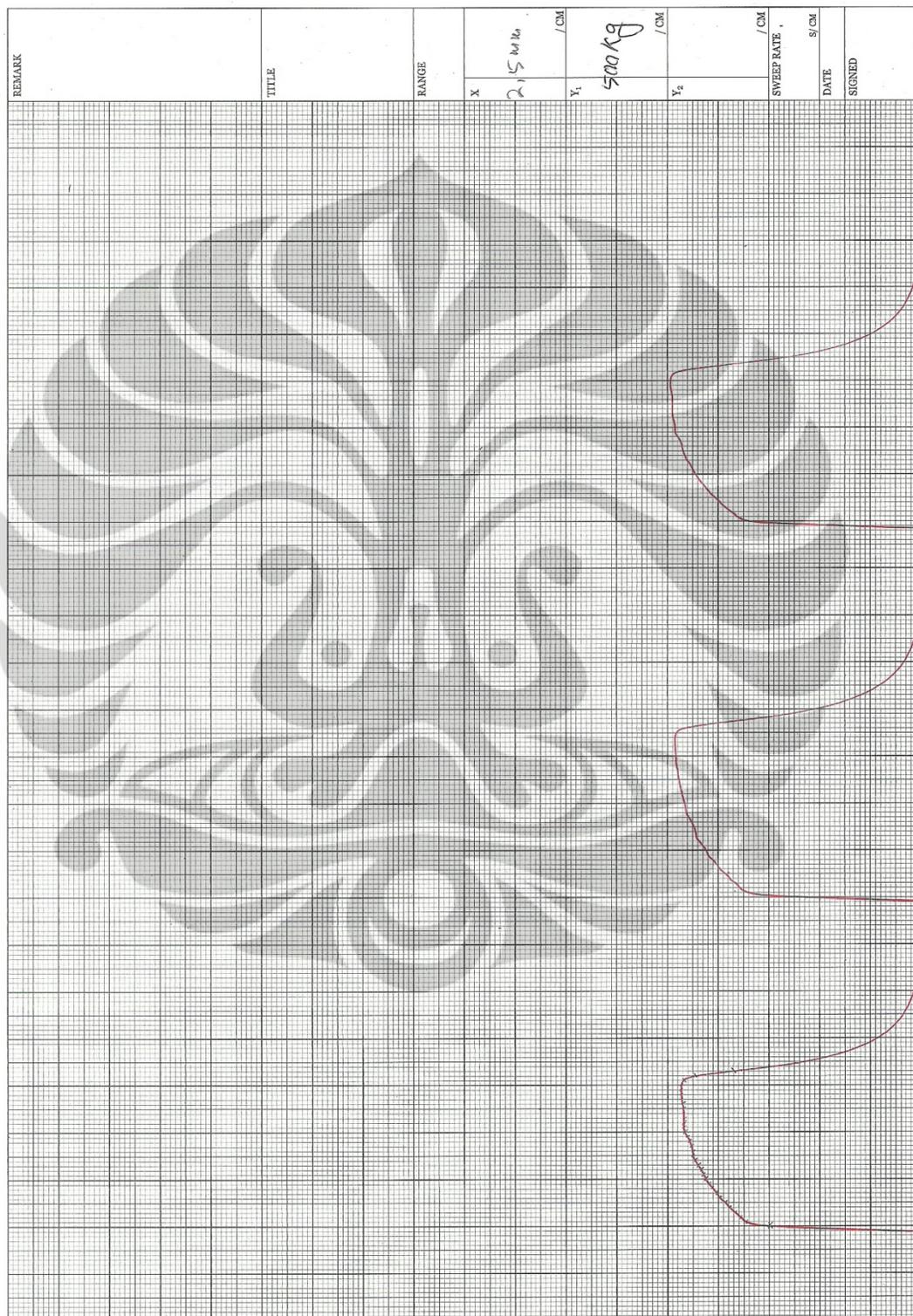
9A-0048 JIS G 3525
Certification No. : KSTH08001

Lampiran 2. Hasil Pengujian OES Aluminium 5083

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 Aluminium

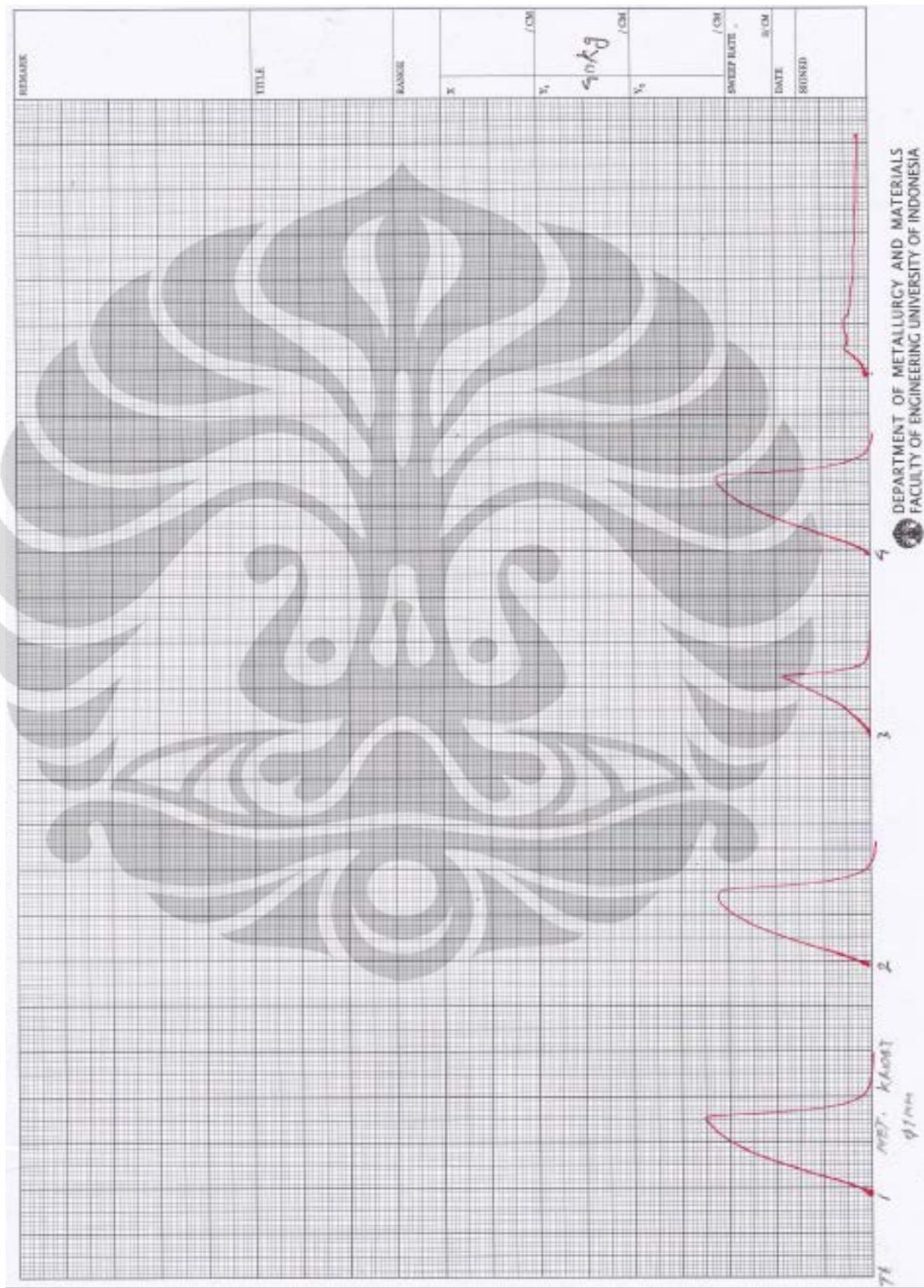


S-5-3
 DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS
 FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA

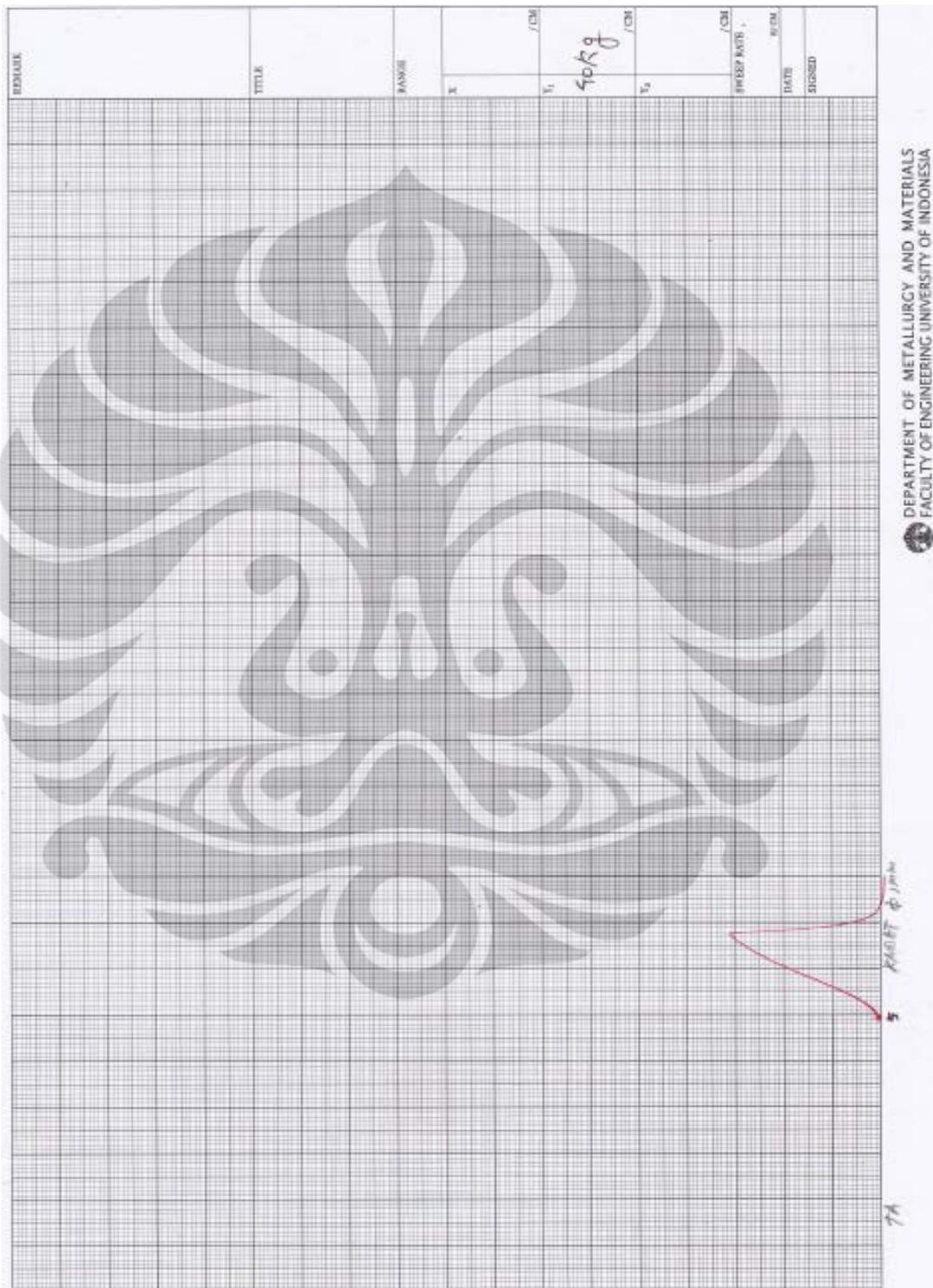
S-5-2

S-5-1

Lampiran 4. Hasil Pengujian Tarik Kawat Baja



(Lanjutan)



Lampiran 5. Hasil Pengujian Tarik Adhesif Polyurethane



A trademark of AMETEK, Inc.

Plastics Tensile Setup, Full Report

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

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

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

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

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.5000 mm	5.0000 mm	31.500 mm ²

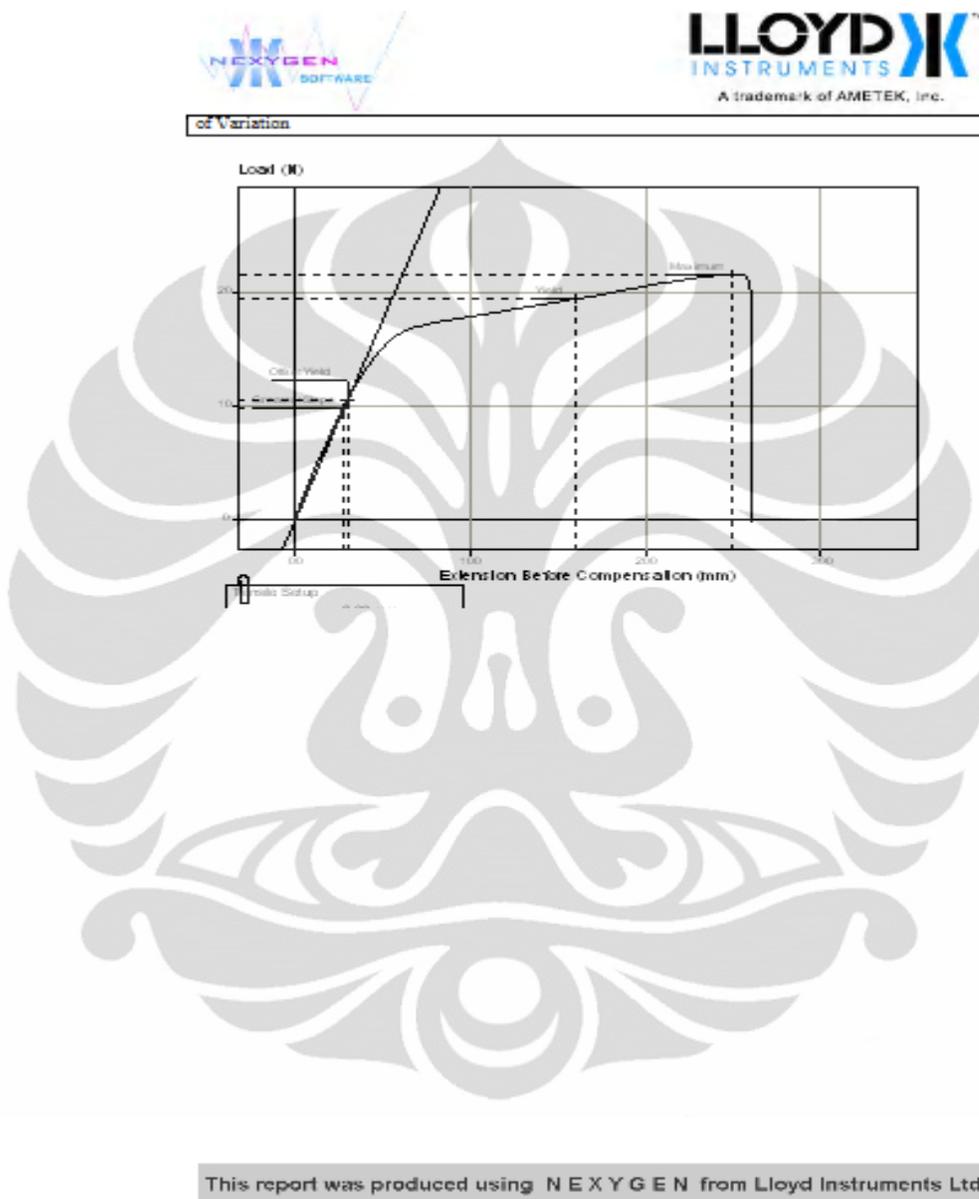
	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	352.72 N/m	0.27994 MPa	21.656 N	222.26 mm	0.68749 MPa
Deviation	0.00000 N/m	0.00000 MPa	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 MPa
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

	Percentage Strain at Maximum	-TRANSLATION Work to Maximum Load-	-TRANSLATION Load at Break-	-TRANSLATION Extension at Break-	-TRANSLATION Work to Break-
Mean	339.03	<VALUES Work to Maximum Load>	<VALUES Load at Break>	<VALUES Extension at Break>	<VALUES Work to Break>
Deviation	0.00000	-DEVIATION Work to Maximum Load-	-DEVIATION Load at Break-	-DEVIATION Extension at Break-	-DEVIATION Work to Break-
Coefficient of Variation	0.00%	-COV Work to Maximum Load-	-COV Load at Break-	-COV Extension at Break-	-COV Work to Break-

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

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)



(Lanjutan)



Plastics Tensile Setup, Full Report

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

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

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

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

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.5000 mm	5.0000 mm	31.500 mm ²

	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	352.72 N/mm	0.27994 MPa	21.636 N	222.26 mm	0.68749 MPa
Deviation	0.00000 N/mm	0.00000 MPa	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 MPa
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

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

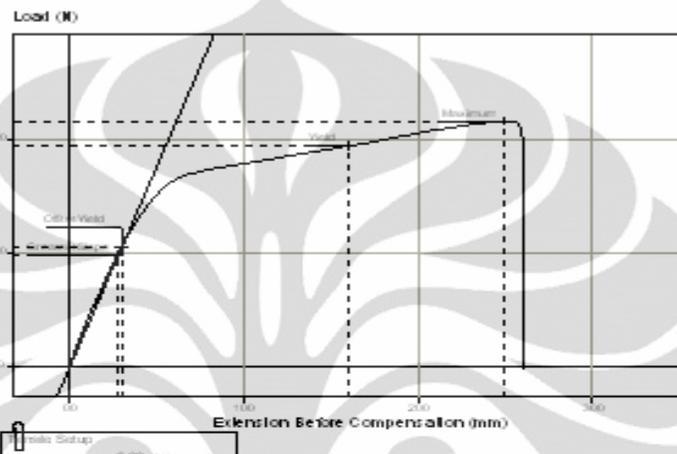
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	19.496 N	132.76 mm			10.560 N	2.1943 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm			0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%			0.00%	0.00%

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)



of Variation



This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)



A trademark of AMETEK, Inc.

Plastics Tensile Setup, Full Report

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

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

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

Date	Time	User	Sample	Batch Reference	Sample Reference
12/10/201	10:54:00	RS	Polyurethane		No. 7
0	AM				

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.0000 mm	6.5000 mm	39.000 mm ²

	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	528.68 N/mm	0.33890 MPa	26.067 N	157.58 mm	0.66839 MPa
Deviation	0.00000 N/mm	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>

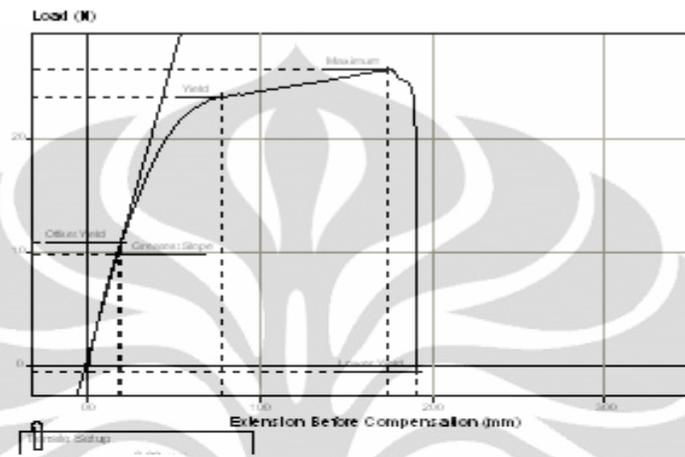
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	23.730 N	61.127 mm	-0.47773 N	173.95 mm	10.828 N	1.9911 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%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

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd



A trademark of AMETEK, Inc.

of Variation

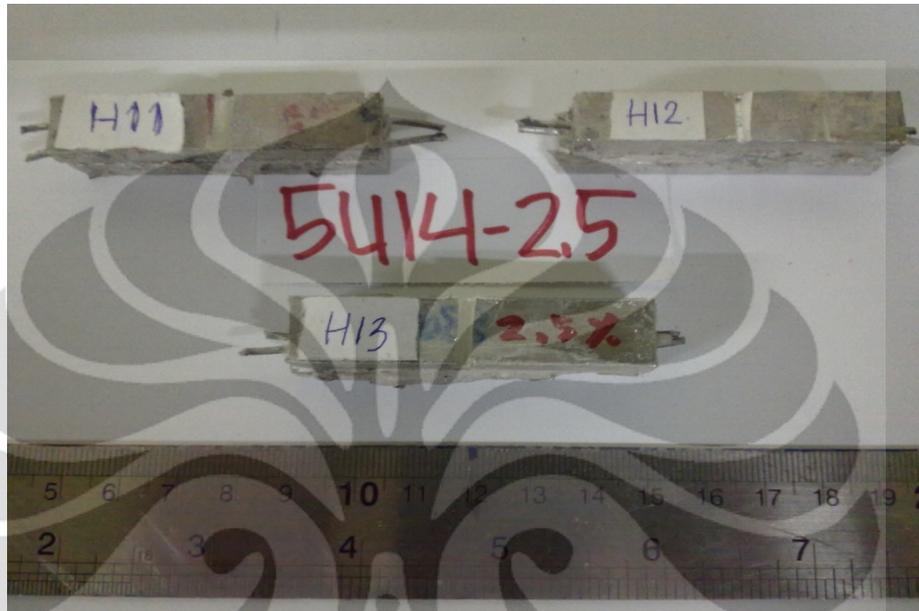


This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

Lampiran 6. Hasil Pengujian Impak

a. Fraksi Volume Kawat 2.5%

Sebelum pengujian:



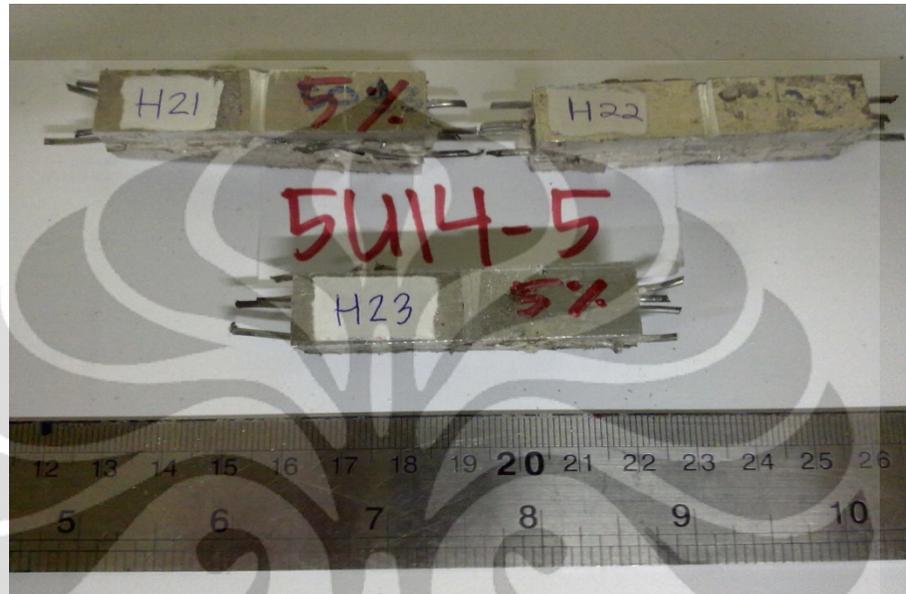
Setelah pengujian :



(Lanjutan)

b. Fraksi Volume 5%

Sebelum pengujian:



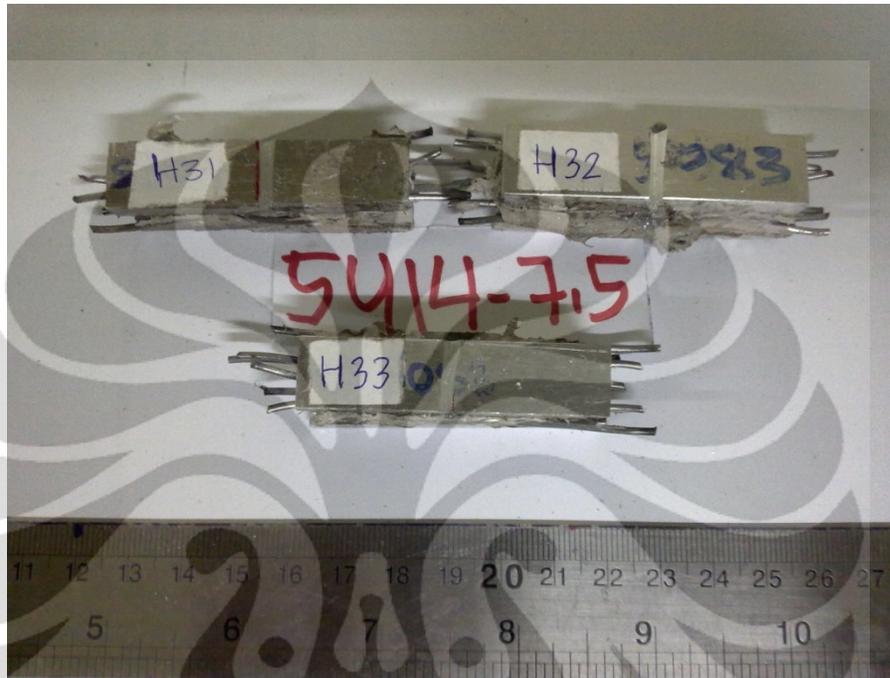
Setelah pengujian :



(Lanjutan)

c. Fraksi Volume 7.5%

Sebelum pengujian:



Setelah pengujian :



Lampiran 7. Hasil Foto Makro Penampang Utuh

1. Fraksi Volume 2.5%

Kaliber 9 mm:



Kaliber 7.62 mm:



(Lanjutan)

2. Fraksi Volume 5%

Kaliber 9 mm:



Kaliber 7.62 mm:



(Lanjutan)

3. Fraksi Volume 7.5%

Kaliber 9 mm :



Kaliber 7.62 mm :

