



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN KOMPOSIT LAMINAT AA 6061 TAHAN
PELURU DENGAN PENGUAT KAWAT BAJA KARBON
TINGGI DENGAN SUSUNAN ($0^0/90^0/0^0$) DAN VARIASI
FRAKSI VOLUME 2.5 %, 5 %, DAN 7.5 %**

SKRIPSI

MUHAMMAD NURRAHMAN

0706268745

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN KOMPOSIT LAMINAT AA 6061 TAHAN
PELURU DENGAN PENGUAT KAWAT BAJA KARBON
TINGGI DENGAN SUSUNAN ($0^0/90^0/0^0$) DAN VARIASI
FRAKSI VOLUME 2.5 %, 5 %, DAN 7.5 %**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMMAD NURRAHMAN

0706268745

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Nurrahman
NPM : 0706268745

Tanda Tangan :
Tanggal : 31 Desember 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Nurrahman
NPM : 0706268745
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Perancangan Komposit Laminat AA 6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) 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. Sri Harjanto ()

Penguji 2 : Deni Ferdian, ST, M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 31 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah swt., karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi yang berjudul ***Perancangan Komposit Laminat AA 6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan (0°/90°/0°) dan Variasi Fraksi Volume 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %***, dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.
- (2) Bapak, ibu, kakak dan saudara kembar saya yang senantiasa telah memberikan bantuan dukungan moral dan material.
- (3) Ibu Dwi Rahmalina yang telah membantu dari awal hingga berakhirnya penelitian ini.
- (4) Abdan, Fariz, Henry, Hesti, Ridwan, dan Novian selaku teman seperjuangan dalam penelitian ini yang telah banyak membantu dari awal hingga berakhirnya penelitian.
- (5) Benny, dan Himawan yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
- (6) Anton dan Ricky (Teknik Mesin 2007) yang telah memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
- (7) Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap agar Allah swt. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 31 Desember 2010

Penulis

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

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

Nama : Muhammad Nurrahman
NPM : 0706268745
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Perancangan Komposit Laminat AA 6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) dan Variasi Fraksi Volume 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 31 Desember 2010
Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Nurrahman
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Perancangan Komposit Laminat AA 6061 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) dan Variasi Fraksi Volume 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, sehingga harus memiliki tingkat pertahanan dan keamanan yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan material tahan peluru yang dapat digunakan sebagai komponen militer. Material tahan peluru yang dikembangkan berupa laminat yang memiliki sifat yang ringan, tetapi tetap kuat dan keras.

Komposit laminat tersusun dari pelat AA 6061 T-651 sebagai matriks, kawat baja karbon tinggi sebagai penguat dengan fraksi volume 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %, dan *polyurethane* sebagai adhesif. Komposit tahan peluru dibuat berdasarkan metode laminasi dengan susunan kawat ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$). Karakterisasi yang dilakukan berupa pengujian dampak, pengujian balistik, dan pengamatan foto makro pada daerah perforasi. Pengujian balistik dilakukan berdasarkan standar NIJ 0108.01 dengan tipe proyektil berkaliber 9 mm (tipe II) dan 7.62 mm (tipe III).

Hasil pengujian dampak menunjukkan bahwa harga dampak semakin meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume kawat. Material komposit yang dibuat memiliki ketahanan yang baik terhadap beban dampak dari proyektil 9 mm, tetapi ketahanannya rendah terhadap beban dampak dari proyektil 7.62 mm. Foto makro memperlihatkan bentuk kerusakan berupa *petalling* dan *bulging* pada perforasi kaliber 7.62 mm. Kawat berperan dalam memperlambat proyektil, tetapi tidak cukup keras untuk menghentikannya.

Kata kunci : ringan, laminat, balistik, dampak, proyektil, perforasi, *petalling*, *bulging*.

ABSTRACT

Name : Muhammad Nurrahman
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Design of AA 6061 Armor Laminate Composite Reinforced by High Carbon Steel Wire with Stacking Sequence of (0°/90°/0°) and Volume Fraction of 2.5 %, 5 % and 7.5 %

Indonesia is the biggest archipelago in the world, that needs an adequate level of defense and security. This research aims to design and develop an armor material that can be used as military components. The requirement of the armor material is lightweight, but remain strong and hard.

This research studied laminate composites that consist of AA 6061 T-651 as a matrix, high carbon steel wire as a reinforcement with the volume fraction of 2.5 %, 5 %, and 7.5 %, and polyurethane as adhesive. Manual lamination method was applied with the stacking sequence of (0°/90°/0°). The characterization was carried out by impact testing, ballistics testing, and macrograph examination on the perforation area. Ballistic testing conducted in accordance with NIJ 0108.01 standards, and the projectiles type are 9 mm (type II) and 7.62 mm (type III).

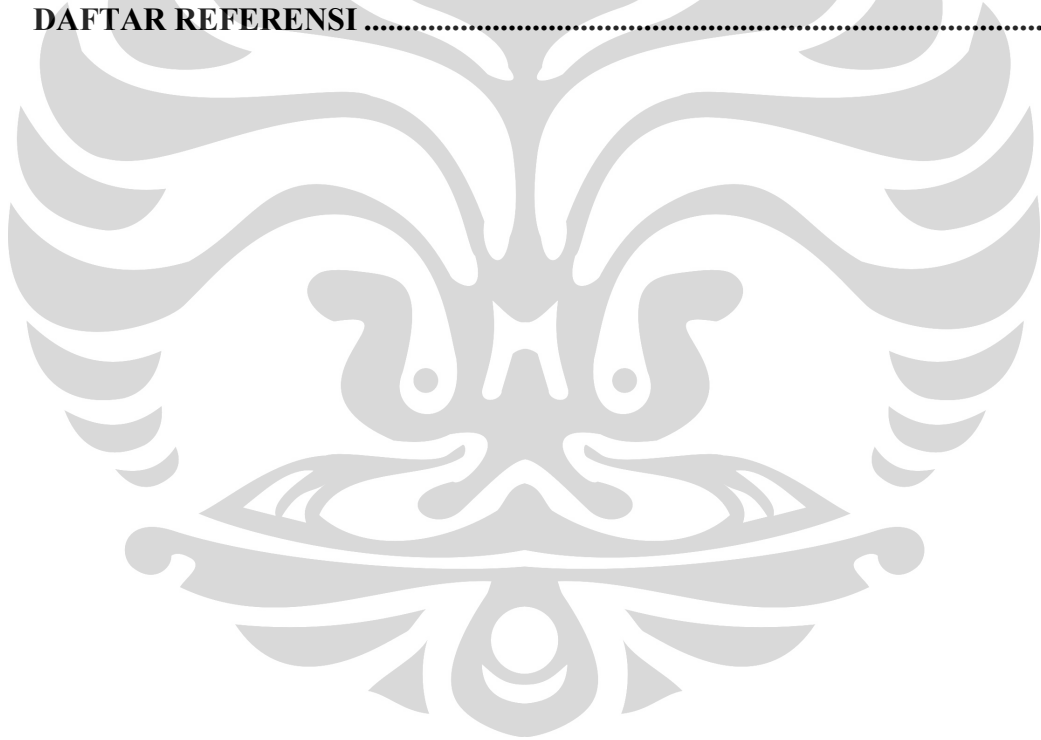
The results showed that the higher the volume fraction of the wire, the higher the impact value of the laminate composite. The laminate composite was able to withstand the projectile of 9 mm calibre, but was fail under 7.62 mm projectile. The macrograph showed that petalling and bulging was observed in 7.62 mm perforation. The wire did contribute in deacceleration of the projectile, but not hard enough to stop it.

Keywords : lightweight, laminate, ballistic, impact, projectile, perforation, petalling, bulging.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
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.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Balistik.....	6
2.2. Aluminium.....	9
2.2.1. <i>Alloy Designation</i>	9
2.2.2. <i>Temper Designation</i>	10
2.2.3. Aluminium Balistik.....	14
2.3. <i>Wire Rope</i>	14
2.3.1. <i>Designation</i> (jumlah pilinan).....	15
2.3.2. Karakteristik.....	16
2.4. Adhesif.....	18
2.4.1. Adhesif <i>Polyurethane</i>	19
2.4.2. <i>Moisture Curing</i>	21
2.5. Komposit.....	21
2.5.1. Teori Mikromekanik.....	21
2.5.2. Teori Makromekanik.....	22
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2. Alat dan Bahan.....	26
3.2.1. Alat.....	26
3.2.2. Bahan.....	26
3.3. Prosedur Penelitian.....	26
3.3.1. Pembuatan Sampel Komposit.....	26
3.3.1.1. Perhitungan Fraksi Volume.....	26
3.3.1.2. Pembuatan Alat Bantu (cetakan).....	28
3.3.1.3. Preparasi Sampel.....	35
3.3.1.4. Proses Laminasi Komposit.....	36
3.3.2. Uji Kekerasan Pelat AA 6061 T-651.....	38

3.3.3. Uji Tarik.....	38
3.3.3.1. Uji Tarik Pelat AA 6061 T-651.....	38
3.3.3.2. Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi.....	40
3.3.3.3. Uji Tarik Adhesif <i>Polyurethane</i>	40
3.3.4. Uji Impak Komposit	42
3.3.5. Uji Balistik Komposit.....	43
3.3.6. Foto Makro	46
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1. Desain dan Manufaktur Laminat Aluminium Balistik.....	47
4.1.1. Akurasi Kelurusan Kawat.....	47
4.1.2. Perhitungan Fraksi Volume	49
4.2. Perhitungan Teoritik Kekuatan Laminat Aluminium Balistik	50
4.3. Pengaruh Fraksi Volume Kawat Terhadap Kekuatan Impak Laminat.....	51
4.4. Karakteristik Balistik Laminat Aluminium.....	54
4.4.1. Karakteristik Perforasi Berdasarkan Dimensi.....	54
4.4.2. Karakteristik Perforasi Secara Makro.....	58
5. KESIMPULAN	61
DAFTAR REFERENSI	62



DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1.** Klasifikasi aluminium paduan tempa (*wrought alloys*)
- Tabel 2.2.** Klasifikasi aluminium paduan cor (*casting alloys*)
- Tabel 2.3.** Temper T untuk produk yang dilakukan *stress relieve*
- Tabel 2.4.** Kecepatan puntir pada pengujian puntir kawat
- Tabel 2.5.** Jumlah minimum puntiran pada pengujian puntir kawat
- Tabel 2.6.** Besarnya jarak di antara grip (L)
- Tabel 2.7.** Sifat adhesif setelah 7 hari *curing* pada 25°C dan 50% RH substrat
- Tabel 3.1.** Ukuran sampel uji tarik pelat AA-6061
- Tabel 4.1.** Volume komposit teoritik (V_c teoritik) dan sebenarnya (V_c real)
- Tabel 4.2.** Nilai modulus elastisitas dari komponen penyusun komposit tahan peluru
- Tabel 4.3.** Nilai modulus elastisitas komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1.** Hubungan antara pembebanan, waktu dan energi
- Gambar 2.2.** Komponen penyusun *wire rope*
- Gambar 2.3.** Susunan wire pada *simple cap common strand*
- Gambar 2.4.** Susunan wire pada *seale strand*
- Gambar 2.5.** Spesimen uji tarik kawat
- Gambar 2.6.** Spesimen uji tarik *rope*
- Gambar 2.7.** Distribusi tegangan seragam pada sambungan adhesif akibat pembebanan
- Gambar 2.8.** Distribusi tegangan tidak seragam pada sambungan rivet akibat pembebanan
- Gambar 2.9.** Lamina *k* di dalam suatu laminat
- Gambar 3.1.** Diagram alir penelitian
- Gambar 3.2.** Desain 2 dimensi komponen penyusun alat bantu
- Gambar 3.2.** (a) batang U5 dengan panjang 45 cm
- Gambar 3.2.** (b) batang U5 dengan panjang 40 cm
- Gambar 3.3.** Desain 2 dimensi komponen penyusun alat bantu, yaitu ulir panjang
- Gambar 3.4.** Desain 2 dimensi alat bantu (cetakan) yang telah dirakit (*assembling*) dilihat dari atas
- Gambar 3.5.** Desain 3 dimensi alat bantu dilihat dari atas
- Gambar 3.6.** Desain 3 dimensi alat bantu dilihat dari samping
- Gambar 3.7.** Batang baja U5 dengan panjang 40 cm
- Gambar 3.8.** Batang baja U5 dengan panjang 45 cm
- Gambar 3.9.** (a) Ulir panjang 50 cm
- Gambar 3.9.** (b) *wire rope clamp*
- Gambar 3.9.** (c) mur
- Gambar 3.10.** Alat bantu yang telah dilakukan perakitan (*assembling*) komponen penyusunnya
- Gambar 3.11.** Alat bantu yang telah dilakukan penyusunan kawat secara ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$)

- Gambar 3.12.** Pelat AA 6061 T-651 berukuran 30.5 x 30.5 cm
- Gambar 3.13.** (a) *Wire rope* yang dipotong 50 cm
- Gambar 3.13.** (b) *strand*
- Gambar 3.13.** (c) kawat yang berasal dari pilinan
- Gambar 3.14.** Tahapan proses laminasi komposit
- Gambar 3.14.** (a) pemasangan dan penyusunan kawat yang telah diampelas pada alat bantu
- Gambar 3.14.** (b) pemolesan adhesif pada kawat yang telah disusun
- Gambar 3.14.** (c) pengamplasan pelat
- Gambar 3.14.** (d) pemasangan pelat pada alat bantu yang telah berisi kawat, lalu dilakukan penekanan
- Gambar 3.14.** (e) laminat komposit setelah dilakukan penekanan
- Gambar 3.15.** Alat uji kekerasan digital Rockwell Rocky FR-1AN
- Gambar 3.16.** Bentuk sampel uji tarik logam yang berbentuk pelat
- Gambar 3.17.** Penandaan *gage length* pada sampel uji tarik pelat AA 6061 T-651
- Gambar 3.17.** (a) 6-S-1
- Gambar 3.17.** (b) 6-S-2
- Gambar 3.17.** (c) 6-S-3
- Gambar 3.18.** Alat uji tarik Servopulser Shimadzu
- Gambar 3.19.** Spesimen uji tarik kawat
- Gambar 3.20.** Spesimen uji tarik adhesif *polyurethane* tipe 4
- Gambar 3.21.** Sampel uji tarik adhesif *polyurethane*
- Gambar 3.22.** Alat uji tarik plastik LF Plus Series Digital
- Gambar 3.23.** Alat uji impak
- Gambar 3.24.** Dimensi dan bentuk sampel uji impak komposit
- Gambar 3.25.** Sampel uji impak komposit tahan peluru
- Gambar 3.25.** (a) fraksi volume kawat 2.5 %
- Gambar 3.25.** (b) fraksi volume kawat 5 %, dan
- Gambar 3.25.** (c) fraksi volume kawat 7.5 %
- Gambar 3.26.** Jenis amunisi yang digunakan untuk uji balistik
- Gambar 3.26.** (a) kaliber 9 mm

- Gambar 3.26.** (b) kaliber 7.62 mm
- Gambar 3.27.** Jenis senjata yang dipakai untuk uji balistik
- Gambar 3.27.** (a) Pistol P2 PINDAD
- Gambar 3.27.** (b) Senapan Laras Panjang SPR-1
- Gambar 3.28.** (a) *Backing plate* yang digunakan untuk uji balistik
- Gambar 3.28.** (b) sampel laminat komposit yang telah diletakkan pada *backing plate*
- Gambar 3.29.** Proses penembakan sampel komposit menggunakan Pistol P2 PINDAD dengan amunisi berkaliber 9 mm dan jarak tembak 5 m
- Gambar 3.30.** Proses penembakan sampel komposit menggunakan senapan laras panjang SPR-1 dengan amunisi berkaliber 7.62 mm dan jarak tembak 15 m
- Gambar 3.31.** *Wild photomicroscope* M400
- Gambar 4.1.** Pengukuran panjang kawat sebelum ditarik alat bantu
- Gambar 4.2.** Pengukuran panjang kawat setelah ditarik alat bantu
- Gambar 4.3.** Pengaruh fraksi volume kawat terhadap harga impact komposit laminat
- Gambar 4.4.** (a), (b), dan (c) Bentuk perpatahan sampel komposit tahan peluru akibat beban impact untuk fraksi volume kawat 2.5 %
- Gambar 4.4.** (d), (e), dan (f) Bentuk perpatahan sampel komposit tahan peluru akibat beban impact untuk fraksi volume kawat 5 %
- Gambar 4.4.** (g), (h), dan (i) Bentuk perpatahan sampel komposit tahan peluru akibat beban impact untuk fraksi volume kawat 7.5 %
- Gambar 4.5.** Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi proyektil 9 mm
- Gambar 4.6.** Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi proyektil 7.62 mm
- Gambar 4.7.** Bentuk perforasi proyektil kaliber 9 mm pada sampel komposit tahan peluru
- Gambar 4.7.** (a) Fraksi volume kawat 2.5 %
- Gambar 4.7.** (b) Fraksi volume kawat 5 %
- Gambar 4.7.** (c) Fraksi volume kawat 7.5 %

- Gambar 4.8.** (a) Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian depan sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 2.5 %
- Gambar 4.8.** (b) Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian depan sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 5 %
- Gambar 4.8.** (c) Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian depan sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 7.5 %
- Gambar 4.9.** (a) Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian belakang sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 2.5 %
- Gambar 4.9.** (b) Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian belakang sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 5 %
- Gambar 4.9.** (c) Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian belakang sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 7.5 %
- Gambar 4.10.** (a) Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 9 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume 2.5 %
- Gambar 4.10.** (b) Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 9 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume 5 %
- Gambar 4.10.** (c) Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 9 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume 7.5 %
- Gambar 4.11.** (a) Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 7.62 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume 2.5 %
- Gambar 4.11.** (b) Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 7.62 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume 5 %

Gambar 4.11. (c) Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 7.62 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume 7.5 %



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Perhitungan Harga Impak dan Diameter Perforasi
- Lampiran 2.** Hasil Uji Tarik AA 6061 T-651
- Lampiran 3.** Hasil Uji Tarik Adhesif *Polyurethane*
- Lampiran 4.** Hasil Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi
- Lampiran 5.** ASM Material Data Sheet AA 6061 T-651
- Lampiran 6.** Sertifikat *Steel Wire Rope* (Diameter Kawat 1 mm)
- Lampiran 7.** Technical Data Sheet Adhesif Polyurethane Seal N Flex 1 (Bostik)
- Lampiran 8.** Hasil Uji Spectro : Komposisi Kimia AA 6061 T-651



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tujuan utama dari penggunaan MMC (*Metal Matrix Composites*) dalam aplikasi armor adalah untuk mencegah perforasi dari proyektil. Di bawah kondisi pembebanan dinamik, misalnya saat proyektil berpenetrasi ke dalam armor MMC, MMC seringkali menopang deformasi laju regangan yang tinggi. Walaupun material armor semakin ditingkatkan ketahannya terhadap proyektil, proyektil juga dimodifikasi untuk menembus armor. Sehingga suatu armor harus mampu menahan proyektil yang telah dimodifikasi tersebut^{[1][2]}.

Armor kebanyakan digunakan untuk kendaraan militer. Dimana kendaraan militer yang ada di Indonesia secara garis besar terdiri dari dua jenis, yaitu kendaraan tempur (ranpur) dan kendaraan taktis (rantis). Kendaraan tempur merupakan kendaraan militer yang memiliki lapisan pelindung dan dirancang agar bisa berjalan pada medan yang sulit serta dipersenjatai dengan senjata api^[3]. Kendaraan tempur yang dimiliki Indonesia cukup beragam, misalnya *tank* AMX-13, *tank* tersebut memiliki spesifikasi berat sebesar 13.7 ton, dan kecepatan 60 km/jam^[4]. Selain itu, ada juga jenis lainnya seperti kavaleri Alvis Saracen yang memiliki berat 11 ton dengan kecepatan 72 km/jam. Sedangkan kendaraan taktis merupakan kendaraan berbentuk *truck* sebagai pendukung kegiatan operasi militer, kendaraan ini digunakan untuk transportasi personil militer, perbekalan logistik maupun peralatan militer. Salah satu contohnya adalah *truck* PT 44 Maesa yang memiliki berat 9 ton dengan kecepatan hingga 105 km/ jam^[5]. Komposisi material terbesar dari kendaraan tersebut adalah baja yang memiliki berat jenis sebesar 7,8 gr/cm³.

Kendaraan tempur dan taktis di atas memiliki berat kendaraan yang cukup besar. Hal tersebut dapat menghabiskan energi bahan bakar yang besar pula, dan juga dapat menghambat mobilitas kendaraan tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih material paduan aluminium yang memiliki berat jenis relatif lebih rendah dari baja yaitu 2.7 gr/cm³. Dengan demikian berat total kendaraan akan menjadi lebih ringan, sehingga dapat menghemat bahan bakar, dan dapat

memperlancar mobilitas serta kecepatan kendaraan militer. Selain itu, sifat mekanik dari komposit matriks aluminium seperti ketangguhan, deformasi laju regangan, kekuatan terhadap pembebanan dinamik, menjadi sangat penting saat digunakan sebagai komponen *armor*^[6]. Oleh karena itu, pengembangan komposit matriks aluminium untuk komponen *armor* sangatlah penting untuk diteliti mengingat bahwa negara kita, Indonesia, merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang membutuhkan tingkat pertahanan dan keamanan yang memadai.

Sebagai penguat dari komposit digunakan kawat baja karbon tinggi. Baik atau tidaknya suatu kawat umumnya direpresentasikan dalam seberapa besar kekuatan tariknya. Baja karbon tinggi merupakan material yang memiliki nilai kekuatan tarik relatif tinggi, yakni antara 800 hingga 1000 MPa^[7]. Dengan kekuatan tarik yang besar ini, kemampuan material untuk menyerap energi yang diberikan kepadanya juga semakin tinggi. Sehingga sangat mendukung pemakaian material ini sebagai penguat dalam komposit, sesuai dengan tugasnya, yaitu menyerap energi kinetik dari peluru.

Kemudian untuk merekatkan kawat baja dengan matriks aluminium digunakan adhesif berupa *polyurethane*. Pada dasarnya penggunaan adhesif ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk merekatkan antara matriks dengan penguatnya, yaitu diantaranya metode pengelasan dan metode menggunakan alat pengunci mekanis seperti baut, paku keling dan sebagainya. Metode adhesif dalam hal ini memiliki keunggulan dalam hal pendistribusian energi impak dan meningkatkan kemampuan geser dari penguat terhadap matriks^[8].

Variasi dari fraksi volume kawat baja karbon tinggi yang dipilih sebesar 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %. Pemilihan fraksi volume tersebut dikarenakan berat jenis kawat baja karbon tinggi yang mencapai 7.81 gr/cm³, sehingga apabila fraksi volumenya diperbesar lagi, maka berat jenis total dari material komposit yang dihasilkan akan terlalu besar, atau dengan kata lain akan memperbesar berat akhir dari komposit yang dihasilkan.

1.2. Perumusan Masalah

Komposit yang dikembangkan merupakan laminat yang terdiri dari pelat aluminium 6061 yang diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi diharapkan dapat memberikan karakteristik balistik yang optimum untuk aplikasi material tahan peluru dan di samping keuntungan dari berat jenisnya yang lebih ringan daripada material tahan peluru lainnya yang telah digunakan. Variabel pembuatan komposit dilakukan dengan variasi fraksi volume dari kawat, yaitu 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %. Kemudian dilakukan karakterisasi material yang diukur melalui berbagai pengujian, yaitu pengamatan struktur mikro dan struktur makro dari permukaan patahan dengan mikroskop optik, pengujian sifat mekanik serta pengujian balistik. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan perhitungan teoritik menggunakan teori makro mekanik.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui kemampuan pelat komposit aluminium 6061 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) dengan variasi fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5% untuk dapat menahan penetrasi dari proyektil melalui pengujian balistik.
- b. Mengetahui dan menganalisis aspek-aspek metalurgi yang terjadi pada pelat komposit aluminium 6061 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) dengan variasi fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5% melalui beberapa karakterisasi material.
- c. Mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan fraksi volume penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) terhadap sifat mekanik dan ketahanan terhadap beban impak balistik pada pelat komposit aluminium 6061 tahan peluru.
- d. Mengetahui dan menganalisis mikromekanik dari laminat komposit aluminium 6061 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi yang disusun ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) dengan variasi fraksi volume 2.5%, 5% dan 7.5%.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material-material yang akan digunakan untuk membuat komposit tahan peluru ini adalah pelat aluminium 6061 dengan ketebalan 6 mm, penguat kawat baja karbon tinggi dengan diameter 1 mm, dan adhesif berupa *polyurethane*.
- b. Variasi yang digunakan dalam penelitian adalah perbedaan fraksi volume penguat baja karbon tinggi yaitu 2.5% , 5 % , dan 7.5 %.
- c. Proses penyusunan komposit dilakukan dengan metode laminasi, dimana penguat kawat baja karbon tinggi disusun ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) di antara pelat aluminium dengan penambahan adhesif *polyurethane* untuk memberikan kekuatan ikatan antara matriks dan penguat.
- d. Pemasangan kawat baja karbon tinggi dilakukan secara manual dengan menghitung penyusunan dan jarak antar kawat melalui perhitungan fraksi volume masing-masing.
- e. Karakterisasi sampel komposit aluminium tahan peluru meliputi pengujian mekanik berupa pengujian impak (*impact testing*), pengujian balistik, pengamatan struktur secara makro dan mikro dari material.

1.5. Sistematika Penulisan

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

Bab 1 Pendahuluan

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

Bab 2 Tinjauan Pustaka

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

Bab 3 Metodologi Penelitian

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

Bab 4 Hasil dan Pembahasan

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

Bab 5 Kesimpulan

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

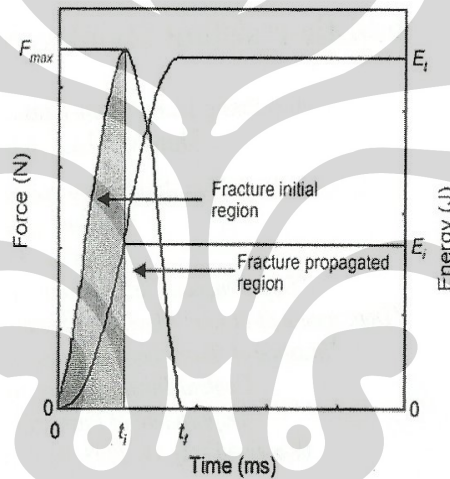


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Balistik

Balistik merupakan ilmu yang mempelajari gerakan atau jalannya proyektil^[9]. Lintasan dari suatu proyektil ditentukan oleh arah dan kecepatan awal, gaya gravitasi, dan hambatan udara^[10]. Penting sekali mengetahui respon material terhadap pembebanan balistik. Material yang lebih ulet memiliki penyerapan energi yang baik sekali dalam ketahanan balistik, tetapi ketahanan impaknya kurang baik. Material kaku memiliki sifat yang berlawanan^[11].



Gambar 2.1. Hubungan antara pembebanan, waktu dan energi^[11].

Berdasarkan Gambar 2.1, puncak pada kurva tersebut merupakan beban impact maksimum (ketahanan impact). Energi total terdiri dari energi *intial fracture* dan *fracture propagation*. Material yang lebih ulet memiliki energi *intial fracture* (ketahanan impact) lebih rendah, tetapi energi *fracture propagation* (kemampuan untuk menyerap energi melalui pemutusan (*breaking*)) lebih tinggi daripada material getas.

Penyerapan energi dari sistem *fabric* di bawah impact balistik tergantung pada beberapa faktor, seperti sifat material dari serat, struktur anyaman dari fabric, geometri proyektil, kecepatan impact, interaksi *multipleply*, dan gesekan pada *interface (interface friction)*^[12]. Gesekan antarmuka (*interfacial friction*)

mempengaruhi penyerapan energi dari *fabric* terhadap impact balistik. *Fabric* yang memiliki gesekan lebih tinggi dapat menyerap lebih banyak energi daripada *fabric* yang memiliki gesekan lebih rendah.

Pada kecepatan impact yang sangat rendah, energi kinetik peluru mempengaruhi keseluruhan pelat karena impact memiliki waktu yang cukup untuk meneruskan energi impact dari daerah kontak ke semua pelat. Saat impact terjadi pada kecepatan tinggi, energi kinetiknya tidak dapat ditransformasikan menjadi energi deformasi sepanjang keseluruhan pelat^[13].

Respon impact kecepatan tinggi didominasi oleh perambatan tegangan yang melewati material, dimana struktur tidak memiliki waktu untuk merespon, serta memicu kerusakan terlokalisasi yang lebih besar. Kegagalan serat terjadi pada titik impact (*impact spot*) karena tegangan tinggi terlokalisasi dan juga terjadi pada efek indentasi akibat tingginya deformasi *fabric*.

Material tahan balistik yang diklasifikasikan menurut Standar NIJ 0108.01 terbagi menjadi tujuh tipe berdasarkan tingkatan performanya^[14], yaitu :

1. Tipe I (22 LR; 38 *special*)

a. 22 LR

Senjata pengujian berupa *handgun* kaliber 22, dan disarankan menggunakan laras 10-12 cm. Peluru uji berupa timah 22 *Long Rifle* (LR) kecepatan tinggi dengan massa 2.6 g dan kecepatan yang terukur 320 ± 12 m per detik.

b. 38 *Special*

Senjata pengujian berupa *handgun* 38 *Special*, dan disarankan menggunakan laras 15-16.5 cm. Peluru uji berupa timah 38 *Special round-nose* (RN) dengan massa 10.2 g dan kecepatan yang terukur 259 ± 15 m per detik.

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

a. *Lower Velocity* 357 *Magnum*

Senjata pengujian berupa *handgun* 357 *Magnum*, dan disarankan menggunakan laras 10-12 cm. Peluru uji berupa 357 *Magnum jacketed soft point* (JSP) dengan massa 10.2 g dan kecepatan yang terukur 381 ± 15 m per detik.

b. Lower Velocity 9 mm

Senjata pengujian berupa *handgun* 9 mm, dan disarankan menggunakan laras 10-12 cm. Peluru uji berupa 9 mm *full metal jacketed* (FMJ) dengan massa 8.0 g dan kecepatan yang terukur 332 ± 12 m per detik.

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

a. *Higher Velocity* 357 Magnum

Senjata pengujian berupa *handgun* 357 Magnum, dan disarankan menggunakan laras 15-16.5 cm. Peluru uji berupa 357 Magnum *jacketed soft point* (JSP) dengan massa 10.2 g dan kecepatan yang terukur 425 ± 15 m per detik.

b. *Higher Velocity* 9 mm

Senjata pengujian berupa *handgun* 9 mm, dan disarankan menggunakan laras 10-12 cm. Peluru uji berupa 9 mm *full metal jacketed* (FMJ) dengan massa 8.0 g dan kecepatan yang terukur 358 ± 12 m per detik.

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

a. 44 Magnum

Senjata pengujian berupa *handgun* 44 Magnum, dan disarankan menggunakan laras 14-16 cm. Peluru uji berupa 44 Magnum, timah *semiwadcutter* dengan kendali gas, dengan massa 15.55 g dan kecepatan yang terukur 426 ± 15 m per detik.

b. *Submachine Gun* (SMG) 9 mm

Senjata pengujian berupa 9 mm SMG, dan disarankan menggunakan laras 24-26 cm. Peluru uji berupa 9 mm *full metal jacketed* (FMJ) dengan massa 8.0 g dan kecepatan yang terukur 426 ± 15 m per detik.

5. Tipe III (*High-Powered Rifle*)

Senjata pengujian berupa senapan untuk amunisi 7.62 mm (308 Winchester) dan disarankan menggunakan panjang laras 56 cm. Peluru uji berupa 7.62 mm *full metal jacketed* (FMJ) dengan massa 9.7 g dan kecepatan yang terukur 838 ± 15 m per detik.

6. Tipe IV (Armor-Piercing Rifle)

Senjata pengujian berupa senapan untuk amunisi 30-06 dan disarankan menggunakan panjang laras 56 cm. Peluru uji berupa kaliber 30 armor piercing (penamaan militer Amerika APM2) dengan massa 10.8 g dan kecepatan yang terukur 868 ± 15 m per detik.

7. Tipe Spesial

Senjata uji, jenis peluru, konstruksi peluru, kaliber peluru, massa peluru, dan kecepatan peluru ditentukan oleh pengguna.

2.2. Aluminium

2.2.1. Alloy Designation

Secara umum, aluminium paduan dilasifikasikan menjadi aluminium paduan tempa (*wrought alloys*), lihat Tabel 2.1, dan aluminium paduan cor (*casting alloys*), lihat Tabel 2.2. Adapun sistem penandaan atau penamaan aluminium paduan tempa (*wrought alloys designation*) terdiri dari empat digit angka, yakni^[15] :

1. Digit pertama menentukan jenis unsur paduan utamanya.
2. Digit kedua menandakan modifikasi dari paduan, misalnya angka nol (0) untuk komposisi original, angka satu (1) untuk variasi pertama, angka dua (2) untuk variasi kedua, dan seterusnya.
3. Digit ketiga dan keempat menandakan persen desimal dari konsentrasi aluminium (misalnya, 1060 : mengandung 99,60 % Al).

Sedangkan sistem penamaan pada aluminium paduan cor (*casting alloy*) adalah^[15]:

1. Digit pertama menentukan jenis unsur paduan utamanya.
2. Digit kedua dan ketiga menandakan modifikasi dari paduan.
3. Digit keempat (setelah tanda desimal) menunjukkan bentuk produk. Misalnya, xxx.0 – *casting*, xxx.1 – *foundry ingot*, dan seterusnya.

Tabel 2.1. Klasifikasi aluminium paduan tempa (*wrought alloys*)^[16].

<i>Series</i>	<i>Composition</i>	<i>Hardenability</i>
1xxx	> 99.0 % Al	<i>Non heat treatable</i>
2xxx	Al-Cu and Al-Cu-Li	<i>Heat treatable</i>
3xxx	Al-Mn	<i>Non heat treatable</i>
4xxx	Al-Si and Al-Mg-Si	<i>Non heat treatable</i>
5xxx	Al-Mg	<i>Non heat treatable</i>
6xxx	Al-Mg-Si	<i>Heat treatable</i>
7xxx	Al-Zn-Mg	<i>Heat treatable</i>
8xxx	Al-Li, Sn, Zr, or B	<i>Heat treatable</i>
9xxx	<i>Not currently used</i>	-

Tabel 2.2. Klasifikasi aluminium paduan cor (*casting alloys*)^[16].

<i>Series</i>	<i>Composition</i>	<i>Hardenability</i>
1xx.x	Commercially pure Al	<i>Non heat treatable</i>
2xx.x	Al-Cu	<i>Heat treatable</i>
3xx.x	Al-Si-Cu or Al-Mg-Si	<i>Non heat treatable</i>
4xx.x	Al-Si	<i>Non heat treatable</i>
5xx.x	Al-Mg	<i>Non heat treatable</i>
6xx.x	<i>Unused series</i>	-
7xx.x	Al-Zn	<i>Heat treatable</i>
8xx.x	Al-Sn	<i>Heat treatable</i>
9xx.x	<i>Not currently used</i>	-

2.2.2. Temper Designation

Selain penandaan berdasarkan paduannya (*alloy designation*), ada juga penandaan berdasarkan proses temper (*temper designation*) yang dilakukan. Karakter pertama dalam *temper designation* dimulai dengan huruf kapital yang mengindikasikan jenis perlakuan yang dilakukan (*general treatment*). Adapun penandaannya sebagai berikut^[15] :

1. F (*as fabricated*)

Digunakan untuk produk tempa atau cor yang dibuat dengan proses pembentukan (*shaping processing*) di mana tidak ada kontrol khusus terhadap kondisi termal atau proses pengerasan regangan yang dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

2. O (*annealed*)

Digunakan untuk produk tempa yang dianil unuk mendapatkan kekuatan yang lebih rendah, biasanya untuk meningkatkan kemampumesinan (*workability*). Sedangkan bila digunakan untuk

produk cor, bertujuan untuk meningkatkan keuletan dan stabilitas dimensi.

3. H (*strain hardened*)

Digunakan untuk produk yang kekuatannya ditingkatkan melalui pengerasan regangan.

4. W (*solution heat treated*)

Digunakan hanya untuk paduan-paduan yang di-aging secara spontan setelah *solution heat treating*. Penandaan ini hanya dipakai saat digit dikombinasikan dengan W untuk mengindikasikan lamanya waktu proses natural aging, misalnya $W \frac{1}{2}$ hr.

5. T (*thermally treated to produce stable tempers other than F, O or H*)

Digunakan untuk produk yang dilakukan perlakuan panas, dengan atau tanpa pengerasan regangan, untuk mendapatkan temper yang stabil. T selalu diikuti oleh satu atau lebih digit setelahnya.

Sistem penandaan temper berdasarkan serangkaian perlakuan dasar yang digunakan untuk menghasilkan temper yang berbeda dan variasinya. Subdivisi dari temper dasar (*basic tempers*) mengindikasikan satu atau lebih digit yang mengikuti karakter. Adapun subdivisi pada temper dasar sebagai berikut^[15]:

a. Subdivisi untuk temper H

1. H1 : digunakan untuk produk yang hanya dilakukan pengerasan regangan saja untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang diinginkan.
2. H2 : digunakan untuk produk yang dilakukan pengerasan regangan yang kekerasannya lebih besar dari yang diinginkan, kemudian kekerasannya diturunkan hingga sesuai dengan yang diinginkan melalui anil sebagian (*partial annealing*).
3. H3 : digunakan untuk produk yang dilakukan pengerasan regangan dan distabilisasi melalui perlakuan panas temperatur rendah. Stabilisasi biasanya untuk meningkatkan keuletan.
4. H4 : digunakan untuk produk yang dilakukan pengerasan regangan dan dikenai panas selama operasi pengecatan.

Selain itu, ada juga digit tambahan yang mengikuti H1, H2, H3 atau H4 yang mengindikasikan tingkatan pengerasan regangan yang dinyatakan dalam nilai minimum kekuatan tarik, yakni :

1. Penandaan untuk temper yang paling keras dengan menambahkan angka 8 (misalnya HX8).
2. Untuk pengerjaan dingin yang menghasilkan nilai kekerasannya setengah dari temper HX8, ditandai dengan HX4.
3. Untuk pengerjaan dingin di antara temper O dan temper HX4, ditandai dengan HX2.
4. Untuk pengerjaan dingin di antara temper HX4 dan HX8, ditandai dengan HX6.
5. Sedangkan angka 1, 3, 5, 7, dengan cara yang sama, digunakan untuk menandai temper di antaranya.
6. Angka 9 digunakan untuk mengindikasikan temper yang nilai kekerasannya lebih besar dari HX8, yaitu 14 MPA atau lebih.

Berikut ini contoh yang dapat memperjelas penandaan pada temper H, misalnya H112 : digunakan untuk produk yang telah dilakukan temper dari pengerjaan pada temperatur tinggi dan terdapat batasan sifat mekanik.

b. Subdivisi untuk temper T

1. T1 : didinginkan dari temperatur tinggi dan dilakukan *natural aging* untuk mendapatkan kondisi yang stabil.
2. T2 : didinginkan dari temperatur tinggi, dilakukan pengerjaan dingin, dan *natural aging* untuk mendapatkan kondisi yang stabil.
3. T3 : dilakukan *solution heat treatment*, pengerjaan dingin, dan *natural aging* untuk mendapatkan kondisi yang stabil.
4. T4 : dilakukan *solution heat treatment*, dan *natural aging* untuk mendapatkan kondisi yang stabil.
5. T5 : didinginkan dari temperatur tinggi dan dilakukan *artificial aging* untuk mendapatkan kondisi yang stabil.
6. T6 : dilakukan *solution treatment* lalu *artificial aging*.
7. T7 : dilakukan *solution heat treatment* dan *overaging* / stabilisasi.

8. T8 : dilakukan *solution heat treatment*, pengerjaan dingin, lalu *artificial aging*.
9. T9 : dilakukan *solution heat treatment*, *artificial aging*, lalu pengerjaan dingin.
10. T10 : didinginkan dari temperatur tinggi, dilakukan pengerjaan dingin, dan *artificial aging*.

Selain itu, ada juga digit tambahan pada temper T untuk mengindikasikan variasi perlakuan yang dapat mengubah karakteristik produk. Beberapa contoh penandaan temper T dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Temper T untuk produk yang dilakukan *stress relieve*^[15].

<i>Temper</i>	<i>Application</i>
<i>Stress relieved by stretching</i>	
TX51	<p><i>Applies to plate and rolled or cold-finished rod or bar, die or ring forgings, and rolled rings when stretched the indicated amount after solution heat treatment or after cooling from an elevated temperature shaping process. The products receive no further straightening after stretching.</i></p> <p><i>Plate, 1.5-3 % permanent set</i> <i>Rolled or cold-finished rod and bar, 1-3 % permanent set</i> <i>Die or ring forgings and rolled rings, 1-5 % permanent set</i></p>
TX510	<p><i>Applies to extruded rod, bar, profiles (shapes), and tube and to drawn tube when stretched the indicated amounts after solution heat treatment or after cooling from an elevated temperature shaping process. These product receive no further straightening after stretching.</i></p> <p><i>Extruded rod, bar, profiles (shapes), and tube, 1-3 % permanent set</i> <i>Drawn tube, 1.5-3 % permanent set</i></p>
TX511	<p><i>Applies to extruded rod, bar, profiles (shapes), and tube and to drawn tube when stretched the indicated amounts after solution heat treatment or after cooling from an elevated temperature shaping process. These product may receive minor further straightening after stretching to comply with standard tolerances.</i></p> <p><i>Extruded rod, bar, profiles (shapes), and tube, 1-3 % permanent set</i> <i>Drawn tube, 1.5-3 % permanent set</i></p>
<i>Stress relieved by compressing</i>	

TX52 *Applies to products that are stress relieved by compressing after solution heat treatment or cooling from an elevated temperature shaping process to produce a permanent set of 1-5 %*

Stress relieved by stretching and compressing

TX54 *Applies to die forgings that are stress relieved by restriking cold in the finish die.*

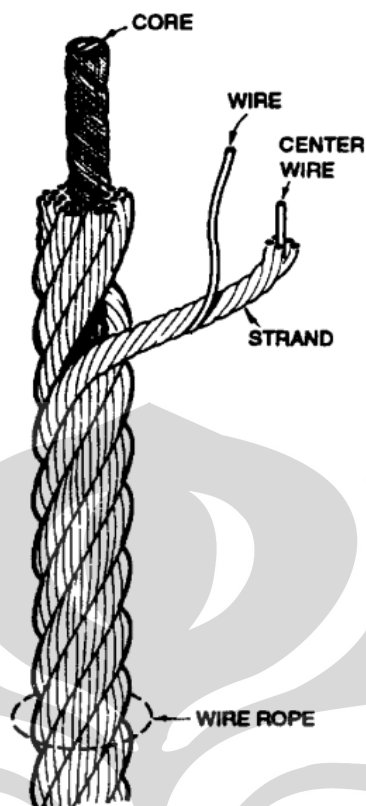
2.2.3. Aluminium Balistik

Mustafa Ubeyli et al.^[17] melakukan investigasi balistik terhadap komposit laminat Al 2024/Al₂O₃ dengan menggunakan proyektil 7.62 AP. Penggunaan aluminium sebagai *backing layer* sangatlah efektif dalam meningkatkan ketahanan balistik, dan lebih ringan hingga 25 % dari material lain. Selain itu, Ubeyli et al.^[18] juga menginvestigasi efek kekerasan dari AA 7075, 5083 dan baja AISI 4140 terhadap balistik 7.62 AP. Dari hasil investigasi didapatkan AA 7075 memiliki ketahanan balistik paling tinggi bila dibandingkan dengan baja AISI 4140 dan AA 5083. Sedangkan, peningkatan kekerasan dari aluminium paduan mengakibatkan peningkatan ketahanan terhadap proyektil.

Evren dan Suleyman^[19] menginvestigasi efek pelapisan permukaan (*surface coating*) pelat AA 2024-T351, 6061-T651, dan 7075-T651 terhadap balistik 9.0 mm. Pada hasil percobaan didapatkan pelat AA 7075-T651 memiliki ketahanan balistik paling tinggi dan AA 6061-T651 paling rendah. Sedangkan, efek dari pelapisan dapat meningkatkan ketahanan balistik, di mana pelapisan Co-Mo-Cr lebih efisien untuk pelat AA 2024-T351, 6061-T651, dan pelapisan ZrO₂ lebih efektif untuk pelat AA 6061-T651.

2.3. Wire Rope

Kawat baja umumnya dianyam dalam suatu bentuk yang mengelilingi titik pusat (spiral) membentuk satu kesatuan yang disebut *strand*. *Strand* pada *wire rope* dapat bervariasi tergantung dengan spesifikasi dan properties yang diinginkan.



Gambar 2.2. Komponen penyusun *wire rope*^[20].

Komponen-komponen penyusun dari *wire rope* (lihat Gambar 2.2) terdiri dari^[21] :

a. *Wire*

Wire diproduksi melalui pengurangan diameter dari *base wire*, setelah melewati serangkaian *dies* dan *formers* dengan pemberian gaya aksial. *Properties* dari *wire* tergantung dari komposisi kimia, mikrostruktur, ukuran butir, segregasi, dan kondisi proses.

b. *Strand*

Strand terbentuk dari *wire* dengan diameter yang sama atau berbeda, dipuntir atau dililitkan terhadap *core*.

c. *Core*

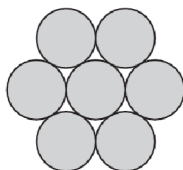
Core atau nukleus merupakan sumbu pusat (*central axis*) dari *wire rope* yang dikelilingi oleh *strand*. Material pembentuk *core* dapat berupa baja, natural fiber atau sintetis.

2.3.1. Designation (jumlah pilinan)

Wire rope baja diklasifikasikan berdasarkan diameter, jumlah *strand*, jenis *core*, dan susunannya. Jenis-jenis *strand* pada *wire rope* adalah^[21] :

1. *Simple cap common strand*

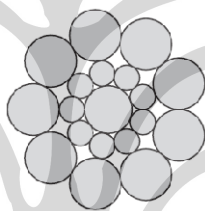
Merupakan bentuk yang paling umum dan sederhana. Susunannya terdiri dari tujuh *wire*, yaitu sebuah *wire* pusat dan enam buah *wire* berdiameter sama yang mengelilinginya (lihat Gambar 2.3). Komposisi paling umum adalah $1+6=7$.



Gambar 2.3. Susunan wire pada *simple cap common strand*^[21].

2. *Seale strand*

Susunannya adalah lapisan wire terluar memiliki diameter lebih besar daripada lapisan terdalamnya (lihat Gambar 2.4), sehingga strand lebih tahan terhadap abrasi. Komposisi yang paling umum digunakan adalah $1+9+9=19$.



Gambar 2.4. Susunan wire pada *seale strand*^[21].

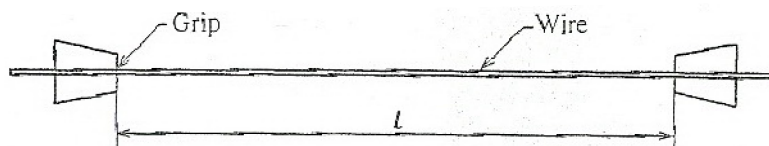
2.3.2. Karakteristik

Untuk mengkarakterisasi *wire rope*, ada beberapa pengujian yang dapat dilakukan, yaitu^[22] :

a. Pengujian pada kawat (*wire*)

Pengujian tarik (*tensile test*)

Penjepitan (lihat gambar 2.5) dilakukan pada kedua ujung spesimen dengan panjang di antara grip (L) sekitar 100 mm untuk kawat berdiameter $< 1,00$ mm, atau sekitar 200 mm untuk diameter kawat ≥ 1 mm. Kemudian lakukan penarikan hingga putus.



Gambar 2.5. Spesimen uji tarik kawat^[22].

Pengujian puntir (*torsion test*)

Untuk spesimen pengujian puntir, besarnya panjang di antara grip (L) sebesar 100 kali dari diameter kawat. Puntir pada salah satu ujung kawat dengan kecepatan yang tertera pada Tabel 2.4, dan jumlah minimum puntiran dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Kecepatan puntir pada pengujian puntir kawat^[22].

Diameter kawat (mm)	Laju puntir (rpm)
≥ 0.20 tetapi < 1.00	180 max.
≥ 1.00 tetapi ≤ 4.50	60 max

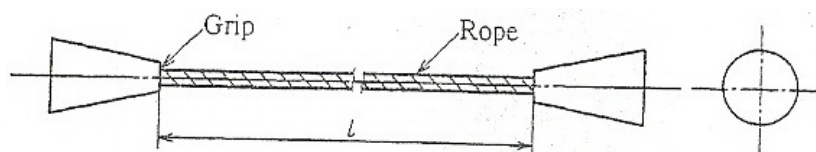
Tabel 2.5. Jumlah minimum puntiran pada pengujian puntir kawat^[22].

Diameter kawat (mm)	Jumlah minimum puntiran			
	<i>Bright</i>			<i>Plated</i>
	<i>Grade E</i>	<i>Grade A</i>	<i>Grade B</i>	<i>Grades E, G, A, dan B</i>
≥ 0.20 but ≤ 1.00	29	28	27	21
> 1.00 but ≤ 2.24	28	27	26	20
> 2.24 but ≤ 3.75	-	26	25	18
> 3.75 but ≤ 4.50	-	25	24	17

b. Pengujian pada *rope*

Pengujian tarik

Geometri spesimen yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.6, dengan jarak antar grip seperti yang tertera pada Tabel 2.6. Spesimen dijepit pada grip dan dilakukan penarikan hingga putus.



Gambar 2.6. Spesimen uji tarik *rope*^[22].

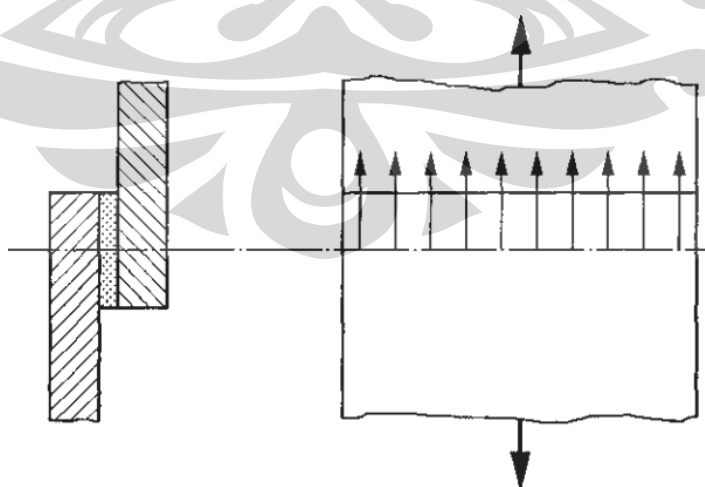
Tabel 2.6. Besarnya jarak di antara grip (L)^[22].

Diameter <i>rope</i>	Panjang antar grip (l)
≤ 6 mm	300 mm min.
> 6 mm but ≤ 20 mm	600 mm min.
> 20 mm	30 kali diameter <i>rope</i> min.

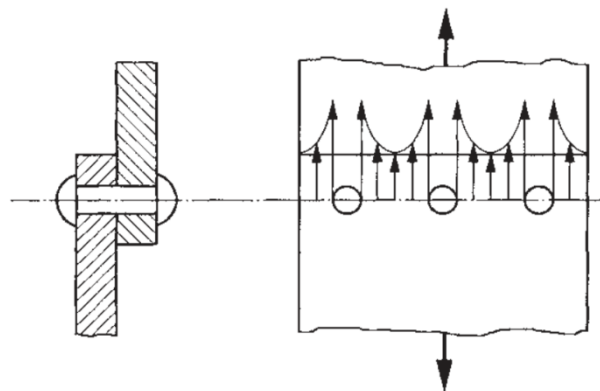
2.4. Adhesif

Adhesif merupakan suatu substansi nonlogam yang mampu melakukan penyambungan material melalui pengikatan permukaan (adhesi) dan ikatan itu sendiri memiliki kekuatan internal (kohesi) yang memadai. Keunggulan yang didapatkan melalui metode penyambungan adhesif bila dibandingkan dengan metode lain adalah^[24] :

1. Ikatan adhesif dapat digunakan untuk penggabungan material yang berbeda jenisnya dengan tetap mempertahankan karakteristik material tersebut.
2. Menghasilkan distribusi tegangan yang seragam atau homogen saat terkena pembebanan (lihat Gambar 2.7). Sedangkan pada metode penyambungan lain seperti rivet, distribusi tegangan yang dihasilkan tidak seragam (lihat Gambar 2.8).



Gambar 2. 7. Distribusi tegangan seragam pada sambungan adhesif akibat pembebanan^[24].



Gambar 2.8. Distribusi tegangan tidak seragam pada sambungan rivet akibat pembebanan^[24].

3. Dapat digunakan untuk menggabungkan material yang sangat tipis ($< 500 \mu\text{m}$). Hal ini penting dalam manufaktur konstruksi ringan dan berhubungan dengan reduksi berat.
4. Material *adherend* tidak akan melemah akibat pelubangan atau pengeboran seperti pada sambungan rivet
5. Dapat menggabungkan material yang sensitif terhadap panas karena metode penyambungan adhesif tidak memodifikasi sifat material yang akan disambung.

Sedangkan kelemahan dari penyambungan adhesif adalah^[24] :

1. Ketahanan sambungan adhesif terhadap panas terbatas, tergantung dari material penyusun adhesif tersebut, yaitu pada kisaran temperatur 120 dan 300 °C.
2. Sambungan adhesif dapat mengalami kerusakan akibat pengaruh lingkungan, seperti kelembaban yang dapat menurunkan kekuatannya.
3. Ketersediaan metode pengujian tak merusak (*nondestructive test*) terbatas.
4. Perlu memperhatikan waktu yang dibutuhkan kinetika reaksi untuk terjadinya curing.

2.4.1. Adhesif *Polyurethane*

Adhesif *polyurethane* umumnya berupa komponen tunggal, yaitu tidak memerlukan pencampuran antara resin dengan *hardener* (*single component* atau *one component*) yang berbentuk pasta maupun cairan. Adhesif yang digunakan

dalam penelitian ini memiliki merk dagang Seal N Flex 1 (Bostik). Adapun sifat-sifat (*properties*) yang dihasilkan setelah curing dari adhesif tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Sifat adhesif setelah 7 hari *curing* pada 25°C dan 50% RH substrat^[25].

Sifat	Keterangan
Penampakan	Pasta tiksotropik halus <i>non-sag</i>
Metode <i>curing</i>	<i>Moisture curing</i>
<i>Tack free time</i>	6-12 jam
Laju <i>curing</i>	2 mm/24 jam pada substrat berpori
<i>Hardness shore A</i>	± 30
Berat jenis	1.23 g/ml
Kekuatan tarik	1.3 N/mm ²
Ketahanan kimia	Tahan terhadap cairan asam, alkali dan beberapa jenis pelarut.
Elongasi saat putus	> 900 %
Temperatur aplikasi	5°C sampai 35°C
Kisaran temperatur kerja	-40°C sampai +70°C
<i>Full curing</i>	7 hari pada substrat berpori

Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan adhesif *polyurethane* Seal N Flex 1 adalah^[25] :

1. Modulus rendah .
2. Satu komponen (tidak dibutuhkan pencampuran).
3. Daya tahan (*durability*) sangat baik.
4. Dapat dicat setelah curing.
5. Tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca, seperti hujan, sinar matahari, salju, radiasi sinar ultra violet, ozon, dan polusi. Ketahanan terhadap cuaca (*weatherability*) yang sangat baik dapat mempertahankan sifat awalnya setelah bertahun-tahun terekspos.
6. Dapat mencegah pertumbuhan jamur.

2.4.2. *Moisture curing*

Adhesif dengan *moisture curing* merupakan jenis adhesif yang menggunakan kelembaban yang terdapat pada udara sekitar untuk bereaksi dengan resin di dalam suatu formulasi adhesif^[26]. Uap lembab berdifusi ke dalam adhesif dan bereaksi dengan molekul-molekul penyusun adhesif untuk membentuk struktur padatan. Sehingga, penting bagi adhesif untuk berinteraksi dengan atmosfer atau udara sekitar.

Umumnya adhesif jenis ini dapat curing secara sempurna pada temperatur ruang (5-40°C) dengan kelembaban relatif 40-70 %^[27]. Laju curing tergantung dari polimer dasar, reaksi kimia, dan kelembaban lingkungan. Selain itu, curing dapat dipercepat dengan kelembaban tinggi dan pada beberapa jenis adhesif dapat dipercepat dengan pemanasan.

2.5. Komposit

2.5.1. Teori mikromekanik

Mikromekanik berkaitan dengan perilaku mekanik dari material-material penyusun komposit, yaitu material matriks dan penguatnya, interaksi antar material penyusun tersebut, dan perilaku yang dihasilkan dari komposit dasar (dalam kasus ini lamina tunggal dalam suatu laminat).

Mikromekanik mempelajari interaksi konstituen dalam skala mikroskopik. Pada tingkatan konstituen, skala pengamatannya seperti diameter serat, ukuran partikel atau interstisi matriks di antara penguat. Analisis mikromekanik berkaitan dengan keadaan deformasi dan tegangan di dalam konstituen *dan local failure*, seperti *matrix failure* (tarik, tekan, geser), *fibre failure* (tarik, *buckling*, *splitting*), dan *interface/interphase failure (debonding)*^[28].

Mikromekanik sangat penting terutama dalam mempelajari sifat-sifat komposit, seperti *strength*, *fracture toughness*, dan *fatigue life*, di mana dipengaruhi dengan kuat oleh karakteristik lokal yang tidak dapat diintegrasikan atau dirata-ratakan. Mikromekanik juga dapat memprediksi perilaku rata-rata pada tingkatan lamina sebagai fungsi dari sifat konstituen dan kondisi lokal.

Berikut ini merupakan perhitungan yang digunakan dalam analisis mikromekanik, yaitu^[28] :

1. Modulus elastisitas longitudinal

$$E_1 = E_f v_f + E_m v_m \quad (2.1)$$

2. Modulus elastisitas transversal

$$\frac{1}{E_2} = \frac{v_f}{E_f} + \frac{v_m}{E_m} \quad (2.2)$$

3. Modulus geser (G_{12}) dan poisson's ratio (V_{12})

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_f}{G_f} + \frac{v_m}{G_m} \quad (2.3)$$

$$V_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (2.4)$$

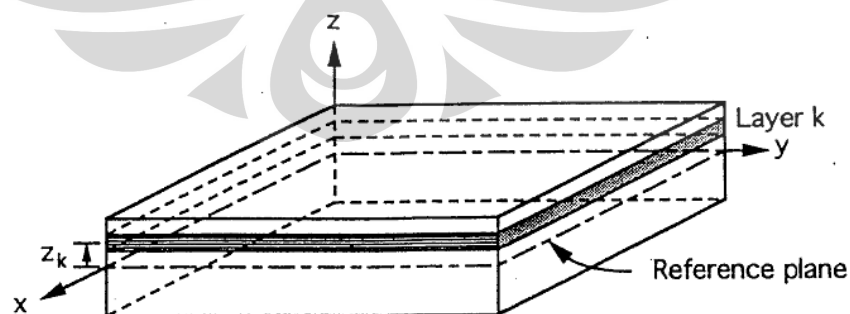
$$V_{12} = V_f v_f + V_m v_m \quad (2.5)$$

2.5.2. Teori makromekanik

Makromekanik berkaitan dengan perilaku mekanik material komposit (dalam kasus ini lamina, laminat, dan struktur) tanpa memperhatikan material penyusunnya atau interaksi di antaranya. Permasalahan yang ada dalam mempelajari mikromekanik adalah hubungan antara keefektifan sifat komposit dengan keefektifan sifat konstituennya^[28].

Kriteria kegagalan dapat dinyatakan dengan tegangan rata-rata dan kekuatan lamina secara keseluruhan tanpa memperhatikan mekanisme kegagalan lokal. Pendekatan ini direkomendasikan dalam mempelajari perilaku elastis dan viskoelastis secara keseluruhan dari material komposit laminat atau komposit struktur, dengan mengasumsikan kontinuitas material.

Hubungan tegangan-regangan lamina di dalam laminat



Gambar 2.9. Lamina k di dalam suatu laminat^[29].

Anggaplah suatu lamina k dalam suatu laminat *multidirectional* yang memiliki *midplane* pada jarak z_k dari bidang referensi laminat (lihat Gambar 2.9).

Hubungan tegangan-regangan untuk lamina ini dinyatakan terhadap sumbu materialnya, yaitu^[29]

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xs} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{ys} \\ Q_{sx} & Q_{sy} & Q_{ss} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \epsilon_x^o \\ \epsilon_y^o \\ \gamma_s^o \end{bmatrix} + z \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xs} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{ys} \\ Q_{sx} & Q_{sy} & Q_{ss} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_s \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Atau, secara ringkas persamaannya menjadi

$$[\sigma]_{x,y}^k = [Q]_{x,y}^k [\epsilon^o]_{x,y} + z [Q]_{x,y}^k \kappa_{x,y} \quad (2.7)$$

Resultan gaya dan momen

Persamaan (2.7) dapat diganti dengan resultan gaya dan momen, sehingga persamaannya menjadi^[29]

$$N_x^k = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x dz \quad (2.8)$$

$$N_y^k = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y dz \quad (2.9)$$

$$N_{xy}^k = N_s^k = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_s dz \quad (2.10)$$

dan

$$M_x^k = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x z dz \quad (2.11)$$

$$M_y^k = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y z dz \quad (2.12)$$

$$M_{xy}^k = M_s^k = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_s z dz \quad (2.13)$$

Di mana : z = variabel koordinat dari suatu titik di dalam luas penampang

t = tebal lamina

N_x^k, N_y^k = gaya normal per satuan panjang

N_s^k = gaya geser per satuan panjang

M_x^k, M_y^k = momen bending per satuan panjang

M_s^k = momen puntir per satuan panjang.

Hubungan beban-deformasi : kekakuan laminat

$$\begin{aligned} [N]_{x,y} &= \left| \sum_{k=1}^n [Q]_{x,y}^k \int_{h_{k-1}}^{h_k} dz \right| [\epsilon^o]_{x,y} + \left| \sum_{k=1}^n [Q]_{x,y}^k \int_{h_{k-1}}^{h_k} z dz \right| [\kappa]_{x,y} \\ &= \left[\sum_{k=1}^n [Q]_{x,y}^k (h_k - h_{k-1}) \right] [\epsilon^o]_{x,y} + \left[\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n [Q]_{x,y}^k (h_k^2 - h_{k-1}^2) \right] [\kappa]_{x,y} \\ &= [A]_{x,y} [\epsilon^o]_{x,y} + [B]_{x,y} [\kappa]_{x,y} \end{aligned} \quad (2.14)$$

dan

$$\begin{aligned}
 [M]_{x,y} &= \left| \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n [Q]_{x,y}^k (h_k^2 - h_{k-1}^2) \right| [\epsilon^o]_{x,y} + \left| \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n [Q]_{x,y}^k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \right| [\kappa]_{x,y} \\
 &= [B]_{x,y} [\epsilon^o]_{x,y} + [D]_{x,y} [\kappa]_{x,y}
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

di mana

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n [Q]_{ij}^k (h_k - h_{k-1}) \tag{2.16}$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n [Q]_{ij}^k (h_k^2 - h_{k-1}^2)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n [Q]_{ij}^k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \tag{2.17}$$

dengan $i, j = x, y, s$.

Kemudian, hubungan gaya-deformasi dalam bentuk lengkap yakni

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xs} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ys} \\ A_{sx} & A_{sy} & A_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x^o \\ \epsilon_y^o \\ \gamma_s^o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{xx} & B_{xy} & B_{xs} \\ B_{yx} & B_{yy} & B_{ys} \\ B_{sx} & B_{sy} & B_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_s \end{bmatrix} \tag{2.18}$$

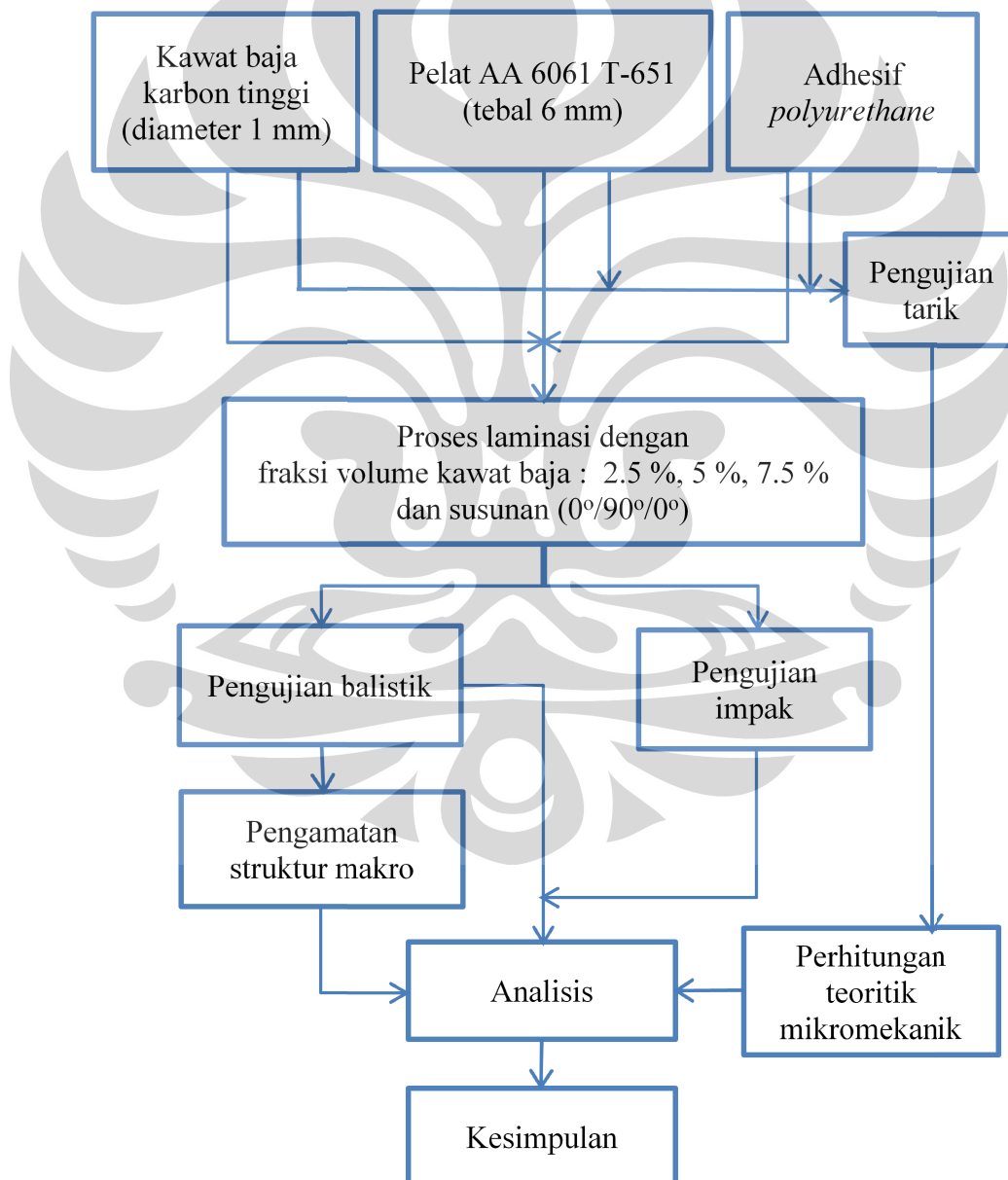
dan hubungan momen-deformasi adalah

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{xx} & B_{xy} & B_{xs} \\ B_{yx} & B_{yy} & B_{ys} \\ B_{sx} & B_{sy} & B_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x^o \\ \epsilon_y^o \\ \gamma_s^o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xs} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{ys} \\ D_{sx} & D_{sy} & D_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_s \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Suatu alur kerja yang tepat diperlukan dalam melakukan penelitian agar tujuan dari penelitian tersebut dapat tercapai. Gambar 3.1 di bawah ini merupakan diagram alir yang menggambarkan seluruh kegiatan penelitian. Dalam diagram alir tersebut meliputi proses preparasi, pembuatan, dan pengujian sampel komposit aluminium balistik.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

1. Mesin *press* Krisbow.
2. Mesin bor.
3. Mesin gergaji duduk (*Band Saw Machine*).
4. *Cutting wheel*.
5. Alat uji kekerasan Rocky FR-1AN.
6. Alat uji tarik Servopulser Shimadzu
7. Alat uji tarik plastik LF Plus Series Digital.
8. Pistol P2 PINDAD.
9. Senapan laras panjang SPR-1.
10. *Wild Photomicroscope* M400.
11. Jangka sorong.
12. Gergaji tangan.
13. Batang baja U5.
14. Ulir panjang.

3.2.2. Bahan

1. Pelat AA 6061 T-651 sebagai matriks komposit dengan dimensi 30.5 x 30.5 cm dan tebal 6 mm.
2. Kawat baja karbon tinggi berdiameter 1 mm sebagai penguat (*reinforcement*) pada komposit tahan peluru.
3. Adhesif *polyurethane* dengan merek dagang Bostik sebagai *wetting agent*.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Pembuatan Sampel Komposit

3.3.1.1. Perhitungan Fraksi Volume

Perhitungan fraksi volume pelat AA 6061 T-651 dan kawat baja karbon tinggi dengan menggunakan rumus hukum campuran (*rule of mixture*) seperti pada persamaan 3.1. Perhitungan ini bertujuan untuk menghitung jumlah kawat yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel komposit tahan peluru.

$$V_C = V_{Al} v_{Al} + V_{kawat} v_{kawat} \quad (3.1)$$

Dimensi pelat AA 6061 T-651 :

panjang = 30.5 cm, lebar = 30.5 cm, tebal = $2 \times 0.6 = 1.2$ cm

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

Dimensi 1 batang kawat:

panjang 30.5 cm , diameter kawat = 1 mm = 0.1 cm

Volume 1 batang kawat = $\pi \times \frac{1}{4} \times (0.1)^2 \times 30.5 = 0.24 \text{ cm}^3$

Untuk fraksi volume kawat 2.5 % :

$$\frac{V_{Al}}{97.5 \%} = \frac{V_c}{100 \%}$$

$$\frac{1116.3}{97.5 \%} = \frac{V_c}{100 \%}$$

$$V_c = 1144.9 \text{ cm}^3$$

$$V_{kawat} = V_c - V_{Al} = 1144.9 - 1116.3 = 28.6 \text{ cm}^3$$

$$\text{Banyaknya kawat} = \frac{V_{kawat}}{\text{Volume 1 kawat}} = \frac{28.6}{0.24} = \mathbf{120 \text{ batang kawat.}}$$

Untuk fraksi volume kawat 5 % :

$$\frac{V_{Al}}{95 \%} = \frac{V_c}{100 \%}$$

$$\frac{1116.3}{95 \%} = \frac{V_c}{100 \%}$$

$$V_c = 1175.1 \text{ cm}^3$$

$$V_{kawat} = V_c - V_{Al} = 1175.1 - 1116.3 = 58.8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Banyaknya kawat} = \frac{V_{kawat}}{\text{Volume 1 kawat}} = \frac{58.8}{0.24} = \mathbf{245 \text{ batang kawat.}}$$

Untuk fraksi volume kawat 7.5 % :

$$\frac{V_{Al}}{92.5 \%} = \frac{V_c}{100 \%}$$

$$\frac{1116.3}{92.5 \%} = \frac{V_c}{100 \%}$$

$$V_c = 1206.8 \text{ cm}^3$$

$$V_{kawat} = V_c - V_{Al} = 1206.8 - 1116.3 = 90.5 \text{ cm}^3$$

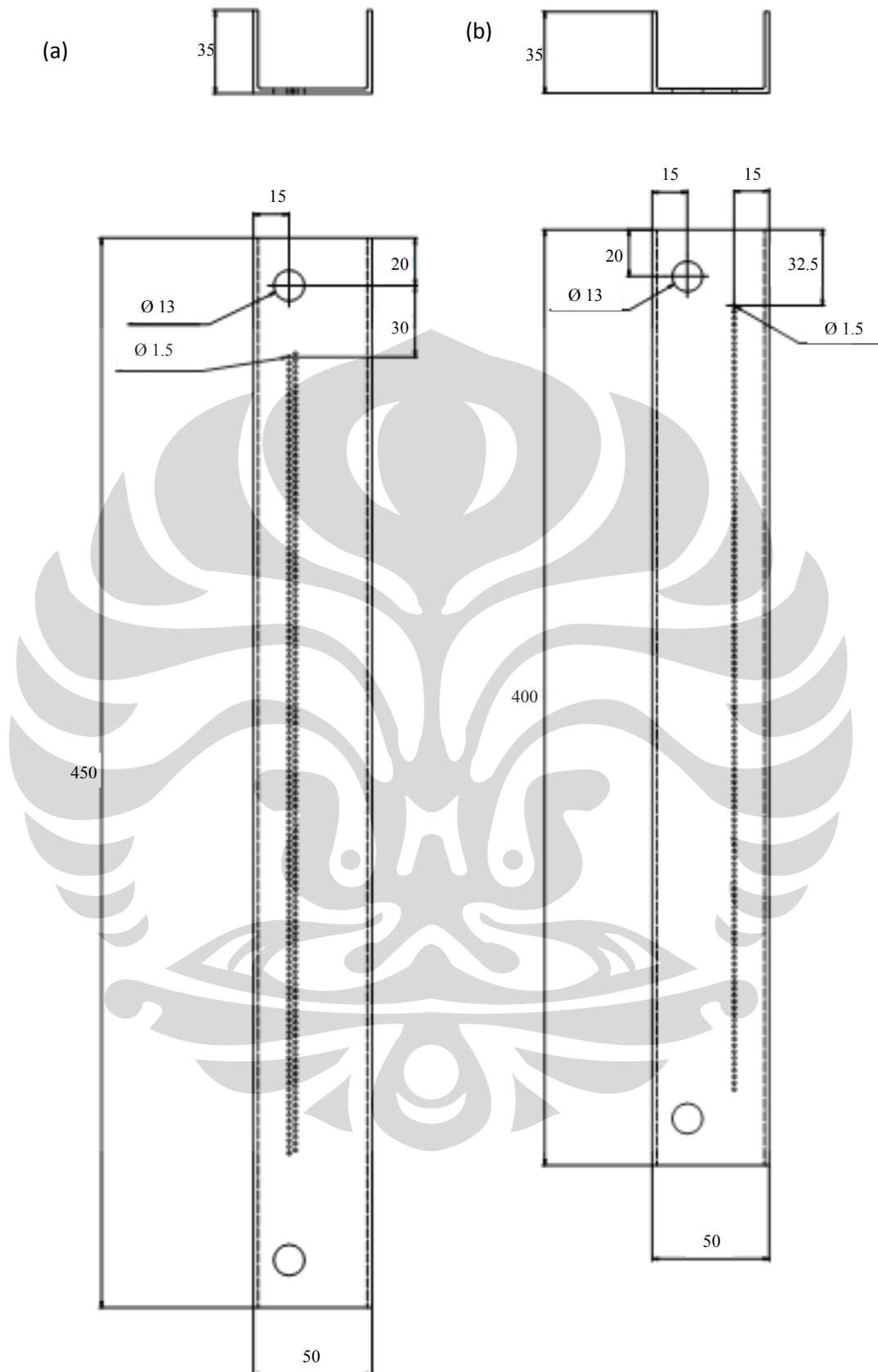
$$\text{Banyaknya kawat} = \frac{V_{kawat}}{\text{Volume 1 kawat}} = \frac{90.5}{0.24} = 377 \text{ batang kawat.}$$

3.3.1.2. Pembuatan Alat Bantu (cetakan)

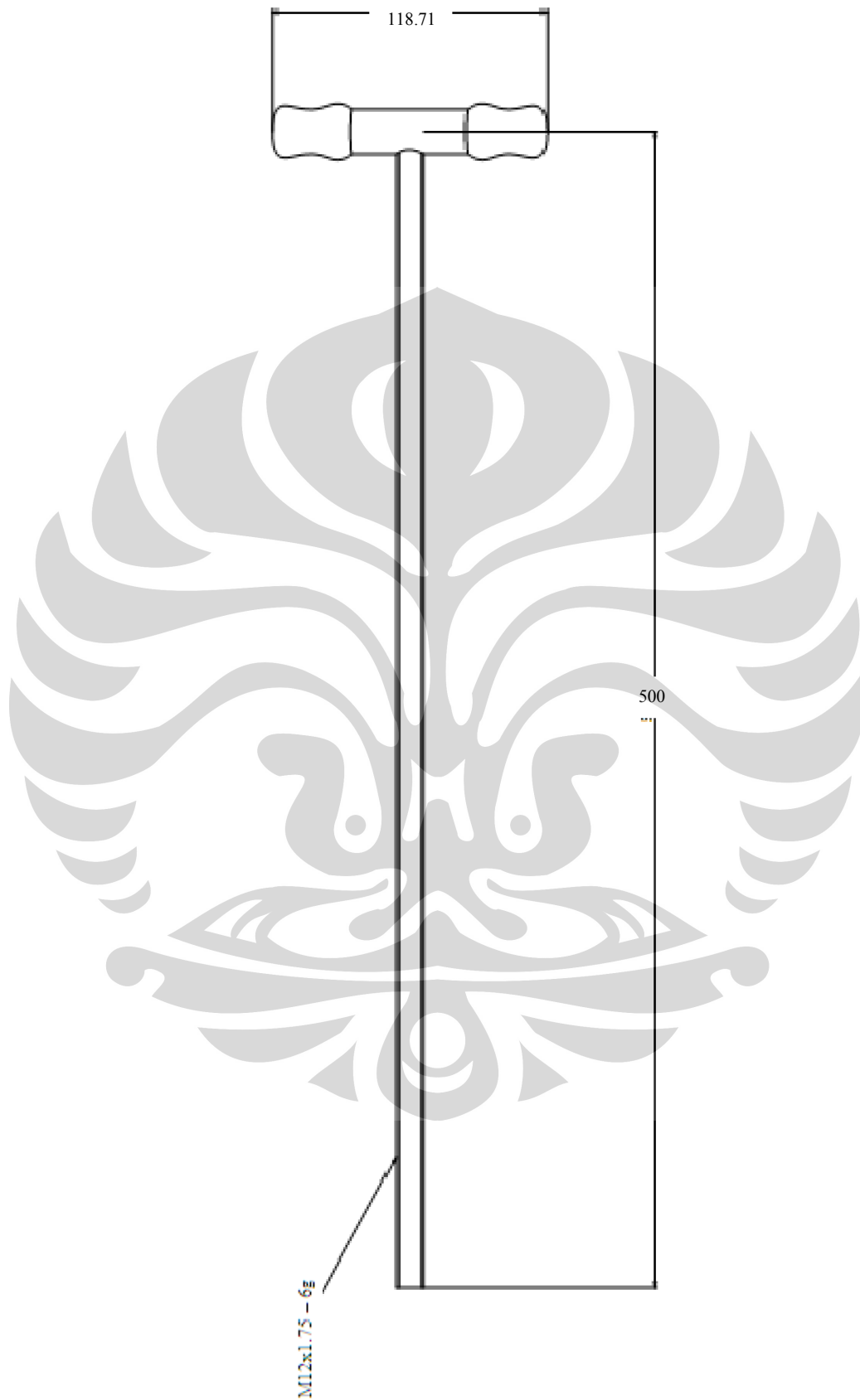
Alat bantu berfungsi untuk membantu meluruskan kawat, penyusunan kawat, dan memudahkan proses laminasi komposit. Langkah awal dalam pembuatan alat bantu adalah membuat desain terlebih dahulu. Pembuatan desain menggunakan *software* Autodesk Inventor 2010. Desain alat bantu merupakan gambar 2 dimensi yang terdiri dari komponen penyusun (lihat Gambar 3.2 dan 3.3) dan alat bantu yang sudah dirakit (lihat Gambar 3.4), serta desain 3 dimensi alat bantu yang sudah jadi atau sudah dirakit (lihat Gambar 3.5 dan 3.6).

Alat bantu yang dibuat terdiri dari 4 buah batang baja U5 (lihat Gambar 3.7 dan 3.8), 4 buah ulir panjang, mur, dan *wire rope clamp* (lihat Gambar 3.9). Batang baja U5 yang digunakan memiliki lebar 5 cm dan panjang 40 cm untuk 2 buah batang, sedangkan 2 buah batang lainnya memiliki panjang 50 cm. Batang U5 dilubangi dengan bor berdiameter 1.5 mm sebanyak 126 lubang sepanjang 30.5 cm.

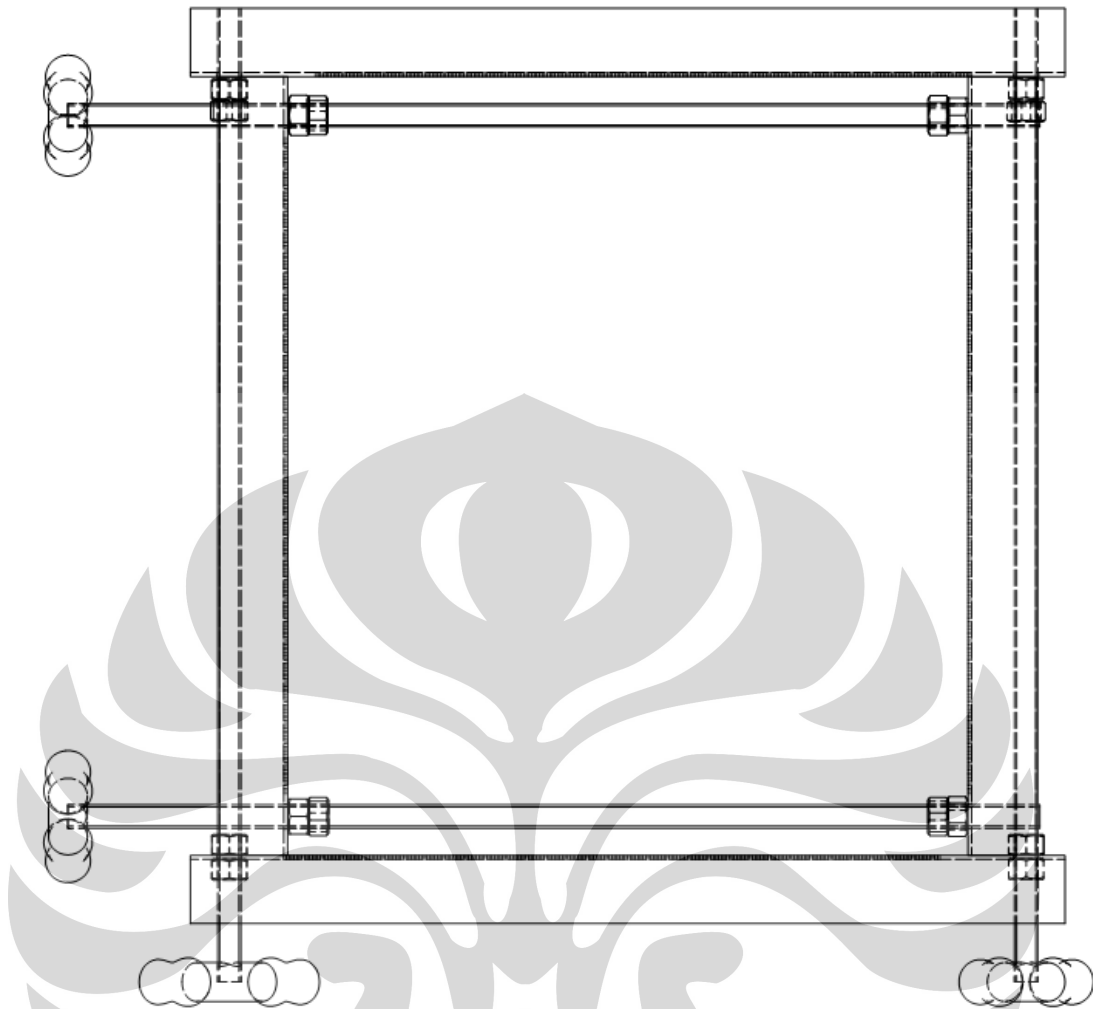
Kemudian keempat batang U5 yang telah berlubang tersebut dilakukan pengeboran dengan diameter bor 13.5 mm pada kedua ujung batang sebagai tempat untuk ulir panjang. Alat bantu yang telah jadi dapat dilihat pada Gambar 3.10. Alat bantu tersebut dapat digunakan untuk pembuatan komposit dengan fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 % serta memperhatikan jumlah dan jarak antar kawatnya pada saat menyusun kawat ke dalam alat bantu (lihat Gambar 3.11).



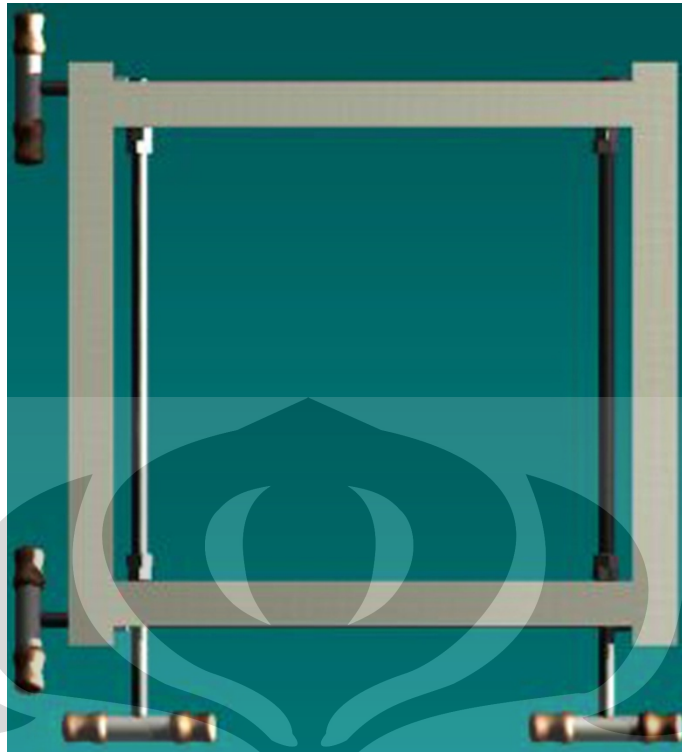
Gambar 3.2. Desain 2 dimensi komponen penyusun alat bantu, yaitu (a) batang U5 dengan panjang 45 cm, (b) batang U5 dengan panjang 40 cm.



Gambar 3.3. Desain 2 dimensi komponen penyusun alat bantu, yaitu ulir panjang.



Gambar 3.4. Desain 2 dimensi alat bantu (cetakan) yang telah dirakit (*assembling*) dilihat dari atas.



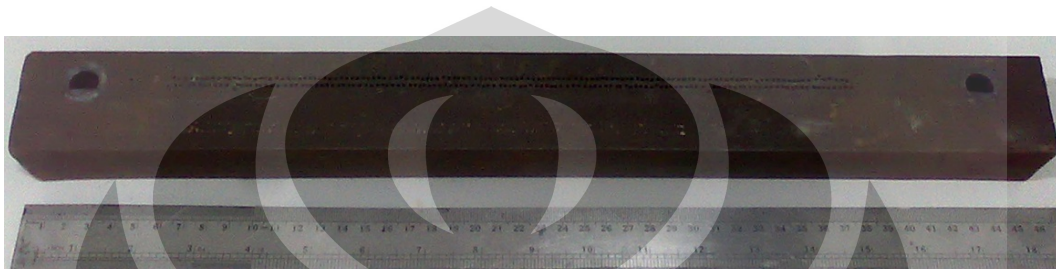
Gambar 3.5. Desain 3 dimensi alat bantu dilihat dari atas.



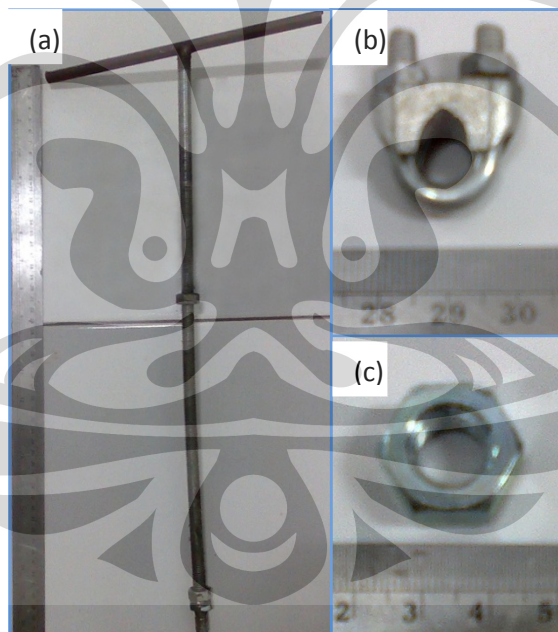
Gambar 3.6. Desain 3 dimensi alat bantu dilihat dari samping.



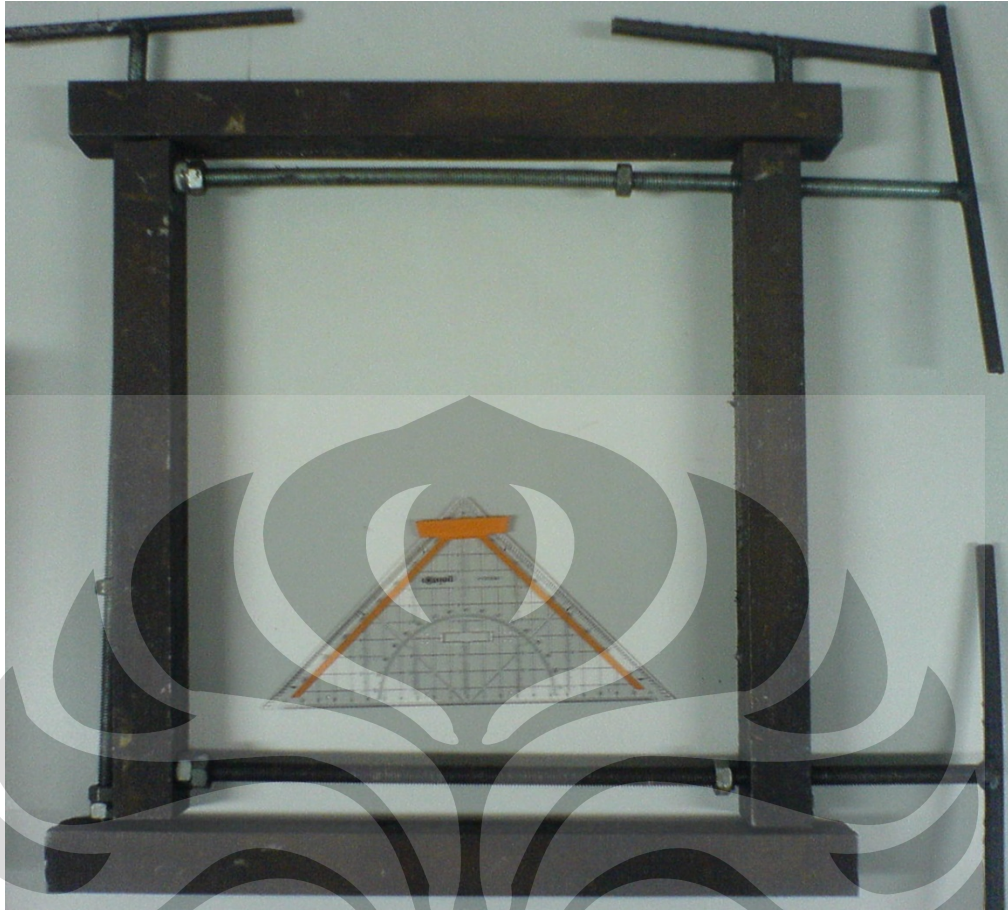
Gambar 3.7. Batang baja U5 dengan panjang 40 cm.



Gambar 3.8. Batang baja U5 dengan panjang 45 cm.



Gambar 3.9. (a) Ulir panjang 50 cm, (b) *wire rope clamp*, (c) mur.



Gambar 3.10. Alat bantu yang telah dilakukan perakitan (*assembling*) komponen penyusunnya.



Gambar 3.11. Alat bantu yang telah dilakukan penyusunan kawat secara $(0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ})$.

3.3.1.3. Preparasi Sampel

1. Pemotongan Material

a. Pelat AA 6061 T-651

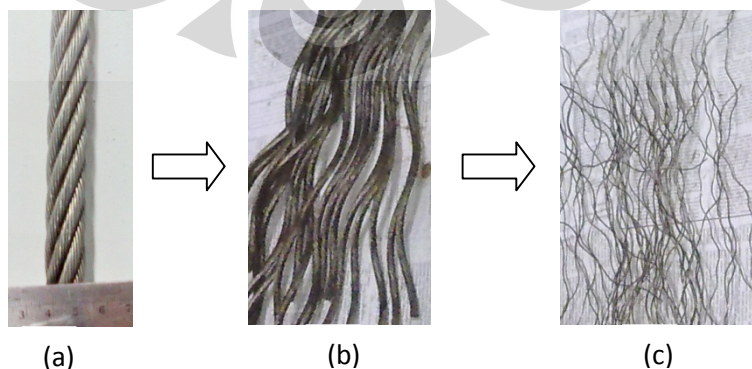
Pelat aluminium yang digunakan untuk sampel pengujian balistik dipotong dengan ukuran 30.5 x 30.5 cm (lihat Gambar 3.12) sebanyak 6 buah. Ukuran tersebut berdasarkan standar NIJ 0108.01 (*Ballistic Resistant Protective Material*).



Gambar 3.12. Pelat AA 6061 T-651 berukuran 30.5 x 30.5 cm.

b. Kawat baja karbon tinggi

Wire rope baja karbon tinggi dipotong-potong dengan panjang 50 cm. Lalu *wire rope* tersebut dilepaskan pilinannya hingga diperoleh beberapa batang kawat (lihat Gambar 3.13 (a), (b), dan (c)). Kawat yang digunakan sebanyak 120 batang kawat untuk fraksi volume 2.5%, 245 batang kawat untuk fraksi volume 5% dan 378 batang kawat untuk fraksi volume 7.5 %.



Gambar 3.13. (a) *Wire rope* yang dipotong 50 cm, (b) *strand*, (c) kawat yang berasal dari pilinan.

2. Pengamplasan

a. Pelat AA 6061 T-651

Pengamplasan pelat aluminium bertujuan memperkasar permukaan sehingga dapat meningkatkan pembasahan dengan adesif. Pengamplasan dilakukan pada salah satu sisi pelat sesuai arah pengerolan dengan menggunakan kertas amplas 120 mesh. Setelah itu, serpihan-serpihan logam yang menempel pada pelat dibersihkan dengan kain agar tidak mengganggu interaksi pelat dengan adhesif.

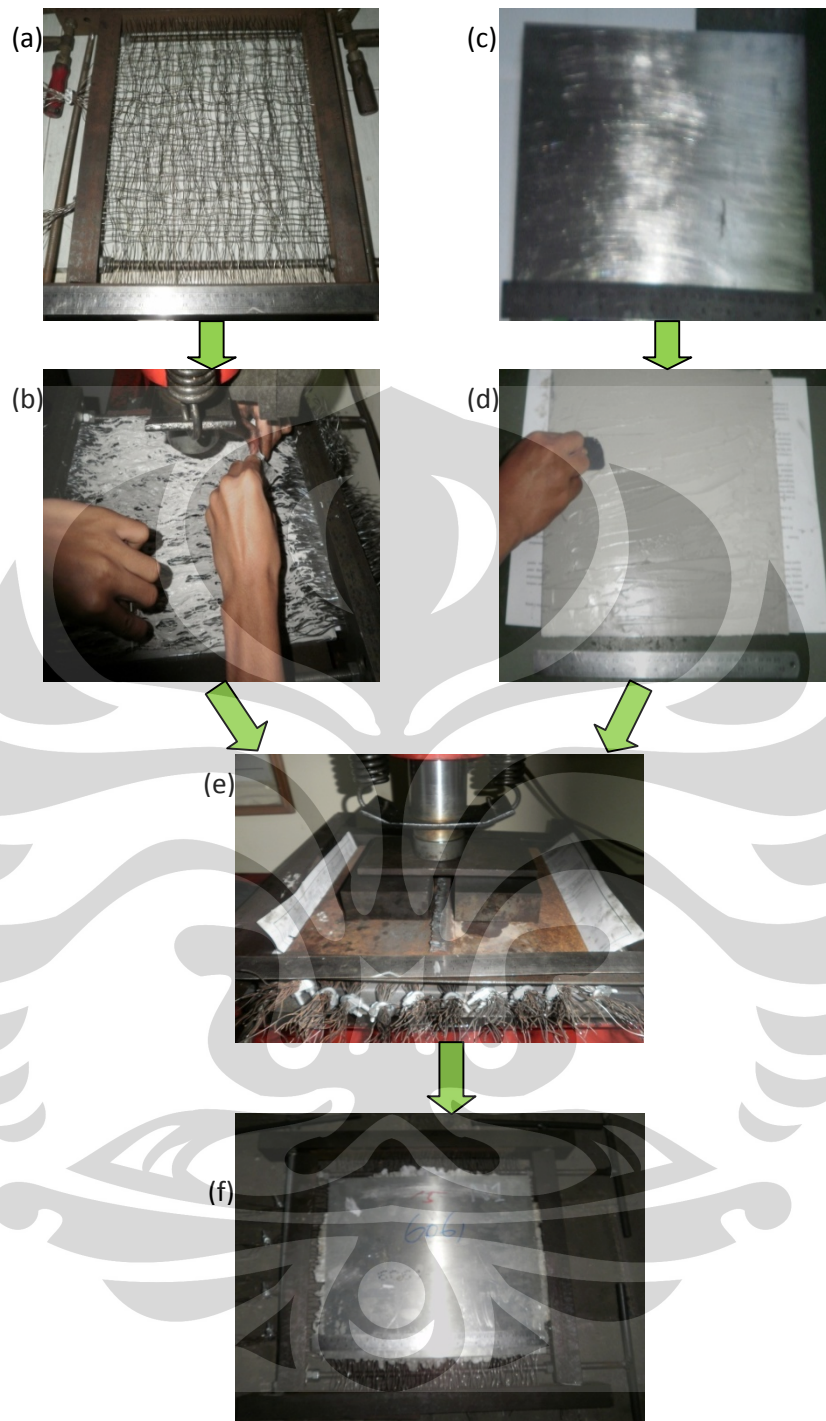
b. Kawat baja karbon tinggi

Pengamplasan kawat juga bertujuan untuk meningkatkan pembasahan dengan adesif. Sebelum diamplas, pelumas yang melekat pada kawat dibersihkan terlebih dahulu dengan kain. Lalu dilakukan pengamplasan dengan kertas amplas 120 mesh. Serpihan-serpihan logam yang masih menempel dibersihkan dengan kain.

3.3.1.4. Proses Laminasi Komposit

Tahapan proses laminasi komposit dapat dilihat pada Gambar 3.14. Pada tahap awal dilakukan pemasangan kawat pada lubang cetakan (Gambar 3.14 (a)). Ikatkan ujung-ujung kawat dengan *wire rope clamp*, lalu lakukan pemutaran ulir panjang untuk menarik kawat agar kawat menjadi lurus. Olesi kawat tersebut dengan adhesif secara merata (lihat Gambar 3.14 (b)). Selanjutnya pelat AA 6061 yang telah diamplas (lihat Gambar 3.14 (c)) diolesi juga dengan adhesif (lihat Gambar 3.14 (d)).

Kemudian pelat yang telah diolesi adhesif diletakkan pada bagian atas dan bawah kawat yang telah terpasang pada cetakan dan lakukan penekanan (lihat Gambar 3.14 (e)) dengan menggunakan alat *press*. Tekanan yang diberikan sebesar 300 bar (19.47 ton). Penekanan dilakukan selama ± 15 jam hingga adhesif benar-benar terjadi *curing* yang sempurna. Setelah itu, laminat komposit yang telah jadi diangkat dari mesin *press* (lihat Gambar 3.14 (f)). Laminat komposit yang masih melekat pada alat bantu (cetakan) dilakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda potong.



Gambar 3.14. Tahapan proses laminasi komposit (a) pemasangan dan penyusunan kawat yang telah diampas pada alat bantu, (b) pemolesan adhesif pada kawat yang telah disusun, (c) pengampelasan pelat, (d) pemasangan pelat pada alat bantu yang telah berisi kawat, lalu dilakukan penekanan, (e) laminat komposit setelah dilakukan penekanan.

3.3.2. Uji Kekerasan Pelat AA 6061 T-651

Pengujian kekerasan pelat AA 6061 T-651 berdasarkan standar ASTM E 18 (*Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*). Metode uji yang digunakan untuk mengetahui kekerasan dari pelat aluminium adalah metode Rockwell B. Metode ini biasa digunakan untuk aluminium paduan, tembaga paduan, baja lunak, dan besi tuang mampu tempa. Pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan Rockwell Rocky FR-1AN yang ada di DMM FTUI (lihat Gambar 3.15).

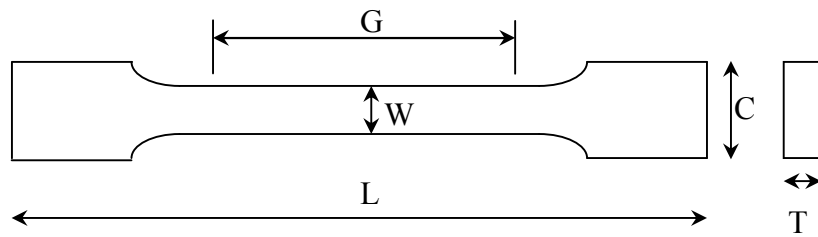


Gambar 3.15. Alat uji kekerasan digital Rockwell Rocky FR-1AN.

3.3.3. Uji Tarik

3.3.3.1. Uji Tarik Pelat AA 6061 T-651

Pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum material (*ultimate tensile strength*). Pengujian ini berdasarkan ASTM E 8 (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*). Sampel yang digunakan memiliki dimensi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.16 dan Tabel 3.1 serta penandaan gage length dapat dilihat pada Gambar 3.17. Alat uji tarik yang digunakan berupa Universal Testing Machine Servopulser Shimadzu yang ada di DMM FTUI (lihat Gambar 3.18).



Gambar 3.16. Bentuk sampel uji tarik logam yang berbentuk pelat.

Keterangan :

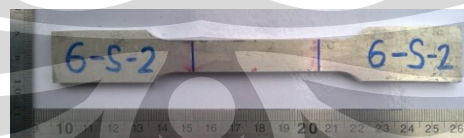
W = Lebar bagian yang sempit; G = Panjang ukur (*gage length*);
 L = Panjang keseluruhan; C = Lebar bagian grip.
 T = Tebal;

Tabel 3.1. Ukuran sampel uji tarik pelat AA-6061.

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



(a)



(b)



(c)

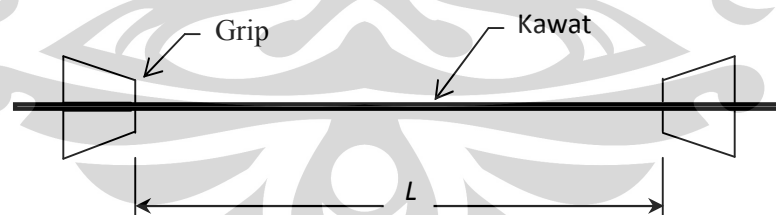
Gambar 3.17. Penandaan *gage length* pada sampel uji tarik pelat AA 6061 T-651 (a) 6-S-1, (b) 6-S-2, (c) 6-S-3.



Gambar 3.18. Alat uji tarik Servopulser Shimadzu.

3.3.3.2. Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi

Pengujian tarik kawat baja karbon tinggi menggunakan standar JIS G 3525 (*Wire Rope*). Dimensi spesimen untuk uji tarik kawat (lihat Gambar 3.19) yaitu panjang di antara grip (L) sekitar 100 mm untuk kawat berdiameter < 1 mm, atau sekitar 200 mm untuk diameter kawat ≥ 1 mm. Kawat dijepit dengan grip. Kemudian lakukan penarikan hingga putus. Pengujian tarik kawat baja karbon tinggi menggunakan Universal Testing Machine Servopulser Shimadzu yang ada di DMM FTUI.

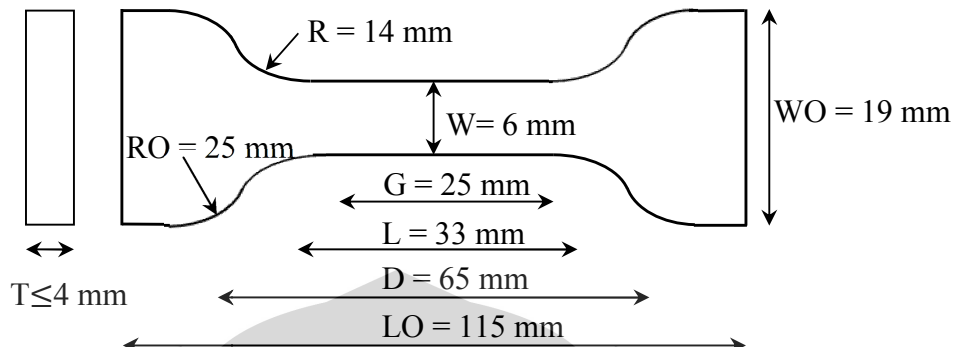


Gambar 3.19. Spesimen uji tarik kawat.

3.3.3.3. Uji Tarik Adhesif *Polyurethane*

Pengujian tarik adhesif *polyurethane* berdasarkan standar ASTM E 638 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*). Adapun dimensi sampel untuk uji tarik adhesif dapat dilihat pada Gambar 3.20 dan 3.21, yaitu dengan menggunakan dimensi tipe 4. Pengujian tarik adhesif ini menggunakan alat uji tarik film plastik LF Plus Series Digital (lihat Gambar 3.22) yang ada di

DMM FTUI. Data pengujian akan tercatat secara otomatis pada *software* Nexygen v4.5.



Gambar 3.20. Spesimen uji tarik adhesif *polyurethane* tipe 4.

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------|--|
| W = Lebar bagian yang sempit; | G = Panjang ukur (<i>gage length</i>); |
| L = Panjang bagian yang sempit; | D = Jarak antar grip; |
| WO = Lebar keseluruhan; | R = Jari-jari <i>fillet</i> ; |
| LO = Panjang keseluruhan; | RO = Jari-jari <i>outer</i> . |



Gambar 3.21. Sampel uji tarik adhesif *polyurethane*.



Gambar 3.22. Alat uji tarik plastik LF Plus Series Digital.

3.3.4. Uji Impak Komposit

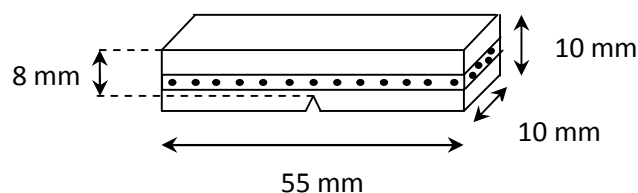
Pengujian impak bertujuan untuk mengukur ketahanan impak terhadap beban kejut yang dinyatakan dengan banyaknya energi yang diserap untuk terjadinya perpatahan pada suatu material. Energi yang diserap tersebut langsung terbaca pada skala penunjuk pada alat uji dalam satuan Joule (lihat Gambar 3.12).



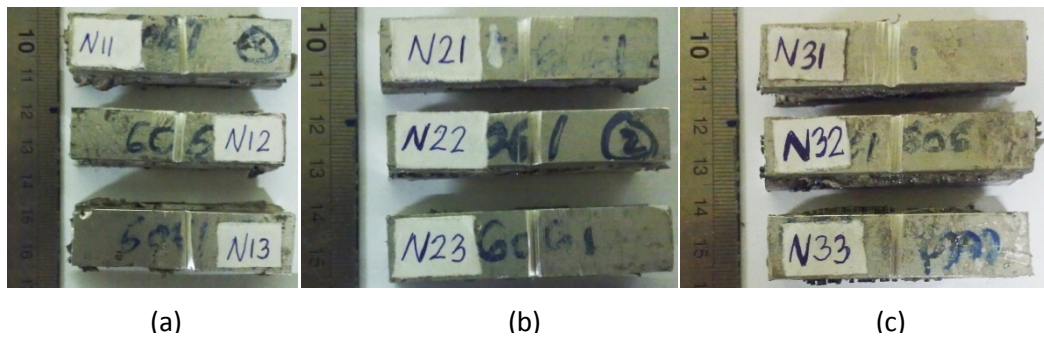
Gambar 3.23. Alat uji impak.

Pengujian impak komposit menggunakan standar ASTM E 23 (*Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*). Pengujian ini menggunakan metode charpy dengan takik berbentuk “v” dan bersudut 45°. Dimensi sampel uji impak berukuran 55 x 10 x 10 mm (lihat Gambar 3.24 dan 3.25). Harga impak (HI) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$HI = \frac{E}{A} \quad (3.1)$$



Gambar 3.24. Dimensi dan bentuk sampel uji impak komposit.



Gambar 3.25. Sampel uji impact komposit tahan peluru (a) fraksi volume kawat 2.5 %, (b) fraksi volume kawat 5 %, dan (c) fraksi volume kawat 7.5 %.

3.3.5. Uji Balistik Komposit

Pengujian balistik menggunakan standar NIJ 0108.01 (*Ballistic Resistant Protective Material*). Standar ini diaplikasikan untuk semua material tahan balistik (*armor*) yang memberikan perlindungan terhadap tembakan senapan (*gunfire*). Pengujian balistik dilakukan di PT PINDAD Bandung. Sampel pengujian berukuran 30.5 x 30.5 cm.

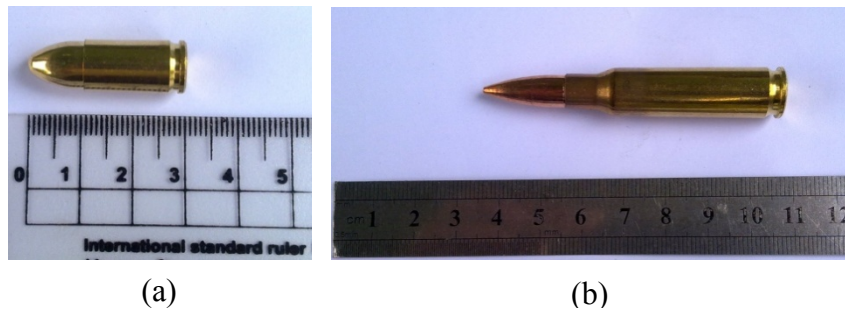
Adapun jenis pengujian balistik pada sampel komposit tahan peluru yang dilakukan di PT PINDAD menurut standar NIJ adalah :

1. Tipe II (*Higher Velocity*)

Jenis amunisi yang digunakan adalah kaliber 9 mm MU1-TJ (lihat Gambar 3.26 (a)) dengan panjang selongsong 19 mm. Jenis senjata yang digunakan berupa Pistol P2 PINDAD (lihat Gambar 3.27 (a)) dengan kecepatan tembak 380 ± 15 m/s. Jarak tembak antara senjata dengan target (sampel komposit laminat) adalah 5 m.

2. Tipe III (*High-Powered Rifle*).

Jenis amunisi yang digunakan untuk tipe ini adalah kaliber 7.62 mm MU2-TJ (lihat Gambar 3.26 (b)) dengan panjang selongsong 51 mm. Jenis senjata yang digunakan berupa Senapan Laras Panjang SPR-1 (lihat Gambar 3.27 (b)) dengan kecepatan tembak 837 ± 15 m/s. Jarak tembak antara senjata dengan target (sampel komposit laminat) adalah 15 m.

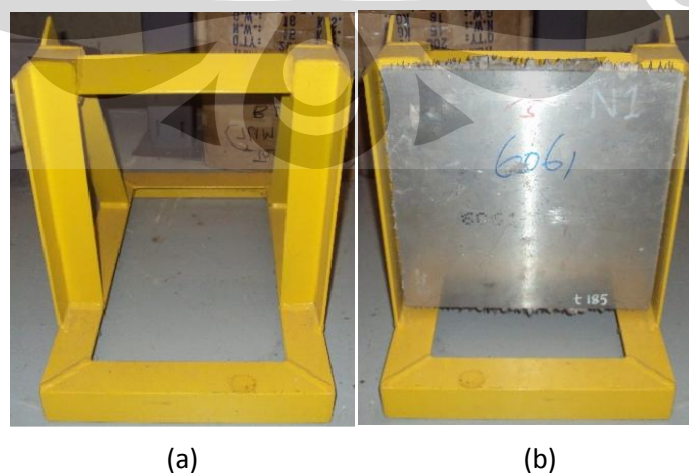


Gambar 3.26. Jenis amunisi untuk uji balistik : (a) kaliber 9 mm, (b) kaliber 7.62 mm.



Gambar 3.27. Jenis senjata yang dipakai untuk uji balistik : (a) Pistol P2 PINDAD, (b) Senapan Laras Panjang SPR-1.

Masing-masing sampel komposit laminat dilakukan dua kali penembakan dengan jenis amunisi dan senjata yang telah disebutkan di atas. Sampel yang akan ditembak terlebih dahulu diletakkan pada suatu *backing plate* (lihat Gambar 3.28 (a) dan(b)) yang dapat menyangga sampel sehingga memudahkan penembakan. Setelah itu dilakukan penembakan (lihat Gambar 3.29 dan 3.30) dengan jenis kaliber amunisi, jenis senjata, dan jarak tembak yang sesuai dengan standar NIJ.



Gambar 3.28. (a) *Backing plate* yang digunakan untuk uji balistik, (b) sampel laminat komposit yang telah diletakkan pada *backing plate*.



Gambar 3.29. Proses penembakan sampel komposit menggunakan Pistol P2 PINDAD dengan amunisi berkaliber 9 mm dan jarak tembak 5 m.



Gambar 3.30. Proses penembakan sampel komposit menggunakan senapan laras panjang SPR-1 dengan amunisi berkaliber 7.62 mm dan jarak tembak 15 m.

3.3.6. Foto Makro

Foto makro dilakukan pada sampel hasil uji balistik pada daerah yang terkena peluru dan daerah sekitar yang masih dipengaruhi oleh peluru. Foto makro ini bertujuan untuk mengetahui bentuk perforasi peluru, mekanisme perforasi peluru terhadap komposit tahan peluru. Foto makro menggunakan alat *Wild Photomicroscope M400* (lihat Gambar 3.31) yang ada di DMM FTUI. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran terkecil, yaitu 6.3 kali.



Gambar 3.31. *Wild photomicroscope M400*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain dan Manufaktur Laminat Aluminium Balistik

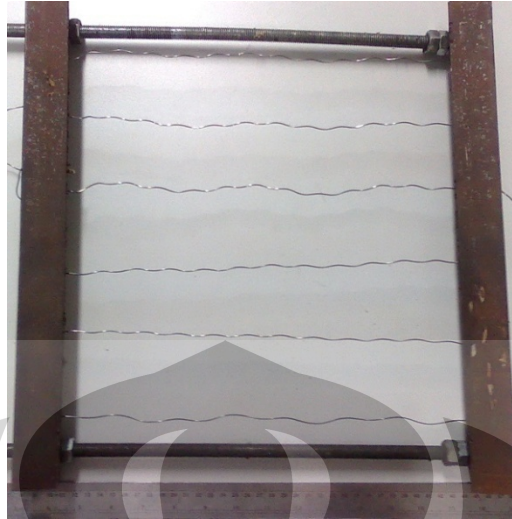
4.1.1. Akurasi Kelurusan Kawat

Kawat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *wire rope* yaitu kawat yang dipilin menjadi satu-kesatuan. Sehingga untuk penggunaannya harus melepaskan pilinan kawat tersebut satu per satu. Kawat yang telah dilepaskan dari pilinannya masih bergelombang dan belum lurus secara sempurna. Hal itu dapat mengganggu dalam proses laminasi komposit, dan distribusi tegangan menjadi tidak merata saat komposit tahan peluru terkena beban balistik. Oleh karena itu, tingkat akurasi kelurusan kawat saat disusun pada alat bantu (cetakan) memiliki peranan penting dalam komposit tahan peluru.

Untuk mengetahui seberapa besar akurasi kelurusan kawat, maka dilakukan suatu simulasi. Simulasi diawali dengan menghitung panjang kawat sebenarnya dengan menggunakan tali. Tali tersebut diletakkan pada kawat sesuai dengan bentuk kawat yang masih bergelombang dan didapatkan panjang kawat sebenarnya. Setelah itu dilakukan perhitungan panjang kawat sebelum ditarik dengan mengukur panjang kawat yang telah disusun pada alat bantu (lihat Gambar 4.1). Simulasi selanjutnya adalah mengukur panjang kawat yang telah ditarik alat bantu (lihat Gambar 4.2).



Gambar 4.1. Pengukuran panjang kawat sebelum ditarik alat bantu.



Gambar 4.2. Pengukuran panjang kawat setelah ditarik alat bantu.

Setelah mengetahui panjang kawat sebenarnya, panjang kawat sebelum ditarik, dan panjang kawat setelah ditarik maka dilakukan perhitungan tingkat kelurusan kawat. Perhitungan tersebut dilakukan dengan membandingkan panjang sebelum serta setelah ditarik terhadap panjang sebenarnya. Adapun perhitungan persentase tingkat kelurusan kawat adalah sebagai berikut :

Data yang didapatkan :

Panjang kawat sebelum ditarik = 27 cm

Panjang kawat setelah ditarik = 31.5 cm

Panjang sebenarnya = 33.4 cm

Perhitungan persentase kelurusan kawat :

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

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

Berdasarkan perhitungan di atas, tingkat akurasi kelurusan kawat mengalami peningkatan. Di mana sebelum dilakukan penarikan dengan alat bantu, kelurusan kawat hanya 81 %. Sedangkan setelah dilakukan penarikan dengan alat bantu, tingkat kelurusan kawat menjadi 94 %. Namun, akurasi kelurusan kawat

tersebut belum mencapai 100 %. Dengan demikian distribusi tegangan dan penyerapan energi saat komposit diberikan beban balistik belum maksimal.

4.1.2. Perhitungan Fraksi Volume

Pada sub bab 3.3.1.1., perhitungan yang dilakukan hanyalah fraksi volume dari matriks (pelat AA 6061 T-651) dan penguat (kawat baja karbon tinggi) saja. Namun pada kenyataannya, pada proses pembuatan komposit tahan peluru ini menggunakan adhesif sebagai *wetting agent*. Adhesif yang digunakan untuk satu buah sampel komposit sebanyak 300 ml. Oleh karena itu, adhesif memiliki pengaruh dalam perhitungan fraksi volume. Sehingga rumus hukum campuran (*rule of mixture*) yang digunakan berubah menjadi persamaan 4.1.

$$V_c = V_{Al} v_{Al} + V_{kawat} v_{kawat} + V_{adhesif} v_{adhesif} \quad (4.1)$$

Tabel 4.1. Volume komposit teoritik (V_c teoritik) dan sebenarnya (V_c real).

Fraksi Volume Kawat	Volume Komposit	Volume Komposit
	Teoritik (V_c teoritik)	Sebenarnya (V_c real)
2.5 %	1444.9 cm ³	1721 cm ³
5 %	1475.1 cm ³	1851 cm ³
7.5 %	1506.8 cm ³	2604.7 cm ³

Berdasarkan perhitungan volume komposit pada Tabel 4.1 di atas, volume komposit teoritik (V_c teoritik) untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 % masing-masing bernilai 1444.9 cm³, 1475.1 cm³, dan 1506.8 cm³. Sedangkan volume komposit sebenarnya (V_c real) dari sampel uji balistik untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 % masing-masing sebesar 1721 cm³, 1851 cm³, dan 2604.7 cm³. Pada hasil perhitungan tersebut terdapat perbedaan yang signifikan antara volume komposit teoritik dengan yang sebenarnya. Adapun persentase perbedaan volume tersebut adalah 19.1 %, 25.5 %, dan 72.9 % untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %.

Perbedaan tersebut dikarenakan kawat baja karbon tinggi memiliki kekakuan yang tinggi. Sehingga butuh gaya yang besar untuk menarik kawat tersebut dengan alat bantu, sedangkan penarikan kawat hanya dilakukan dengan

tenaga manusia. Kemudian, ulir panjang (salah satu komponen alat bantu) tidak dapat menahan penarikan kawat secara maksimal akibat terjadinya penekukan (*bending*) pada komponen tersebut. Selain itu, void yang terbentuk pada lapisan adhesif sangat banyak, sehingga membutuhkan ruang yang lebih banyak dari yang seharusnya. Akibatnya volume komposit pada sampel uji balistik berbeda jauh dengan volume teoritik.

4.2. Perhitungan Teoritik Kekuatan Laminat Aluminium Balistik

Perhitungan teoritik kekuatan laminat komposit tahan peluru dilakukan secara mikromekanik. Mikromekanik melibatkan interaksi antara komponen penyusunnya, yaitu pelat AA 6061 T-651 sebagai matriks, kawat baja karbon tinggi sebagai penguat, dan adhesif *polyurethane* sebagai *wetting agent* dalam skala mikro. Perhitungan menggunakan hukum campuran (*rule of mixture*) yang melibatkan modulus elastisitas dari masing-masing komponen. Modulus elastisitas AA 6061, adhesif, dan kawat didapatkan dari pengujian tarik. Adapun modulus elastisitas dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai modulus elastisitas dari komponen penyusun komposit tahan peluru.

Material	E (GPa)	E Rerata (GPa)
AA 6061	31.89	29.54
	28.03	
	28.70	
Adhesif	0.00028	0.00027
	0.00019	
	0.00034	
Kawat baja	97.65	112.17
	118.42	
	120.43	

Selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya modulus elastisitas komposit tahan peluru dengan menggunakan hukum campuran berdasarkan persamaan 4.2.

$$E_c = E_{Al} v_{Al} + E_{kawat} v_{kawat} + E_{adhesif} v_{adhesif} \quad (4.2)$$

Kemudian memasukkan nilai modulus elastisitas (E) rata-rata masing-masing komponen pada Tabel 4.2 beserta variasi fraksi volume dari sub bab 4.1.2 ke

dalam persamaan 4.2. Hasil perhitungan modulus elastisitas komposit tahan peluru dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai modulus elastisitas komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %.

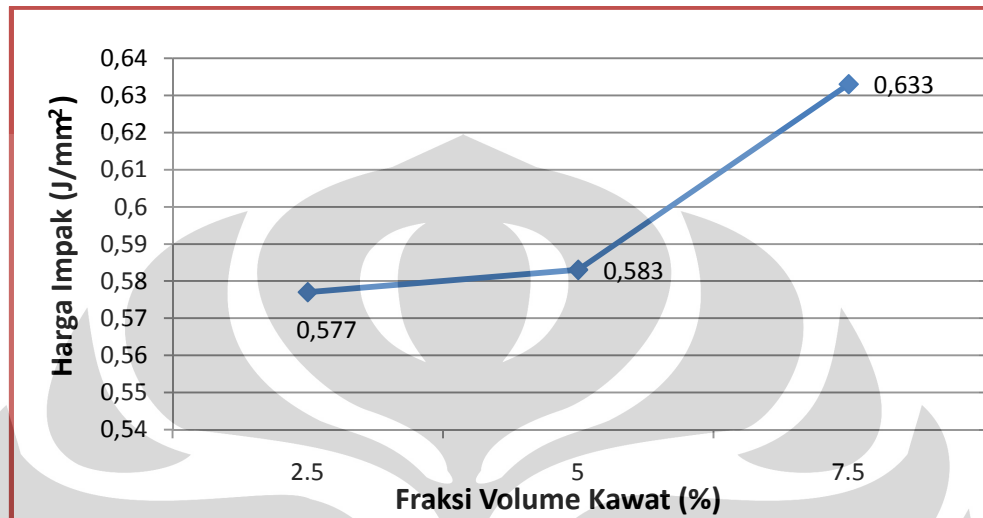
Fraksi Volume Kawat	v_{Al} (%)	$v_{adhesif}$ (%)	v_{kawat} (%)	E komposit (GPa)
2.5 %	77.26	20.76	1.98	25.04
5 %	75.68	20.34	3.99	26.83
7.5 %	74.08	19.91	6.01	28.62

Pada Tabel 4.3 sangat jelas terlihat bahwa semakin meningkatnya fraksi volume kawat baja karbon tinggi, maka modulus elastisitas komposit juga mengalami peningkatan. Besarnya peningkatan modulus elastisitas pada fraksi volume kawat 5 % yakni 7.15 % dari 25.04 GPa menjadi 26.83 GPa. Selanjutnya terjadi peningkatan juga pada fraksi volume kawat 7.5 % sebesar 14.30 % dari 25.04 GPa menjadi 28.62 GPa. Peningkatan modulus elastisitas komposit tersebut disebabkan oleh modulus elastisitas kawat yang sangat tinggi bila dibandingkan dengan modulus elastisitas pelat AA 6061 dan adhesif, sehingga memiliki pengaruh yang besar dalam perhitungan. Dengan demikian, modulus elastisitas yang semakin meningkat menjadikan material semakin kaku atau diharapkan semakin tahan terhadap deformasi dari proyektil.

4.3. Pengaruh Fraksi Volume Kawat Terhadap Kekuatan Impak Laminat

Pengujian impak pada sampel komposit tahan peluru bertujuan untuk mensimulasikan pengujian balistik. Pada Gambar 4.3 memperlihatkan besarnya harga impak (energi yang diserap per satuan luas) yang diperoleh pada sampel uji impak. Secara keseluruhan terjadi peningkatan harga impak seiring dengan meningkatnya fraksi volume kawat, dan dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan harga impak yang kurang berarti yaitu hanya 1 % untuk sampel fraksi volume kawat 5 % terhadap sampel dengan fraksi volume kawat 2.5 %. Hal ini dikarenakan rendahnya ikatan adhesif dengan pelat AA 6061 maupun kawat baja. Sedangkan kenaikan yang cukup berarti terjadi pada sampel 7.5 % fraksi volume kawat sebesar 9.7 % terhadap sampel dengan fraksi volume kawat 2.5 %.

Penyerapan energi yang terjadi selama sampel menerima beban impact merupakan ukuran ketangguhan material tersebut. Dengan demikian sampel dengan fraksi volume kawat 7.5 % memiliki ketangguhan yang paling tinggi bila dibandingkan terhadap sampel dengan fraksi volume kawat 2.5 % dan 5 %.



Gambar 4.3. Pengaruh fraksi volume kawat terhadap harga impact komposit laminat.

Bentuk-bentuk kerusakan pada sampel akibat beban impact dapat dilihat pada Gambar 4.4 masing-masing untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %. Pada Gambar 4.4 (b) ada bagian sambungan adhesif yang sudah tidak menempel lagi akibat gaya tarik adhesif terhadap pelat kurang baik dikarenakan void yang terbentuk cukup banyak, sedangkan pada sampel (a) dan (c) kondisi sambungan masih baik. Hal serupa juga terjadi pada sampel dengan fraksi volume kawat 5 % pada sampel (e) terjadi pelepasan ikatan adhesif, sedangkan kondisi sambungan adhesif sampel (d) dan (f) masih baik.

Namun, keadaan sampel setelah beban impact yang terparah terjadi pada sampel dengan fraksi volume kawat 7.5 % (lihat Gambar 4.4 (g), (h), (i)). Ketiga sampel mengalami pelepasan sambungan adhesif pada setengah bagian sampel.

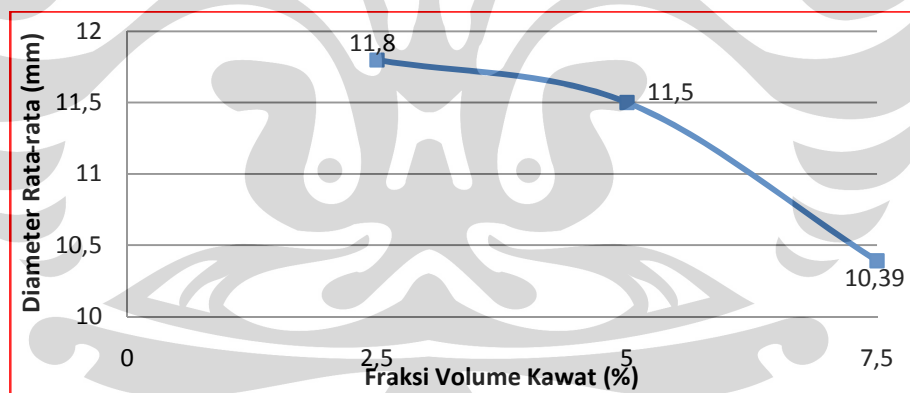


Gambar 4.4. Bentuk perpatahan sampel komposit tahan peluru akibat beban impact (a), (b), (c) fraksi volume kawat 2.5 %, (d), (e), (f) 5 %, dan (g), (h), (i) 7.5 %.

4.4. Karakteristik Balistik Laminat Aluminium

4.4.1. Karakteristik Perforasi Berdasarkan Dimensi

Salah satu cara untuk mengetahui tingkat ketahanan material terhadap balistik yaitu dengan mengukur diameter perforasi akibat beban impak dari proyektil. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa besar diameter perforasi yang diakibatkan proyektil kaliber 9 mm mengalami penurunan dari 11.80 mm menjadi 11.50 mm dan menjadi 10.39 mm seiring dengan meningkatnya fraksi volume kawat. Adapun bentuk perforasinya dapat dilihat pada gambar 4.7 (a), (b), dan (c). Dari ketiga gambar tersebut, tidak ada satupun proyektil kaliber 9 mm yang dapat menembus komposit tahan peluru. Yang terjadi hanyalah cekungan permukaan pada pelat bagian depan saja. Hal ini disebabkan komposit tahan peluru memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap energi dan mendistribusikan tegangannya ke seluruh bagian komposit. Dengan demikian komposit tahan peluru memiliki ketahanan yang baik saat terkena impak dari proyektil kaliber 9 mm (Tipe II Standar NIJ 0108.01).

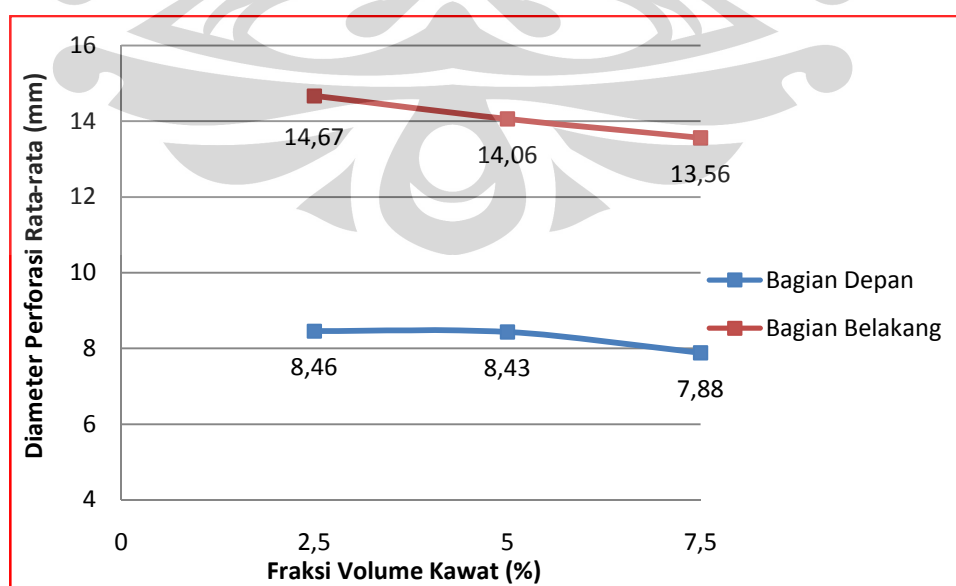


Gambar 4.5. Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi proyektil 9 mm.

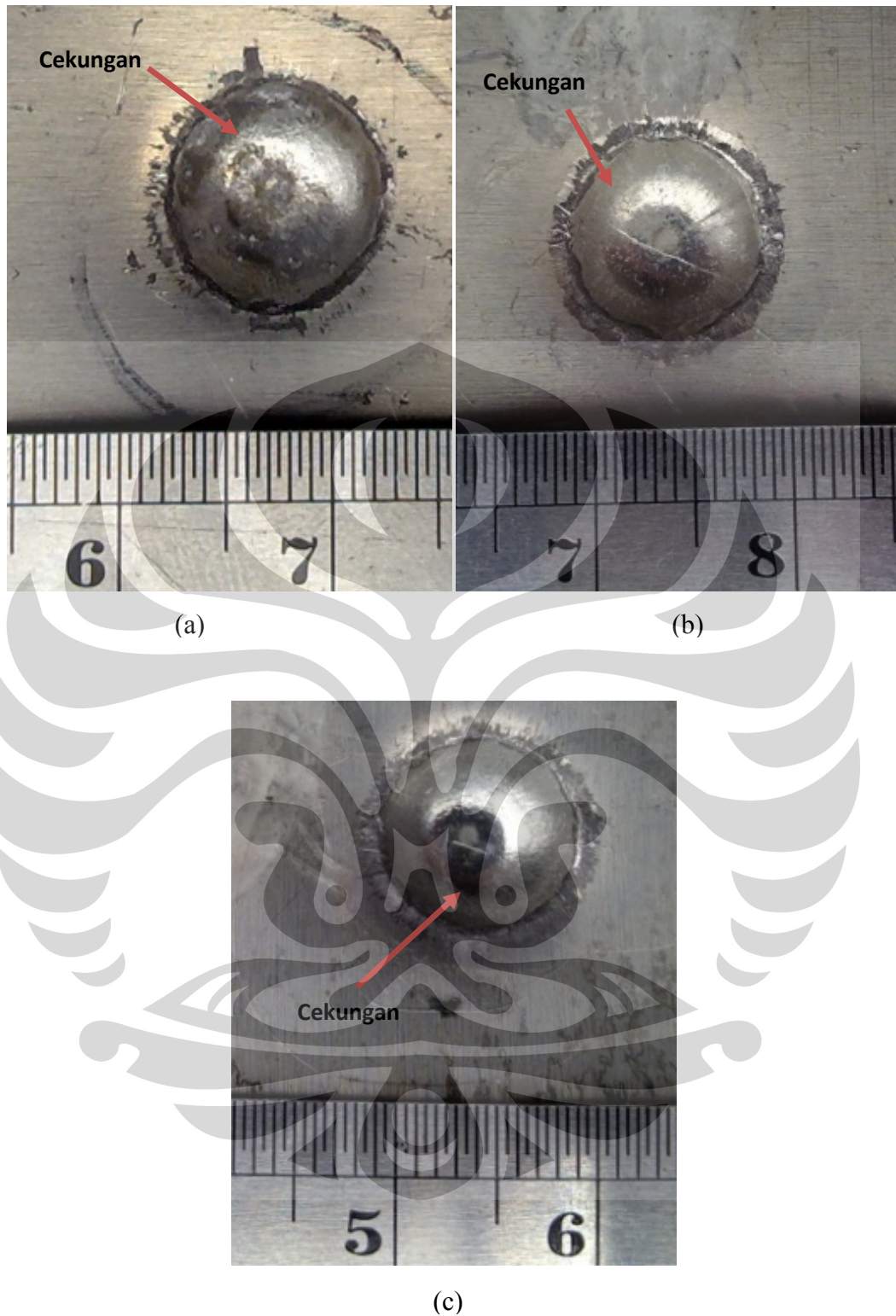
Hal yang sama juga didapatkan pada perforasi proyektil kaliber 7.62 mm baik pada bagian depan sampel maupun pada bagian belakang. Dari Gambar 4.6 sangat jelas terlihat besarnya diameter perforasi yang diakibatkan proyektil kaliber 7.62 mm mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya fraksi volume kawat. Selanjutnya bentuk-bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm dapat dilihat pada Gambar 4.8 (a), (b), dan (c) untuk bagian depan komposit, kemudian Gambar 4.9 (a), (b), dan (c) untuk bagian belakang. Pada Gambar 4.8 dan 4.9

tersebut dan didukung pada Gambar 4.6 sangat jelas terlihat bahwa diameter perforasi bagian depan lebih kecil daripada bagian belakang. Hal ini disebabkan kecepatan peluru yang mengenai bagian depan peluru lebih besar daripada kecepatan yang mengenai bagian belakang. Sehingga pendistribusian tegangan pada bagian belakang sampel komposit lebih besar daripada bagian depan. Akibatnya kerusakan yang terjadi di bagian belakang sampel lebih besar daripada bagian depan. Kemudian pada Gambar 4.8 (a) dan 4.9 (a) terlihat adanya perpatahan serat (kawat) akibat adanya gesekan antara proyektil dengan serat. Akan tetapi perpatahan serat tidak dapat diamati pada gambar lain.

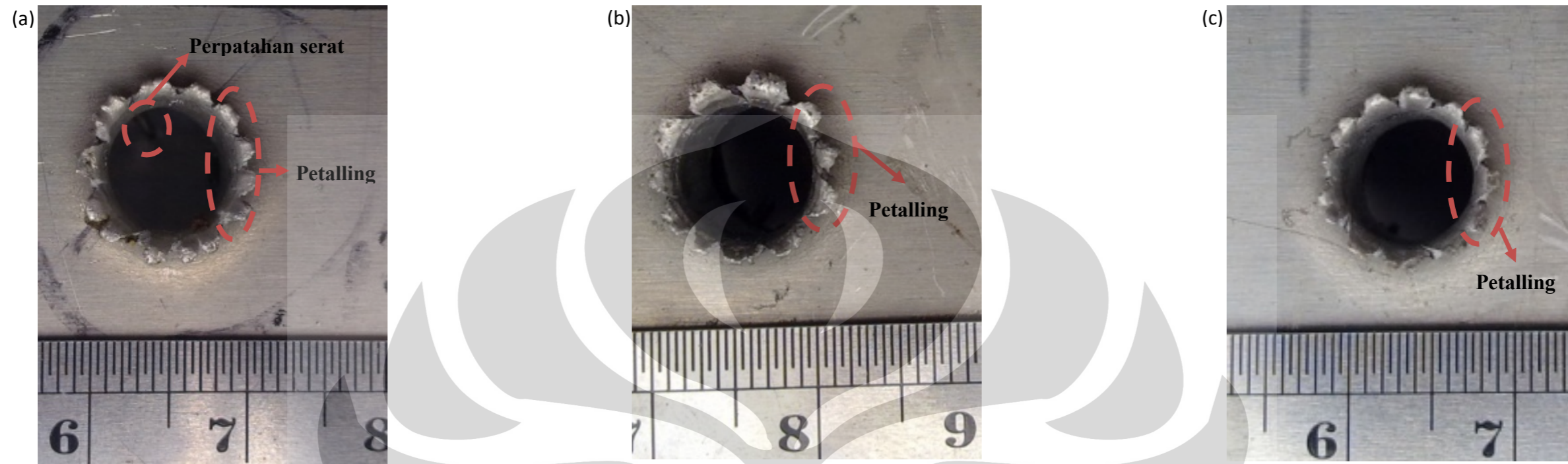
Selain itu, pada bagian depan sampel komposit terlihat adanya bentuk seperti kelopak bunga di bagian pinggir daerah perforasi yang disebut dengan istilah *petalling*. *Petalling* merupakan salah satu bentuk deformasi pada logam di mana proyektil yang digunakan memiliki bentuk *ogive*. Selain itu, *petalling* dapat terjadi apabila tegangan tekan (*compressive stress*) dari proyektil lebih besar daripada kekuatan tarik (*tensile strength*) yang dimiliki material komposit^[30]. Adanya *petalling* tersebut menandakan bahwa sampel komposit tidak cukup keras untuk menahan proyektil sehingga terjadi deformasi ulet (*ductile deformation*) yang membentuk *petalling* ke arah berlawanan dari masuknya proyektil. Dengan demikian, komposit tahan peluru ini tidak memiliki ketahanan yang baik saat terkena impact dari proyektil kaliber 7.62 mm (Tipe III Standar NIJ 0108.01).



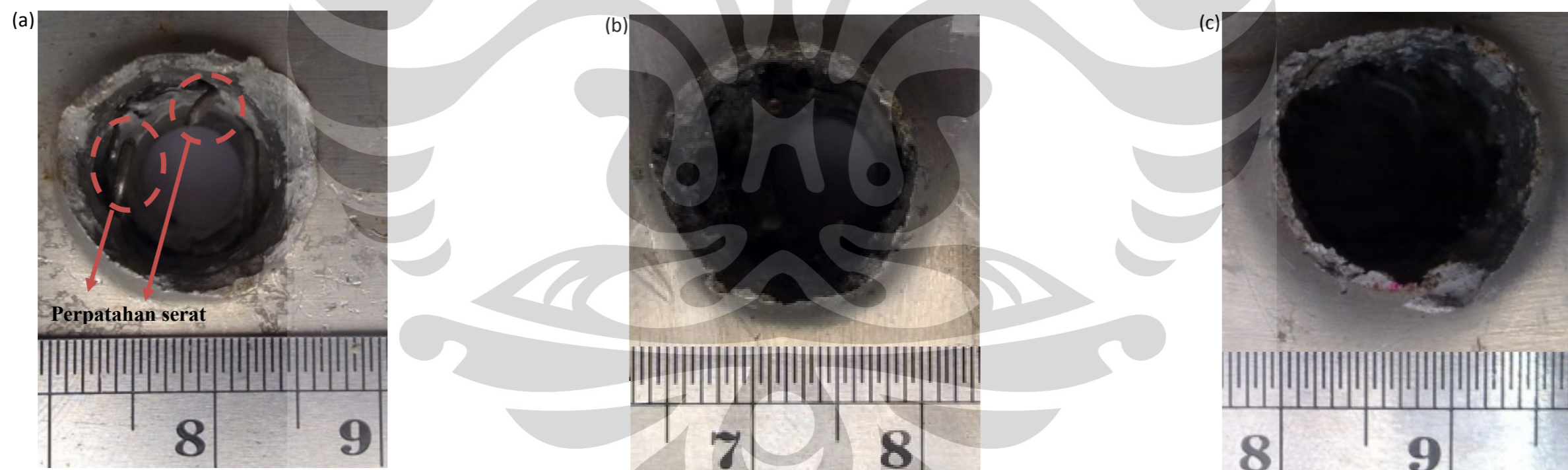
Gambar 4.6. Pengaruh fraksi volume kawat terhadap diameter perforasi proyektil 7.62 mm.



Gambar 4.7. Bentuk perforasi proyektil kaliber 9 mm pada sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat (a) 2.5 %, (b) 5 %, (c) dan 7.5 %.



Gambar 4.8. Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian depan sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat (a) 2.5 %, (b) 5 %, dan (c) 7.5 %.



Gambar 4.9. Bentuk perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada bagian belakang sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat (a) 2.5 %, (b) 5 %, dan (c) 7.5 %.

4.4.2. Karakteristik Perforasi Secara Makro

Pengamatan secara makro dilakukan dengan memotong melintang daerah perforasi pada sampel komposit tahan peluru. Potongan melintang daerah perforasi dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan 4.11. Setelah dipotong melintang, terlihat bagian-bagian komposit yaitu pelat bagian depan, kawat, adhesif, dan pelat bagian belakang. Selain itu, juga terlihat adanya lintasan proyektil.

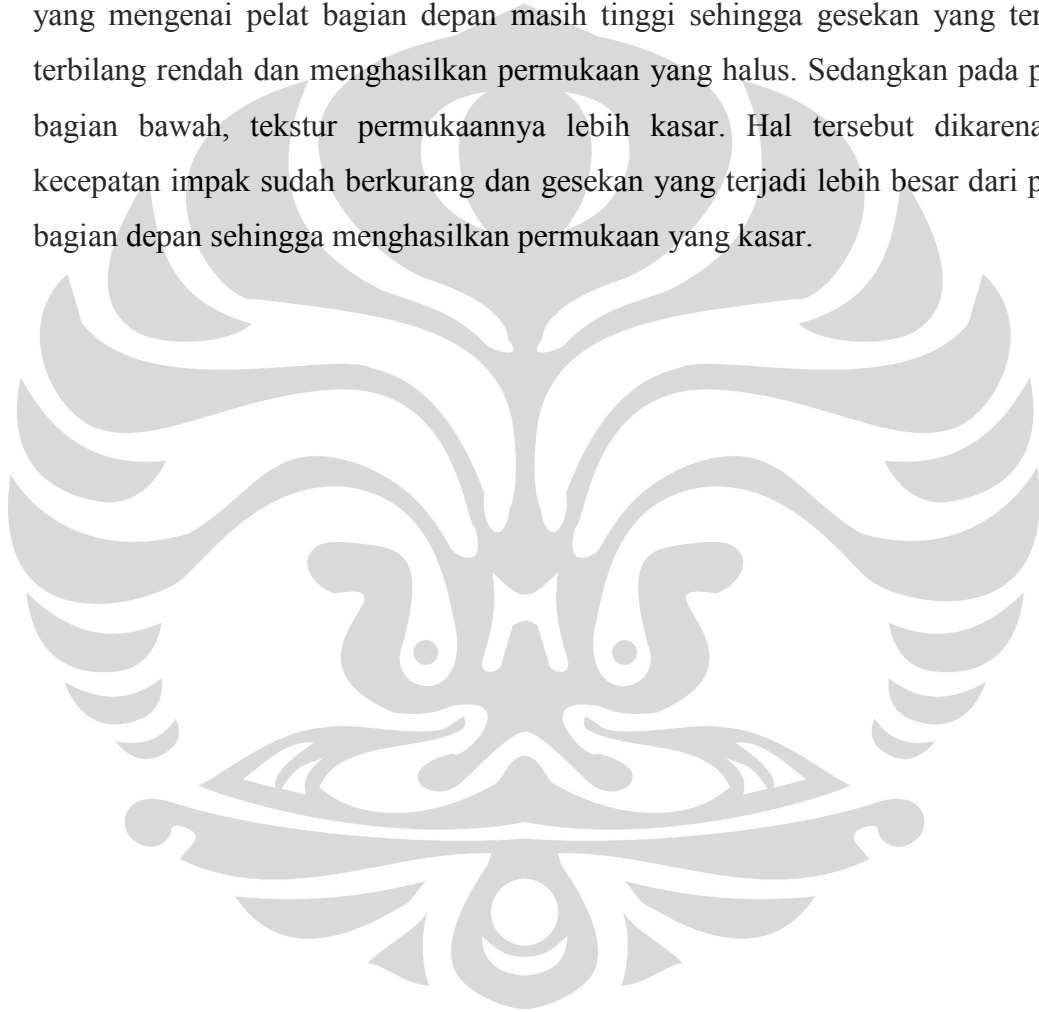
Karakteristik perforasi pada sampel yang terkena proyektil kaliber 9 mm dapat dilihat pada Gambar 4.10 (a), (b), dan (c). Pada ketiga gambar tersebut dapat diamati dengan jelas bahwa pada bagian pelat depan terjadi penurunan permukaan. Penurunan permukaan meliputi daerah yang terkena dampak proyektil maupun daerah di sekitarnya. Sedangkan pada bagian pelat belakang tidak terjadi penurunan. Hal tersebut dikarenakan kecepatan peluru yang digunakan untuk kaliber 9 mm (tipe II standar NIJ) termasuk kecepatan rendah yaitu 380 ± 15 m/s. Dengan kecepatan dampak yang rendah, energi kinetik proyektil dapat diteruskan dan mempengaruhi keseluruhan pelat karena beban dampak memiliki waktu yang cukup untuk mentransmisikan energi dampak dari daerah kontak ke seluruh bagian pelat.

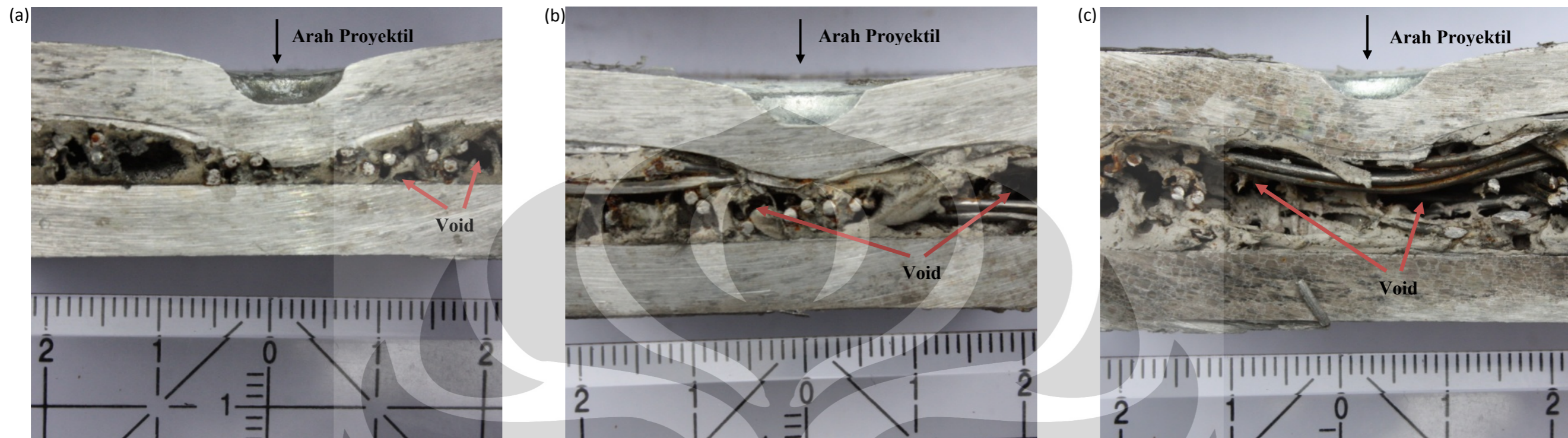
Sedangkan karakteristik perforasi pada sampel yang terkena proyektil kaliber 7.62 mm dapat dilihat pada Gambar 4.11 (a), (b), dan (c). Bentuk kerusakan dari proyektil kaliber 7.62 mm berbeda dengan kaliber 9 mm, yaitu terjadi *full penetration* pada sampel yang terkena dampak proyektil kaliber 7.62 mm. Pada ketiga gambar tersebut dapat diamati bahwa pada pelat bagian depan tidak terjadi penurunan permukaan, tetapi yang terjadi adalah kerusakan atau penetrasi yang terlokalisasi akibat kecepatan proyektil yang termasuk tinggi yaitu 837 ± 15 m/s. Proyektil dengan kecepatan tinggi tidak dapat meneruskan energi kinetiknya ke seluruh bagian pelat sehingga memicu kerusakan terlokalisasi. Selain itu, pada bagian pinggir daerah perforasi terdapat *petalling* yang telah dijelaskan pada sub bab 4.4.1.

Sedangkan pada pelat bagian belakang terjadi sedikit penurunan permukaan. Kemudian terjadi pembesaran lubang lintasan proyektil yang menembus sampel komposit, dikenal dengan istilah *bulging*. Hal ini disebabkan kecepatan peluru sudah berkurang setelah bergesekan dengan pelat bagian depan.

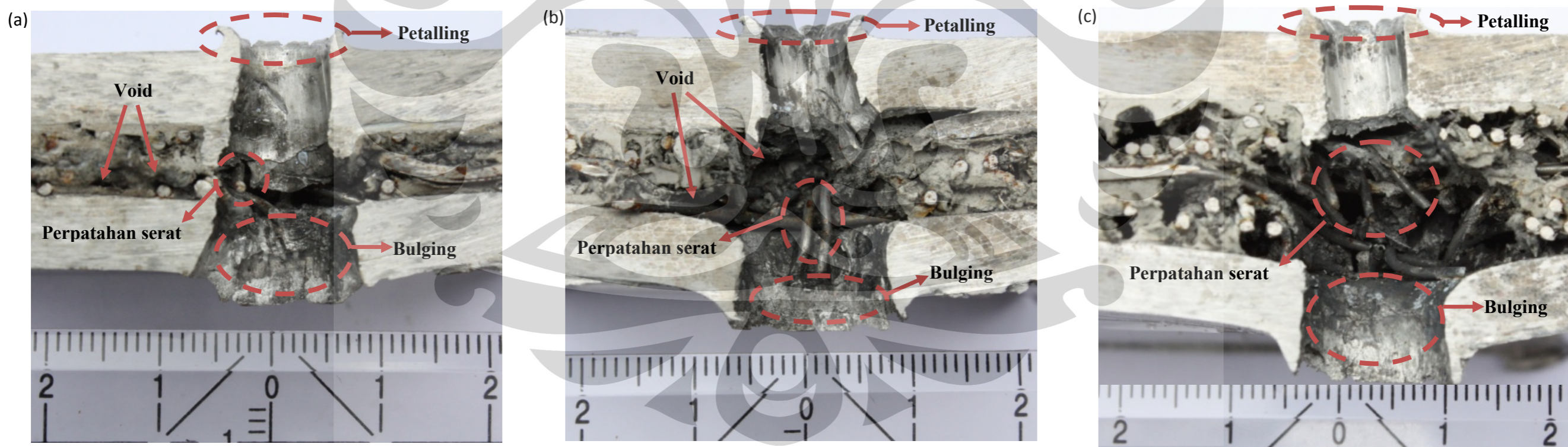
Sehingga memiliki waktu yang cukup untuk mentransmisikan energi kinetiknya dan gesekan antara proyektil dengan material mengalami peningkatan^[31]. Dengan demikian, kerusakan yang terjadi pada pelat bagian belakang lebih besar daripada kerusakan yang terjadi pada pelat bagian depan.

Fenomena lainnya adalah tekstur permukaan lubang lintasan proyektil yang berbeda antara pelat bagian depan dengan pelat bagian belakang. Pada pelat bagian depan, tekstur permukaannya halus. Hal ini disebabkan kecepatan impak yang mengenai pelat bagian depan masih tinggi sehingga gesekan yang terjadi terbilang rendah dan menghasilkan permukaan yang halus. Sedangkan pada pelat bagian bawah, tekstur permukaannya lebih kasar. Hal tersebut dikarenakan kecepatan impak sudah berkurang dan gesekan yang terjadi lebih besar dari pelat bagian depan sehingga menghasilkan permukaan yang kasar.





Gambar 4.10. Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 9 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat (a) 2.5 %, (b) 5 %, dan (c) 7.5 %.



Gambar 4.11. Penampang melintang pada bagian perforasi proyektil kaliber 7.62 mm dari sampel komposit tahan peluru dengan fraksi volume kawat (a) 2.5 %, (b) 5 %, dan (c) 7.5 %.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Cetakan yang dibuat dapat meluruskan kawat hingga 94 %.
2. Penambahan fraksi volume kawat dapat meningkatkan ketahanan material dalam menahan beban impact. Harga impact yang diperoleh yaitu 0.577 J/mm², 0.583 J/mm², dan 0.633 J/mm² masing-masing untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %.
3. Berdasarkan perhitungan mikromekanik, modulus elastisitas komposit yang didapatkan sebesar 25.04 GPa, 26.83 GPa, dan 28.62 GPa masing-masing untuk fraksi volume kawat 2.5 %, 5 %, dan 7.5 %.
4. Komposit tahan peluru memiliki ketahanan yang baik saat terkena impact dari proyektil kaliber 9 mm (Tipe II Standar NIJ 0108.01). Namun, tidak memiliki ketahanan yang baik saat terkena impact dari proyektil kaliber 7.62 mm (Tipe III Standar NIJ 0108.01).
5. Bentuk kerusakan pada sampel yang terkena beban impact balistik kaliber 9 mm hanyalah berupa cekungan atau penurunan permukaan pada pelat bagian depan saja serta sama sekali tidak tertembus oleh proyektil. Sedangkan, bentuk kerusakan akibat impact proyektil kaliber 7.62 mm kecepatan tinggi berupa kerusakan terlokalisasi yang menyebabkan tertembusnya komposit tahan peluru serta menimbulkan *petalling* pada pelat bagian depan dan terjadi *bulging* pada pelat bagian belakang.
6. Ikatan adhesif yang terjadi antara adhesif dengan pelat AA 6061 dengan kawat baja karbon tinggi belumlah maksimal. Hal ini disebabkan banyaknya void yang terjadi, serta proses *curing* adhesif pada sampel uji balistik belum sempurna.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Karamis, M.B., Tas, Demirci A., & Nair, F. (2003). Failure and tribological behavior of the AA 5083 and AA 6063 composites reinforced by SiC particles under ballistic impact. *Journal Composites : Application Science of Manufacture*, 34 (3), 217–226.
- [2] Rosenberg, Z., & Dekel, E. (1999). On the role of nose projectile in long-rod penetration. *Journal of Impact Engineering*, 22, 551–557.
- [3] http://id.wikipedia.org/wiki/Kendaraan_tempur_lapis_baja
Diakses pada tanggal 25 April 2010.
- [4] <http://indoforce.tripod.com>
Diakses pada tanggal 25 April 2010.
- [5] <http://palagan.blogspot.com/2007/05/pt44-maesa-high-mobility-truck.html>
Diakses pada tanggal 25 April 2010.
- [6] Surappa, M.K., & Sivakumar, P. (1993). Fracture-toughness evaluation of 2040-Al/Al₂O₃ particulate composites by instrumented impact. *Journal of Composites Science of Technology*, 46 (3), 287–292.
- [7] <http://www.keytometals.com/Articles/Art52.htm>
Diakses pada tanggal 25 April 2010.
- [8] Mazumdar, K. Sanjay. (2002). *Composite Manufacturing : Material, Products and Process Engineering*. CLC Press.
- [9] Tim Penyusun Kamus Pusat Bahasa. (2008). *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta : Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional.
- [10] Lerner, K. Lee dan Lerner, Brenda Wilmoth. (2004). *Gale Encyclopedia of Science* (3rd ed). Canada : Thomson Learning, Inc.
- [11] Chia Chang Lin, Chao-Chiung Huang, et al. (2008). Ballistic-resistant stainless steel mesh compound nonwoven fabric. *Fibers and Polymers*, 9 (6), 761-767.
- [12] Y. Duana, M. Keefe, T.A. Bogetti, B.A. Cheeseman. (2005). Modeling friction effects on the ballistic impact behavior of a single-ply high-strength fabric. *International Journal of Impact Engineering*, 31, 996–1012.
- [13] Myungsoo Park, Jeonghoon Yoo, Dong-Teak Chung. (2005). An optimization of a multi-layered plate under ballistic impact. *International Journal of Solids and Structures*, 42, 123–137.
- [14] NIJ Standard 0108.01 : *Ballistic Resistant Protective Material*. (1985). U.S. Department of Justice.
- [15] Kaufman, J. Gilbert. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. USA : ASM International.
- [16] Askeland, Donald R., & Phule, Pradep P. (2006). *The Science and Engineering of Materials*. USA : Thomson Canada Limited.
- [17] Ubeyli, Mustafa, Yildirim, R. Orhan, & Ogel, Bilgehan. (2008). Investigation on the ballistic behavior of Al₂O₃/Al 2024 laminated composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 196, 356-364.
- [18] Ubeyli, M., Yildirim, R. Orhan, & Demir, T. (2008). Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys. *Materials and Design*, 29, 2009-2016.

- [19] Ozsahin, Evren, & Tolun, Suleyman. (2010). On the comparison of the ballistic response of coated aluminium plates. *Materials & Design*.
- [20] ASTM A 1023 : *Standard Specification for Stranded Carbon Steel Wire Ropes for General Purposes*. (2002). USA : ASTM International.
- [21] Steel Wire Rope. www.emcocables.com/catalogs/cables.pdf.
Diakses pada tanggal 15 Oktober 2010.
- [22] JIS G 3525 : *Wire ropes*. (1998).
- [23] Gierenz, Gerhard, & Karmann, Werner. (2001). *Adhesives and Adhesive Tapes*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [24] Gerd Habenicht. (2009). *Applied Adhesive Bonding : A Practical Guide for Flawless Results*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [25] Technical Data Sheet. Seal N Flex 1 : Polyurethane construction joint sealant. Australia : Bostik.
- [26] Petrie, Edward M. (2000). *Handbook of Adhesives and Sealants*. McGraw-Hill, Inc.
- [27] Urethane Adhesive. (2010). <http://www.adhesives.org/AdhesivesSealants/AdhesiveTechnologies/ChemicallyCuring/UrethaneAdhesives.aspxContact>. Diakses pada tanggal 20 November 2010.
- [28] Gibson, Ronald F. (1994). *Principles of Composite Material Mechanics*. Singapura : McGraw-Hill, Inc.
- [29] Jones, R. (1999). *Mechanics of Composite Materials 2nd Edition*. USA : Taylor & Francis Press.
- [30] Ubeyli, Mustafa, Yildirim, R. Orhan, & Ogel, Bilgehan. (2007). On the comparison of ballistic performance of steel laminated composite armors. *Materials and Design*, 28, 1257-1262.
- [31] Karamis, M.B., Nair, F., & Cerit, A.A. (2009). The metallurgical behaviours of laminar metal matrix composites after ballistic impact. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 4880-4889.

Lampiran 1. Perhitungan Harga Impak dan Diameter Perforasi

Tabel 1. Perhitungan harga impak.

Fraksi Volume Kawat	Nomor Sampel	Dimensi (mm)		Energi Diserap (Joule)	Harga Impak (J/mm ²)	Harga Impak Rerata (J/mm ²)
		Lebar	Tebal			
2.5 %	1	13.5	12	104	0.642	0.577
	2	13	12	90	0.577	
	3	15	13	100	0.513	
5 %	1	12.5	13	90	0.554	0.583
	2	10	13	99	0.762	
	3	13.5	14	82	0.434	
7.5 %	1	13.5	13	110	0.627	0.633
	2	12	13	108	0.692	
	3	15	14	122	0.581	

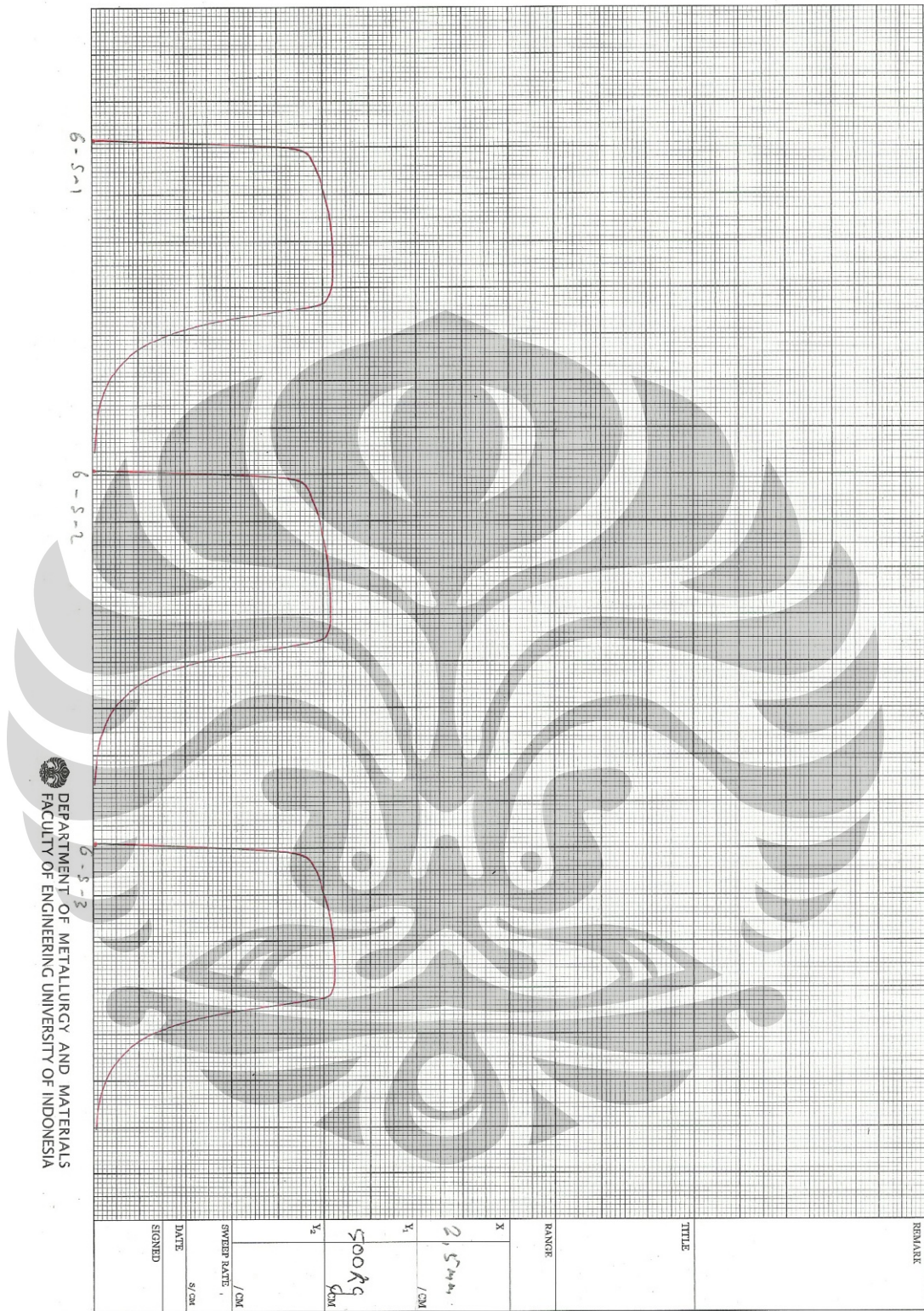
Tabel 2. Perhitungan diameter perforasi proyektil kaliber 9 mm pada sampel komposit.

Fraksi Volume Kawat	Kaliber Peluru	Diameter (mm)	Rerata (mm)
2.5 %	9 mm	11.80	11.80
		11.80	
5 %	9 mm	11.60	11.50
		11.40	
7.5 %	9 mm	10.76	10.39
		10.02	

Tabel 3. Perhitungan diameter perforasi proyektil kaliber 7.62 mm pada sampel komposit.

Fraksi Volume Kawat	Kaliber Peluru	Diameter Depan (mm)	Rerata (mm)	Diameter Belakang (mm)	Rerata (mm)
2.5 %	7.62 mm	8.46	8.46	15.02	14.67
		8.46		14.32	
5 %	7.62 mm	8.42	8.43	14.82	14.06
		8.44		13.30	
7.5 %	7.62 mm	7.90	7.88	14.02	13.56
		7.86		13.10	

Lampiran 2. Hasil Uji Tarik AA 6061 T-651



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA

Lampiran 3. Hasil Uji Tarik Adhesif Polyurethane



A trademark of AMETEK, Inc.

Plastics Tensile Setup, Full Report

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

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

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

Date	Time	User	Sample	Batch Reference	Sample Reference
12/10/2010	10:49:13 AM	RS	Polyurethane		No. 1

Gauge Length	Width	Thickness	Area
25.000 mm	6.3000 mm	5.0000 mm	31.500 mm ²

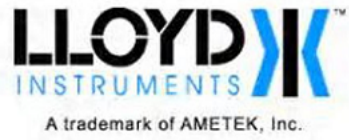
	Stiffness	Young's Modulus	Load at Maximum	Extension at Maximum	Tensile Strength
Mean	352.72 N/m	0.27994 MPa	21.656 N	222.26 mm	0.68749 MPa
Deviation	0.00000 N/m	0.00000 MPa	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 MPa
Coefficient of Variation	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

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

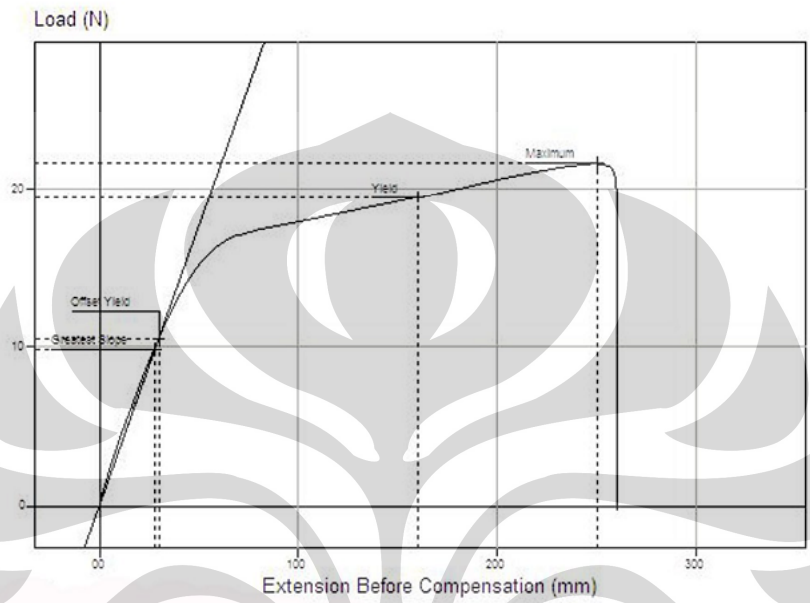
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	19.496 N	132.76 mm			10.560 N	2.1943 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm			0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient	0.00%	0.00%			0.00%	0.00%

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)



of Variation





Plastics Tensile Setup, Full Report

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

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

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

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

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

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

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

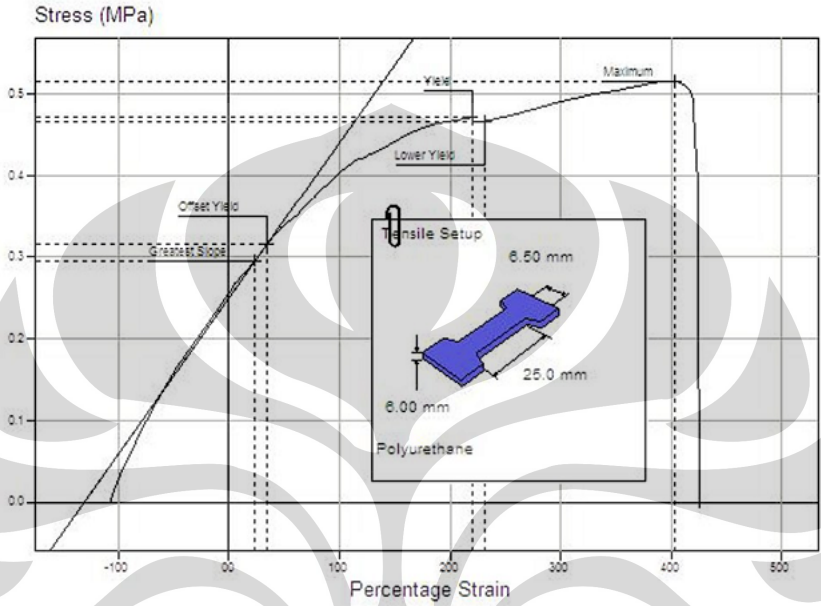
	Load at Yield	Extension at Yield	Load at Lower Yield	Extension at Lower Yield	Load at Offset Yield	Extension at Offset Yield
Mean	18.408 N	54.844 mm	18.234 N	57.919 mm	12.330 N	8.6548 mm
Deviation	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm	0.00000 N	0.00000 mm
Coefficient	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%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

This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)



of Variation





Plastics Tensile Setup, Full Report

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

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

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

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

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

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

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

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

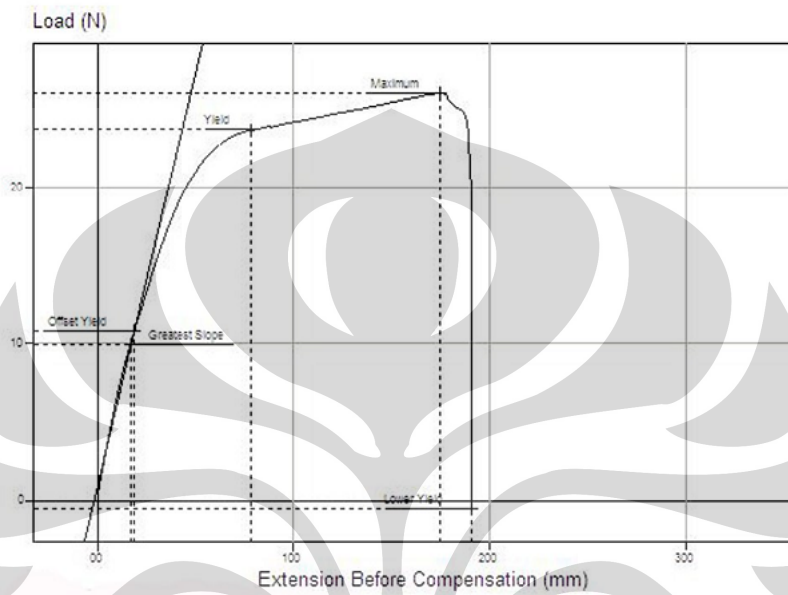
This report was produced using NEXYGEN from Lloyd Instruments Ltd

(Lanjutan)

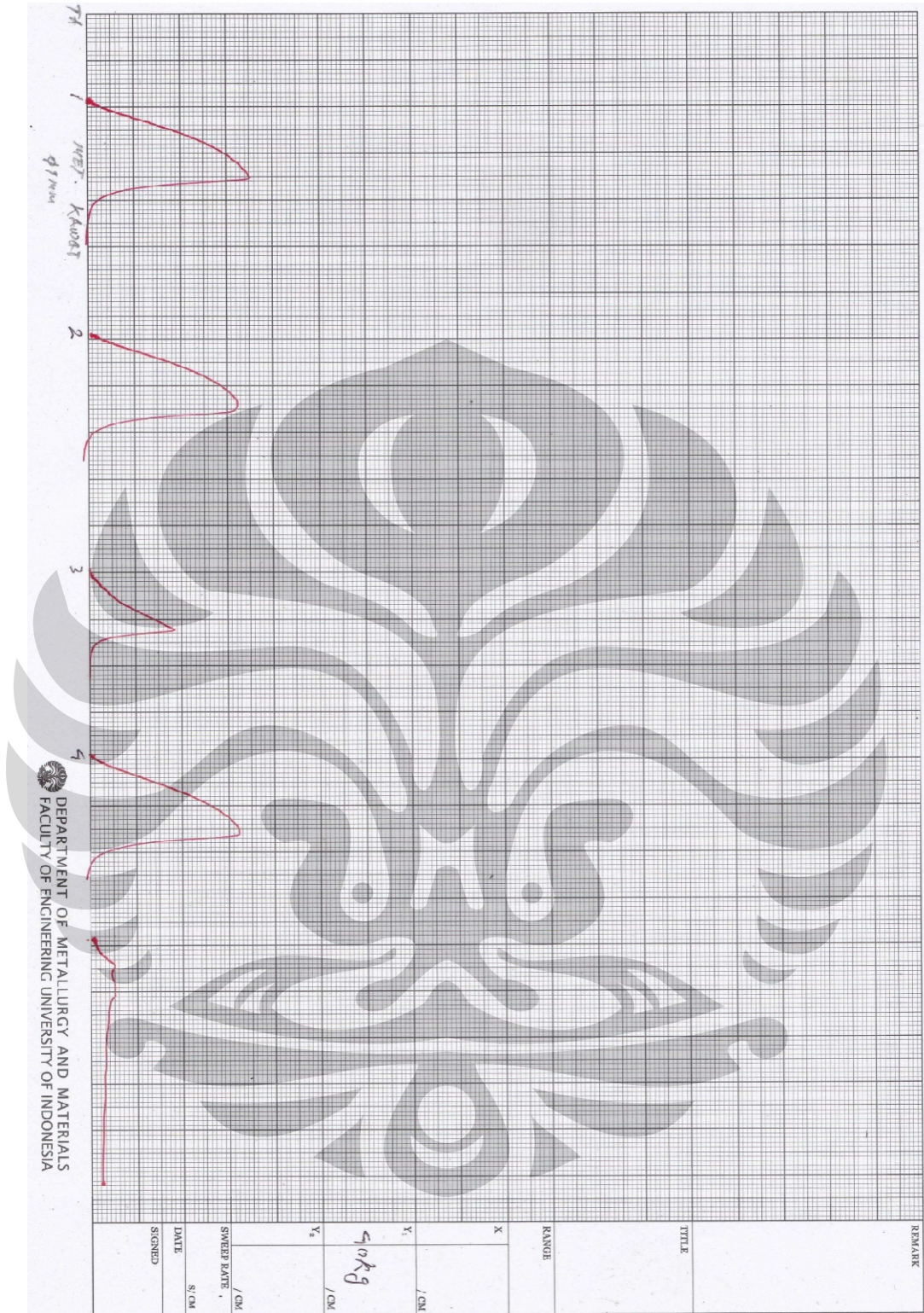


A trademark of AMETEK, Inc.

of Variation



Lampiran 4. Hasil Uji Tarik Kawat Baja Karbon Tinggi





Aluminum 6061-T6; 6061-T651

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

Close Analogs:

Composition Notes:

Aluminum content reported is calculated as remainder.

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

Key Words: al6061, UNS A96061; ISO AlMg1SiCu; Aluminium 6061-T6, AD-33 (Russia); AA6061-T6; 6061T6, UNS A96061; ISO AlMg1SiCu; Aluminium 6061-T651, AD-33 (Russia); AA6061-T651

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

Material Notes:

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

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

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

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

Mechanical Properties

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

Modulus of Elasticity	68.9 GPa	10000 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Notched Tensile Strength	324 MPa	47000 psi	2.5 cm width x 0.16 cm thick side-notched specimen, $K_t = 17$.
Ultimate Bearing Strength	607 MPa	88000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
Bearing Yield Strength	386 MPa	56000 psi	Edge distance/pin diameter = 2.0
Poisson's Ratio	0.33	0.33	Estimated from trends in similar Al alloys.
Fatigue Strength	96.5 MPa	14000 psi	AA; 500,000,000 cycles completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Fracture Toughness	29 MPa-m ^{1/2}	26.4 ksi-in ^{1/2}	K_{Ic} ; TL orientation.
Machinability	50 %	50 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	26 GPa	3770 ksi	Estimated from similar Al alloys.
Shear Strength	207 MPa	30000 psi	AA; Typical

Electrical Properties

Electrical Resistivity	3.99e-006 ohm-cm	3.99e-006 ohm-cm	AA; Typical at 68°F
------------------------	------------------	------------------	---------------------

Thermal Properties

CTE, linear 68°F	23.6 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$	13.1 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$	AA; Typical; Average over 68-212°F range.
CTE, linear 250°C	25.2 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$	14 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$	Estimated from trends in similar Al alloys. 20-300°C.
Specific Heat Capacity	0.896 J/g $\cdot^\circ\text{C}$	0.214 BTU/lb $\cdot^\circ\text{F}$	
Thermal Conductivity	167 W/m-K	1160 BTU-in/hr-ft ² $\cdot^\circ\text{F}$	AA; Typical at 77°F
Melting Point	582 - 652 °C	1080 - 1205 °F	AA; Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater; Eutectic melting can be completely eliminated by homogenization.
Solidus	582 °C	1080 °F	AA; Typical
Liquidus	652 °C	1205 °F	AA; Typical

Processing Properties

Solution Temperature	529 °C	985 °F	
Aging Temperature	160 °C	320 °F	Rolled or drawn products; hold at temperature for 18 hr
Aging Temperature	177 °C	350 °F	Extrusions or forgings; hold at temperature for 8 hr

References for this datasheet.

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

Lampiran 6. Sertifikat *Steel Wire Rope* (Diameter Kawat 1 mm)

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



Certificate for Steel Wire Rope

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

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

Particulars

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

Tests

Samples have been tested in the following manner:

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

Identification Marks

Type	Diameter	Length	(Initials)
-	-	-	-

PT. INDOSPlice RIGGING & LIFTING SPECIALIST Jl. Ciputat Raya No. 15 Pondok Pinang Jakarta 12310 Telp. 021- 751 7878, Fax. 021- 751 7887	Authorized by: Date of issued : 31 Mar 2010
TRUE COPY CERTIFICATE	
CUSTOMER NAME : <u>FAK TEKNIK UJ</u> PO NO. : <u>DEPT. METALURGI & KIRI</u> LENGTH : <u>20 m + 10 m</u>	

Initials APT
 Anek Pongtongcharoen
 Surveyor to Lloyd's Register Asia
 A member of the Lloyd's Register Group

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



technical data sheet

SEAL N FLEX 1

Polyurethane Construction Joint Sealant

PRODUCT DESCRIPTION

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

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

RECOMMENDED USES

Sealing joints in:

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

FEATURES & BENEFITS

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

APPROVALS AND STANDARDS

- CSIRO RILEM LONG - TERM SEALANT DURABILITY STUDY DBCE Doc. 97/196 (M)
- ISO 11600-Class F-25LM
- DIN 18540 (German) and SNJF (French) approval as a low modulus external joint sealant
- ASTM C.920-87 & 98 (USA) as Type S, Grade NS, Class 25, use NT, G, A, M, & O as an external joint sealant.
- AS4020 Potable water
- 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	>900%
Application Temperature	5°C to 35°C
In Service Temperature range	-40°C to +70°C
Full cure	7 days on porous substrates

PACKAGING

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

COVERAGE

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

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

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

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

APPLICATION INSTRUCTIONS

Preparation:

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

PRIMING

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

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

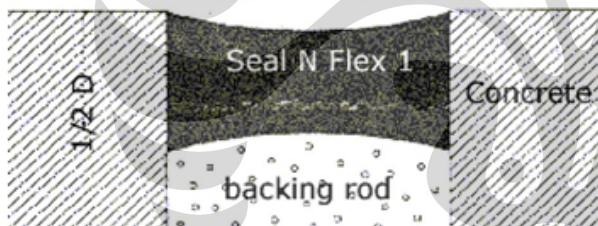
APPLICATION

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

JOINT SEALING HINTS

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

W = between 12 to 50 mm



PRECAUTIONS

Seal N Flex 1 should:

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

PAINTABILITY

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

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

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

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

HEALTH AND SAFETY

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

CLEAN-UP

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

STORAGE

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

Packaging

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

(Lanjutan)

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

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



Quality
ISO 9001



FOR FURTHER INFORMATION

HEAD OFFICE

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

SYDNEY

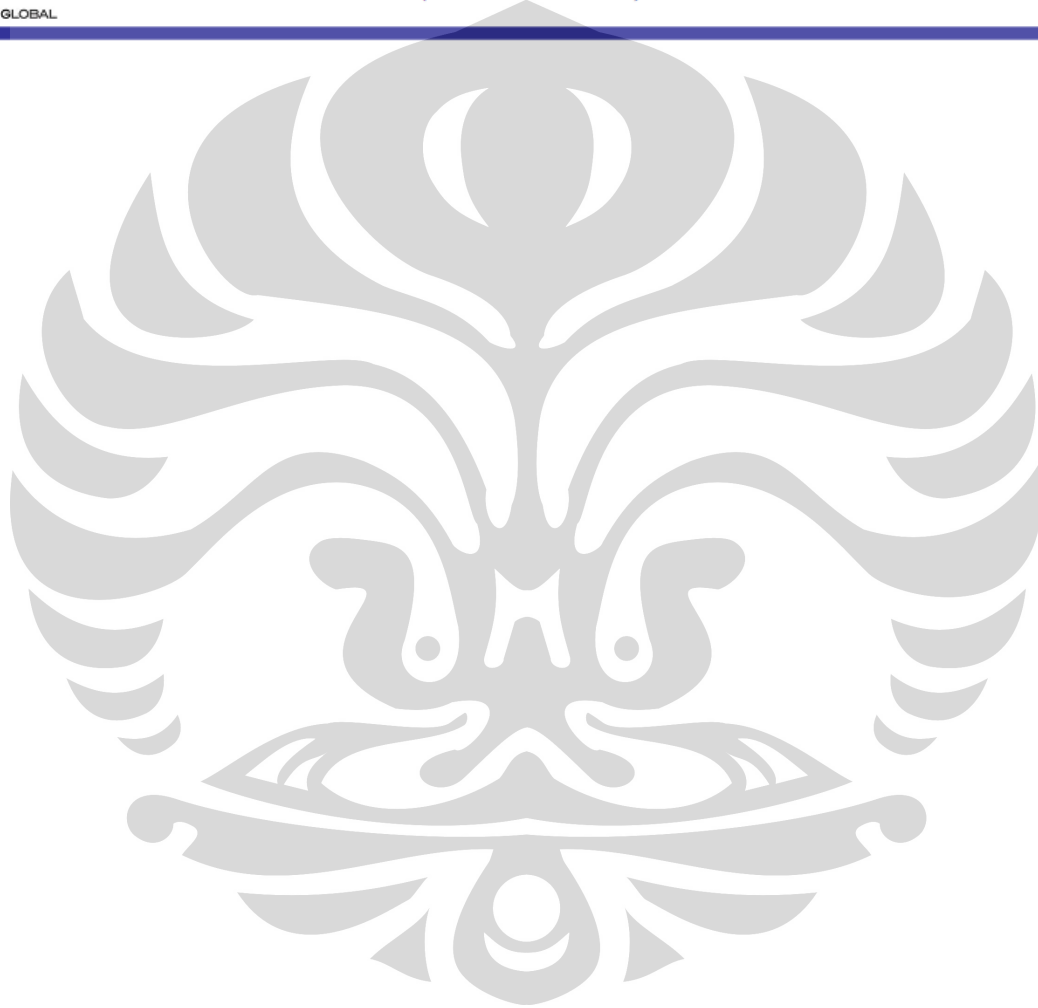
Phone: 02 8825 3488
Fax: 02 8825 3411
www.bostik.com.au

PERTH

Phone: 08 9258 6218
Fax: 08 9258 7687

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

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



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

AVERAGE: 6061
12.10.2010 10:48:08

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

