



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI**

Jl. Raya Jendral Sudirman Pintu I Senayan, Jakarta 10270

Telp. 02165946100 (RENTENG)

Nomor : 0284/ES.1/PE/2014  
Lamp. : 1 (satu) berkas  
Hal : Penugasan Hibah Penelitian, Pengabdian Kepada Masyarakat dan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) di Perguruan Tinggi Tahun 2014  
Jakarta, 27 Januari 2014

Kepada Yth : Sdr. Pemimpin Perguruan Tinggi Negeri dan Swasta  
Seluruh Indonesia  
(Daftar terlampir)

Memperhatikan surat Keputusan Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Ditjen Pendidikan Tinggi No. 0263/ES/2014 tanggal 24 Januari 2014 tentang Penugasan Penerima Hibah Penelitian, Pengabdian Kepada Masyarakat dan Program Kreativitas Mahasiswa Tahun 2014, bersama ini dengan hormat kami sampaikan daftar per PT, per skema dan per judul kegiatan sesuai hasil pembahasan dan kelayakan proposal baik untuk uulan baru maupun lanjutan untuk dijadikan dasar pelaksanaan kegiatan selanjutnya di masing-masing perguruan tinggi (daftar terlampir).

Selubungan dengan hal tersebut, kami mohon bantuan Saudara untuk menyampaikan kepada masing-masing penerima hibah Penelitian, Pengabdian Kepada Masyarakat dan Program Kreativitas Mahasiswa Tahun 2014 baik dosen maupun mahasiswa di lingkungan perguruan tinggi Saudara.

Hal-hal lain yang menyangkut mekanisme pelaksanaan akan disampaikan melalui website dikti.go.id atau laman SIMUTABMAS.

Demikian kami sampaikan atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terimakasih.

Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat,

td

Agus Subekti  
NIP. 196008011984031002

Tembusan Yth.:

- Dirjen Dikti (sebagai laporan)
- Koordinator/Septel Kopertis I-XII
- Wakil/Pembantu Rektor Bidang Kemahasiswaan PTN
- Ketua IP/UPM/UPPM PTN

NO	NAMA KETUA PELAKSANA	PERGURUAN TINGGI	JUDUL	SKEMA
1210	HANNI RUIHARJ	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	RESTRUKTURISASI KOTA KOTA KEPENGHUBUNGAN PANGKALAN BANGKALAN DAN BONTOL	Franchise Pusat Belajar
1211	00000421			
	Status akademik: Baru			
1214	AFRIYATI ROYHADI	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	KONTRIBUSI PEMERINTAH DALAM MELAKSANAKAN DALAM MENINGKATKAN KUALITAS DAN KEMAMPUAN KAPITAL MANUSIA Serta Kerja Pada Lingkungan Masyarakat & Program & Indonesia, Bali, Lombok	Franchise Pusat Belajar
1215	EDEN KURNIA	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	Penerapan Sistem Manajemen Program Kerja Omnibus Dalam Usaha Pengembangan Tinggi Dan Rendah Sangat	Franchise Mikro Berprestasi
1216	00007601			
	Status akademik: Lanjut			
1218	VYVEXY ROYALD BEPI	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	Penerapan Dan Pelaksanaan Dalam Program Pengembangan Mikro Berprestasi Tinggi Dan Rendah Terdapat	Franchise Mikro Berprestasi
1219	00001301			
	Status akademik: Lanjut			
1221	ESTIMANER	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	Penerapan Sistem Kerja Dalam Program Kerja Terdapat Terdapat Dan Ada Dalam Pengembangan Mikro Dalam Usaha Pengembangan Mikro Berprestasi Indonesia Masyarakat	Franchise Mikro Berprestasi
1222	01120401			
	Status akademik: Baru			
1223	FARIZAH	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	Penerapan Program Kerja Dalam Usaha Pengembangan Mikro Berprestasi	Franchise Mikro Berprestasi
1224	00040701			
	Status akademik: Lanjut			
1225	Dr. T R MASHA DARAF MELI	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	RESTRUKTURISASI DAN PENGEMBANGAN KEMAMPUAN KAPITAL MANUSIA PENERAPAN KEMAMPUAN KAPITAL DI DALAM DITAHAP DAN AKHIR	Franchise Kompetensi
1226	01210401			
	Status akademik: Baru			
1227	NOVIN SARIDANWIN	Kode: 01010 UNIVERSITAS NAGELAND	Kebijakan Strategi Dalam Usaha Pengembangan Pengembangan Mikro Berprestasi & Program Pengembangan Mikro	Franchise Pengembangan Program Tinggi
1228	00100401			
	Status akademik: Baru			
1231	Dr. D. DWI RAHMALINA MET	Kode: 01010 UNIVERSITAS PANGCAELA	Pengembangan Program Kerja Dalam Usaha Pengembangan Mikro Berprestasi	Franchise Pengembangan Program Tinggi
1232	00000401			
	Status akademik: Lanjut			
1233	ENDI RAHMALIA	Kode: 01010 UNIVERSITAS PANGCAELA	POLA SPASIAL LINGKAR BINTANG KOTA CERDAS BERKUALITAS BERKUALITAS KREATIF	Franchise Pengembangan Program Tinggi
1234	00000701			
	Status akademik: Baru			
1235	ADNAN HAMED	Kode: 01010 UNIVERSITAS PANGCAELA	MODEL PEMBELAJARAN MATA KULIAH PENGEMBANGAN KEMAMPUAN KAPITAL PANGCAELA DAN BERKUALITAS BERKUALITAS PANGCAELA DAN BERKUALITAS BERKUALITAS	Franchise Pusat Belajar
1236	00000401			
	Status akademik: Baru			



# UNIVERSITAS PANCASILA

## LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Kampus : Brengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta 12640

Telp. (021) 78860305, 7874344, 7884721, 98880038, Fax. (021) 7271868

www.univpancasila.ac.id, email : humas@univpancasila.ac.id

Yayasan: 727.2019, FE: 727.1830, FF: 786.4727, FH: 727.2443, FT: 786.4730, DBL: 786.4730,

Fak Psikologi: 787.1325, F.Kom: 787.0451, Fak Pariwisata: 988.84038, MM: 3143966, Maxi : 727.0086,

MH: 301.9013, MTM: 319.26847, MIF: 786.4727, Program Doktor Ilmu Ekonomi: 390.4271

**SURAT PENUGASAN  
DALAM RANGKA PELAKSANAAN PROGRAM PENELITIAN  
TAHUN ANGGARAN 2014  
Nomor : 040/LPPM/UP/VIII/2014**

Pada hari ini Senin tanggal Dua belas bulan Mei tahun Dua ribu empat belas, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1. Dra.Hj.Dewi Trirahayu,MM : Kepala LPPM Universitas Pancasila, bertindak atas nama Rektor Universitas Pancasila yang selanjutnya dalam Surat Perjanjian ini disebut sebagai **PIHAK PERTAMA**;
2. Dwi Rahmalina : Dosen Universitas Pancasila, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2014 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Perjanjian penugasan ini berdasarkan pada Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian bagi dosen perguruan tinggi Swasta Kopertis Wilayah III Tahun Anggaran 2014, Nomor : 191/K3/KM/2014, tanggal 7 Mei 2014

**PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah MP3EI Tahun 2014 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

**Pasal 1**

1. **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penugasan Penelitian Hibah MP3EI baru tahun 2014 dengan judul 'Pengembangan Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Partikel Alumina Sebagai Material Tahan Peluru'.
2. **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan Administrasi dan keuangan atas pekerjaan sebagai mana dimaksud pada ayat 1 dan berkewajiban menyerahkan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya dalam bendel laporan yang tersusun secara sistematis kepada **PIHAK PERTAMA**.
3. Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah MP3EI Baru tahun 2014 sebagaimana dimaksud judul penelitian di atas didanai dari DIPA Kopertis Wilayah III Jakarta Nomor DIPA 023.04.189705/2014 tanggal 5 Desember 2013

## Pasal 2

- (1) **PIHAK PERTAMA** menyerahkan dana penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 sebesar *Rp. 150.000.000,- (seratus lima puluh juta rupiah)* yang berasal dari DIPA Kopertis Wilayah III Jakarta Nomor DIPA 023.04.189705/2014 tanggal 5 Desember 2013
- (2) Dana Penugasan Pelaksanaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total bantuan dana kegiatan yaitu  $70\% \times \text{Rp. 150.000.000,-} = \text{Rp. 105.000.000,-}$  (*seratus lima juta rupiah*).
  - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar 30% dari total dana yaitu  $30\% \times \text{Rp. 150.000.000,-} = \text{Rp. 45.000.000,-}$  (*empat puluh lima juta rupiah*), dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** menyerahkan *hardcopy* Laporan Kemeajuan Pelaksanaan Penugasan Penciptaan Hibah MP3EI Tahun Anggaran 2014 dan Laporan Penggunaan Anggaran 70% yang telah dilaksanakan kepada **PIHAK PERTAMA** dan mengunggah *soft copy*nya ke SIMLITABMAS paling lambat tanggal 30 Juni 2014.
  - c. **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab mutlak dalam pembelanjaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui dan berkewajiban untuk menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** semua bukti-bukti pengeluaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA**.
  - d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak dibelanjakan ke kepada **PIHAK PERTAMA** untuk diotor ke Kas Negara.

## Pasal 3

Dana Penugasan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat 1 dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** melalui rekening yang diajukan dan atas nama **PIHAK KEDUA**.

## Pasal 4

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menindaklanjuti dan mengupayakan hasil Program Hibah Penelitian berupa hak kekayaan intelektual dan atau publikasi ilmiah sesuai dengan luaran yang dijanjikan pada Proposal.
- (2) Perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA** selambat-lambatnya pada tanggal 30 Juni 2014.

#### Pasal 5

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah laporan kemajuan pelaksanaan kegiatan ke SIM-LITABMAS paling lambat tanggal 30 Juni 2014 sesuai ketentuan pada Buku Panduan Program Hibah Penelitian Tahun 2013.
- (2) **PIHAK PERTAMA** melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Program Hibah Penelitian tahun 2014 sebelum pelaksanaan monitoring dan evaluasi eksternal oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.

#### Pasal 6

Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan Program Hibah Penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi

#### Pasal 7

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Akhir pelaksanaan Penugasan Program Hibah Penelitian Tahun 2014 sesuai ketentuan pada Buku Panduan Program Hibah Penelitian Tahun 2013 dan mengisi Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran 100% pada SIM-LITABMAS paling lambat tanggal 10 November 2014.
- (2) Hard copy Laporan Akhir dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran sebagaimana dimaksud ayat (1) diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA** paling lambat tanggal 10 November 2014.

#### Pasal 8

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 tidak dapat melaksanakan Program Hibah Penelitian Tahun 2014, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

#### Pasal 9

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Hibah Penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya dan atau terlambat mengirim laporan Kemajuan dan atau terlambat mengirim

laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi denda sebesar 1 % (satu persi) setiap hari keterlambatan sampai dengan setinggi-tingginya 5% (lima persen), dihitung dari tanggal jatuh tempo sebagaimana tersebut pada pasal 1 ayat (1), 2 dan ayat (3), yang terdapat dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Program Hibah Penelitian Universitas Pancasila Tahun Anggaran 2014 ;

- (2) Denda sebagaimana dimaksud pada ayat (3) disetorkan ke Kas Negara dan foto copy bukti setor denda yang telah divalidasi oleh KPPN setempat diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA**.

#### **Pasal 10**

- (1) Apabila dikemudian hari judul Penelitian Hibah MP3Ei sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Hibah Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran/itikad kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan Program Hibah Penelitian tersebut dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana Penelitian Hibah MP3Ei Tahun 2014 yang telah diterima kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh kepada **PIHAK PERTAMA**.

#### **Pasal 11**

Hai-hai dan atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan ke kantor pelayanan pajak setempat sebagai berikut:

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
2. Belanja honorarium dikenai PPh Pasal 21 dengan ketentuan:
  - a. 5% bagi yang memiliki NPWP untuk golongan-III, serta 6% bagi yang tidak memiliki NPWP.
  - b. Untuk golongan IV sebesar 15%; dan
3. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.

#### **Pasal 12**

- (1) Hak atas kekayaan intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan Program Hibah Penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.
- (2) Hasil Program Hibah Penelitian berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga/masyarakat melalui Surat Keterangan Hibah.

**Pasal 13**

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.
- (2) Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini diatur kemudian oleh kedua belah pihak.

**Pasal 14**

Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Hibah Penelitian ini dibuat rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

**PIHAK PERTAMA**



Dra.Hj.Dewi Trirahayu,MM  
NIDN. 0330046201

**PIHAK KEDUA**



Dwi Rahmalina  
NIDN.0301096901

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN PRIORITAS NASIONAL  
MASTERPLAN PERCEPATAN DAN PERLUASAN PEMBANGUNAN  
EKONOMI INDONESIA 2011 – 2025  
(PENPRINAS MP3EI 2011-2025)**



**FOKUS/KORIDOR :  
ALUTSISTA / JAWA**

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM  
BERPENGUAT PARTIKEL ALUMINA SEBAGAI  
MATERIAL TAHAN PELURU**

**Tahun kedua dari rencana 2 tahun**

**TIM PENELITI**

<b>Ketua</b>	<b>:</b>	<b>Dr. Ir. Dwi Rahmalina, M.T.</b>	<b>(NIDN: 0301096901)</b>
<b>Anggota</b>	<b>:</b>	<b>Dr. Ir. A. Markus Pattinaja, M.Si.</b>	<b>(NIDN: 0310085201)</b>
		<b>Hendri Sukma, S.T., M.T.</b>	<b>(NIDN: 0313067103)</b>
		<b>I. Gede Eka Lesmana, S.T.,M.T.</b>	<b>(NIDN: 0327087501)</b>

**UNIVERSITAS PANCASILA  
NOVEMBER 2014**



## HALAMAN PENGESAHAN

- Judul Kegiatan** : Pengembangan Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Partikel Alumina sebagai Material Tahan Peluru
- Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : Dr. Ir. DWI RAHMALINA, M.T.  
NIDN : 0301096901  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Teknik Mesin  
Nomor HP : 0816774504  
Surel (e-mail) : drahmalina@yahoo.com
- Anggota Peneliti (1)**  
Nama Lengkap : ARNOLDUS MARKUS PATTINAJA  
NIDN : 0310085201  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila
- Anggota Peneliti (2)**  
Nama Lengkap : HENDRI SUKMA  
NIDN : 0313067103  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila
- Anggota Peneliti (3)**  
Nama Lengkap : I GEDE EKA LESMANA, ST., M.T.  
NIDN : 0327087501  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila
- Institusi Mitra (jika ada)**  
Nama Institusi Mitra : BADAN LITBANG KEMHAN RI  
Alamat : Jl. Jati No. 1, Pondok Labu, Jakarta 12450  
Penanggung Jawab : Prof. Dr. Ir. Eddy. S. Siradj, M.Eng  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 150.000.000,00  
Biaya Keseluruhan : Rp. 304.000.000,00

Mengetahui  
Ka. LPPM Univ. Pancasila



(Dr. DEWY TRI RAHAYU, M.M.)  
NIP/NIK 0330046201

Jakarta, 04 – 11 – 2014  
Ketua Peneliti,



(Dr. Ir. DWI RAHMALINA, M.T.)  
NIP/NIK 4912411001

Menyetujui,  
Rektor Universitas Pancasila



(Prof. Dr. WAHONO SUMARYONO, Apt.)  
NIP/NIK 195401211982031001

## RINGKASAN

TNI yang mengawal NKRI dengan kondisi alam bervariasi, membutuhkan Kendaraan Taktis (Rantis) sebagai salah satu peralatan utama dengan berat total umumnya adalah 3 ton, yang masih di atas berat ideal, yaitu 2 ton. Penurunan berat ini menjadi penting untuk memudahkan transportasi sesuai dengan kondisi jembatan di sebagian besar wilayah NKRI. Guna mengakselerasi pengembangan Rantis yang ringan dan tahan peluru maka diajukan proposal MP3EI, yang difokuskan pada material komposit aluminium untuk aplikasi struktur badan Rantis, yang sebelumnya telah berhasil membuat panel komposit yang mampu menahan penetrasi peluru berkaliber 7.62 mm dengan tebal 45 mm.

Riset ini bertujuan untuk memperoleh pelat komposit aluminium dengan tebal 20 mm yang mampu menahan penetrasi peluru berkaliber 7.62 mm. Komposit dibuat dari matriks Al-Zn-Mg-Cu-Si dan penguat partikel alumina melalui proses manufaktur *squeeze casting*. Untuk lebih meningkatkan kekerasan, dilakukan proses pengerasan pengendapan dan pengerasan permukaan. Karakterisasi dilakukan dengan pengujian komposisi kimia, sifat mekanis, XRD, pengamatan struktur mikro dan makro. Karakteristik balistik diuji dengan peluru berkaliber 7.62 mm.

Hasil riset pada tahun pertama adalah memperoleh parameter proses yang optimal untuk pengembangan komposit matriks aluminium berpenguat alumina dengan karakteristik balistik yang baik. Selanjutnya, pada tahun kedua ini riset diharapkan dapat menghasilkan material komposit aluminium setebal 30 mm yang tahan penetrasi peluru berkaliber 7.62 mm dengan pengurangan berat yang sangat signifikan dibandingkan baja. Juga diharapkan riset ini akan menjadi salah satu tonggak pengembangan industri pertahanan secara mandiri di Indonesia.

*Kata kunci : komposit matriks aluminium, partikel alumina, material tahan peluru, balistik*

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
RINGKASAN	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	6
BAB 4. METODE PENELITIAN .....	7
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	10
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....	28
DAFTAR PUSTAKA .....	29
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

- Tabel 5.1 Hasil Pengujian Komposisi Unsur Paduan Matriks Komposit
- Tabel 5.2 Kode Level Nilai Variabel
- Tabel 5.3 Data hasil eksperimen uji kekerasan
- Tabel 5.4 Data hasil eksperimen dengan kode level
- Tabel 5.5 Pengaruh rata-rata ( mean) masing masing factor
- Tabel 5.6. Perbandingan faktor kendali, kekerasan dan analisis mikro
- Tabel 5.7 Hasil analisis mikro pada komposit matriksAl-3Si-6Mg-5Zn berpenguat 5 % Alumina, temperatur laku pelarutan 450 °C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 180 °C, pada posisi sesuai Gambar 5.10.
- Tabel 5.8 Hasil analisis mikro pada komposit matriksAl-3Si-6Mg-7Zn berpenguat 5 % Alumina, temperatur laku pelarutan 475°C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 220°C, pada posisi sesuai Gambar 5.5.

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 (a) Desain dasar Rantis 4x4, dan (b) detil struktur badan.
- Gambar 1.2 Komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja mampu menahan peluru kaliber 0.38 sp (a dan c) dan 9 mm (b dan d).
- Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian
- Gambar 5.1 Penampang Pelat Baja
- Gambar 5.2 Penampang Batu Tahan Api
- Gambar 5.3 Penampang Kowi
- Gambar 5.4 Analisa CAE pada *stir casting*
- Gambar 5.5 Analisa CAE pada rangka dapur lebur (*furnace*)
- Gambar 5.6 Faktor Kendali Vs Kekerasan (HRB)
- Gambar 5.7 Pengaruh rata-rata (mean) masing-masing faktor
- Gambar 5.8 Zn % Vs Kekerasan (HRB)
- Gambar 5.9 Pengamatan SEM pada komposit dengan matriks Al-3Si-6Mg-5Zn berpenguat 5 % Alumina, temperatur laku pelarutan 450 °C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 180 °C .
- Gambar 5.10 Pengamatan SEM pada komposit dengan matriks Al-3Si-6Mg-7Zn berpenguat 5% Alumina, temperatur laku pelarutan 475°C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 220°C

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Instrumen Penelitian
- Lampiran 2. Desain Peralatan
- Lampiran 3. Personil Tenaga Peneliti
- Lampiran 4. Publikasi Ilmiah

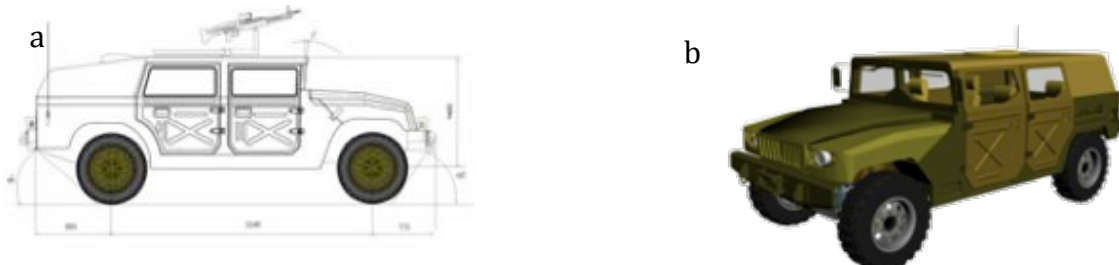
## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

TNI yang mengawal NKRI yang sangat luas dengan kondisi alam bervariasi, membutuhkan Kendaraan Taktis (Rantis) ringan sebagai salah satu peralatan utama[1]. Untuk itu, sistem mobilitas menjadi pertimbangan taktis guna meningkatkan efektifitas dan efisiensi pelaksanaan tugas operasi. Saat ini TNI telah memiliki 1.820 unit Rantis 4x4 dari berbagai produk, yang masih belum memenuhi kebutuhan TNI yaitu 4.453 unit. Rantis saat ini masih menggunakan produk yang beraneka ragam yang berasal dari luar negeri, seperti CJ-7 (USA), Beijing (China), Isuzu OZ (Jepang), KIA KM-420 (Korea), Landrover (Inggris), UAS (Rusia) dan Overland (Inggris) buatan tahun 1979-1981 [1]. Keberagaman ini menyebabkan kesulitan logistik dalam perawatannya. Untuk penyederhanaan dan standarisasi jenis Rantis dan dalam rangka pencapaian kemandirian teknologi Alutsista, Dislitbang TNI AD, mengembangkan Rantis 4x4 *Multi Purpose* (Gambar 1.1 (a)). Desain Rantis 4x4 ini memungkinkan kecepatan maksimum 120 km / jam, kapasitas angkut 10 pasukan tempur dan dilengkapi dengan sistem senjata. Rantis diharapkan dapat memiliki kapabilitas untuk bergerak dinamis di permukaan daratan yang sangat kasar karena didukung oleh empat roda *power steering* sehingga handal untuk dipakai pada kondisi alam Indonesia. Bobot total Rantis adalah 3 ton, yang masih potensial untuk diturunkan menjadi 2 ton. Penurunan berat ini menjadi penting untuk mempercepat mobilitas, kelincahan, kehandalan gerakan dan sesuai dengan kondisi jembatan di sebagian besar wilayah NKRI. Perlu diingat bahwa Rantis ini harus dapat diangkut oleh helikopter angkut militer (*rapid deployment*), sehingga berat menjadi konsideran yang cukup penting. Penurunan berat dapat dilakukan melalui beberapa alternatif, seperti (1) perubahan rancang bangun, atau (2) pengembangan material. Pada riset yang diajukan untuk didanai melalui skema Riset MP3EI ini, aspek pengembangan material menjadi topik utama yang akan dilakukan, yang difokuskan pada struktur badan Rantis (Gambar 1.1 (b)). Saat ini, struktur badan terbuat dari baja anti peluru setebal 10 mm. Untuk itu, perlu dikembangkan material alternatif yang lebih ringan seperti aluminium.

Pengembangan aluminium untuk aplikasi balistik telah banyak dilakukan, misalnya Al 5083-H116, 5059 dan 7075 yang dibuat dengan teknik *cryomilling* [2-4]. Juga telah dikembangkan metode pelapisan permukaan pada Al 2024 menggunakan Co-Mo-Cr [5-7]. Beberapa jenis laminat aluminium telah dipatenkan, misalnya lapisan aluminium dengan

kekerasan HRC 27, dikombinasi dengan serat tekstil [8]. Lapisan aluminium berpenguat kawat baja dan keramik dipatenkan pada tahun 1974 [9]. Juga dipatenkan komposit laminat aluminium dan keramik  $Al_2O_3$  [10-11].



Gambar 1.1 (a) Desain dasar Rantis 4x4, dan (b) detail struktur badan [1].

## 1.2 Peta Jalan Riset

Pengembangan komposit matriks aluminium sebagai material armor telah dilakukan dari tahun 2008, seperti ditampilkan pada Gambar 3. Dari riset sebelumnya telah diperoleh komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja dengan variasi unsur paduan Mg dan Cu melalui proses *squeeze casting*. Komposit ini mempunyai ketahanan balistik yang baik untuk uji balistik menggunakan peluru kaliber 0.38” Sp. Telah dilakukan pula riset yang mengembangkan komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja hasil laminasi. Komposit laminat ini mempunyai ketahanan balistik yang baik sampai uji balistik menggunakan peluru kaliber 9 mm. Pengembangan selanjutnya yang telah berhasil dilakukan adalah perolehan panel komposit matriks aluminium dengan matriks Al-Zn-Mg berpenguat 20 % silikon karbida yang mampu menahan uji balistik dengan peluru kaliber 7.62 mm. Tetapi panel ini masih mempunyai ketebalan yang cukup besar, yaitu 45 mm. Untuk memudahkan proses fabrikasi pada aplikasinya sebagai material armor, maka selanjutnya dari riset hibah MP3EI ini akan dikembangkan komposit matriks aluminium berpenguat alumina melalui proses *squeeze casting*, dan dilakukan peningkatan kekerasan melalui pengerasan pengendapan dan pengerasan permukaan (*surface hardening*). Pada tahun pertama telah dikembangkan modifikasi peralatan proses manufaktur serta parameter yang optimal untuk menghasilkan komposit matriks aluminium berpenguat partikel alumina. Pada tahun kedua ini diharapkan dapat diperoleh komposit matriks aluminium berpenguat alumina yang dapat menahan peluru Tipe III berkaliber 7.62 mm, dengan target ketebalan yang lebih rendah yaitu sebesar 30 mm.



## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 RANTIS INDONESIA**

Kendaraan Taktis Militer merupakan suatu sarana pendukung daya gerak yang mutlak dimiliki oleh kesatuan militer. Kendaraan Taktis (Rantis) merupakan wahana pendukung transportasi personel maupun peralatan. Disebut taktis karena kegunaannya sebagai pendukung kegiatan operasi militer. Oleh karenanya rantis memiliki karakteristik yang spesifik, khusus dan dituangkan dalam suatu persyaratan spesifikasi tersendiri, berbeda dengan kendaraan administrasi (ranmin) yang spesifikasinya hampir sama dengan kendaraan yang digunakan oleh kalangan non-militer. Rantis memiliki persyaratan minimum diantaranya, mampu melakukan gerak operasi disegala medan termasuk *cross-country*, dengan semua sumbu roda gerak *all-wheel drive* (4x4, 6x6, dst).

Berbagai peristiwa yang diakibatkan oleh kondisi alam sudah cukup banyak dilalui oleh kendaraan taktis TNI. Pertempuran yang terjadi juga memaksa Rantis ini dirancang dan memiliki kemampuan untuk beroperasi disegala medan dan kondisi geografis. Selain untuk mendukung pertempuran TNI, spesifikasi teknis, konstruksi dan desain Rantis juga ditujukan untuk tugas operasi selain perang, diantaranya adalah membantu dan menanggulangi bencana alam. Oleh karena itu, Rantis harus memiliki reaksi cepat dan lincah, serta tidak rumit dalam pemakaian dan pemeliharaan serta dapat mengatasi medan yang sangat ekstrim. Perlu juga dipertimbangkan aspek geografis Indonesia yang rawan longsor dan banjir.

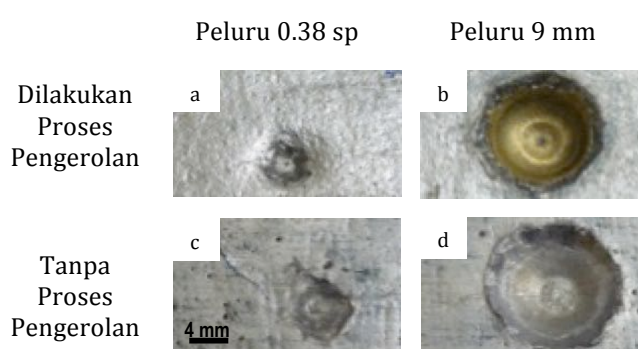
### **2.2 KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM TAHAN PELURU**

Saat ini, paduan aluminium berkekuatan tinggi merupakan paduan logam armor yang sangat menjanjikan, tidak hanya ketahanan terhadap dampak balistik tetapi juga terkait dengan berat jenisnya yang rendah. Walaupun demikian, informasi eksperimental dan komputasional masih sangat terbatas dan memerlukan pembahasan lebih lanjut. Pengembangan dilakukan oleh banyak pihak, misalnya sebuah paten laminat armor dengan lapisan aluminium dengan kekerasan HRC 27, dikombinasi dengan serat tekstil [8]. Lapisan aluminium berpenguat kawat baja dan keramik dipatenkan pada tahun 1981 [9].

Paduan aluminium yang banyak dipakai untuk aplikasi balistik adalah 5083 dan 7075, baik melalui pemrosesan *cryomilling* yang menghasilkan struktur nano [2-3], maupun pelat berperforasi yang kinerjanya tergantung pada ekspansi termal, besar deformasi, kekuatan impak balistik dan kecepatan dari tembakan [14]. Juga telah diamati mekanisme dan parameter yang mempengaruhi kerusakan balistik akibat tembakan peluru 7.62 mm APM2 pada pelat aluminium armor 5083-H116 dengan satu hingga tiga lapisan [3]. Paduan aluminium 7039 mampu menahan proyektil berat jenis rendah dengan kecepatan 2100 m/s [15].

Pengaruh ketebalan panel komposit terhadap perilaku kerusakan impak dari alumina/aluminium armor telah diteliti oleh Zuogang, *et.al*[16]. Pengujian dilakukan dengan menembakkan peluru berkecepatan 500-1500 m/s mengenai panel alumina dengan pelat paduan aluminium 2A12 dibagian belakang. Hasil riset menunjukkan bahwa dengan meningkatnya ketebalan pelat aluminium akan meningkatkan tegangan yang ditransmisikan dan menurunkan tegangan yang direfleksikan, sementara variasi ketebalan dari alumina mempunyai pengaruh yang kecil terhadap perilaku tegangan yang terjadi.

Penelitian lain yang dilakukan US Army menunjukkan bahwa paduan aluminium tahan peluru struktur mempunyai ketahanan impak yang tinggi terhadap proyektil berkecepatan tinggi diatas 2000 m/s. Sorensen, *et.al*[6] telah melakukan riset mengenai karakteristik impak berkecepatan tinggi 2100 m/s menggunakan proyektil berat jenis rendah pada pelat aluminium 7039.



Gambar 1.2 Komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja mampu menahan peluru kaliber 0.38 sp (a dan c) dan 9 mm (b dan d) [17].

Untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium, dilakukan penambahan penguat dari berbagai jenis material sehingga diperoleh material komposit matriks aluminium tahan peluru. Rahmalina, *et.al* [17] telah mengembangkan komposit matriks aluminium Al-7Si

dengan penambahan unsur paduan Mg dan Cu serta berpenguat kawat tali baja karbon tinggi, yang mampu menahan penetrasi peluru kaliber 0.38 sp dan 9 mm, seperti terlihat pada Gambar 2.

Jenis unsur paduan pada matriks aluminium yang digunakan dapat mempengaruhi kinerja balistik dari komposit matriks aluminium. Penelitian yang dilakukan Rahmalina, *et.al* [18] menunjukkan bahwa komposit matriks aluminium berpenguat silikon karbida dengan penambahan unsur paduan Zn sampai dengan 5 wt. % mempunyai kemampuan untuk menahan penetrasi peluru kaliber 9 mm. Faktor lain yang secara signifikan mempengaruhi karakteristik balistik dari komposit matriks aluminium adalah fraksi volum dari penguat komposit. Rahmalina, *et.al* [19] menunjukkan bahwa penambahan fraksi volum partikel silikon karbida dari 5 sampai 10 % mampu menahan laju penetrasi peluru berkaliber 9 mm.

### **C. Karakteristik Balistik**

Beban balistik merupakan pembebanan pada material dengan laju regangan yang sangat tinggi. Bentuk uji balistik yang umum dikenal adalah dengan melakukan penembakan pada sampel logam menggunakan proyektil atau peluru berkecepatan tinggi. Ketahanan material logam terhadap beban balistik bergantung pada beberapa parameter. Parameter tersebut antara lain parameter proyektil (ukuran, bentuk, masa jenis dan kekerasan), parameter dampak (kecepatan dan sudut) dan parameter target (kekerasan/kekuatan, keuletan, struktur mikro dan ketebalan).

B.Srivatsha, *et.al.* [7] dalam risetnya mengemukakan bahwa ketahanan balistik dikarakterisasikan dengan pendekatan besarnya daerah material target yang dibutuhkan untuk menahan tembakan dari tipe proyektil tertentu dengan kecepatan tembak yang spesifik. Pendekatan ini sangat berhubungan erat dengan sifat mekanis dari material target, terutama sifat kekerasan.

Riset yang dilakukan oleh Dikshit, *et al.* [20] mengenai balistik menunjukkan bahwa performansi balistik pada pelat setebal 20 mm meningkat seiring dengan meningkatnya kekerasan pelat sampai pada level kekerasan 440 VHN. Diatas kekerasan optimal maka performansi balistik akan menurun. Selain kekerasan performansi balistik dapat ditingkatkan dengan menambah ketebalan pelat. Namun pilihan untuk menambah ketebalan pelat mengakibatkan penambahan berat pelat yang digunakan.

## BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT RISET

### 3.1 Tujuan Riset

1. Mengembangkan material aluminium tahan peluru untuk aplikasi badan Rantis, untuk mendapatkan penurunan berat yang signifikan, perolehan tebal panel yang sesuai dan kinerja balistik yang tahan terhadap peluru kaliber 7.62 mm.
2. Mengembangkan teknologi manufaktur komposit aluminium untuk aplikasi struktur badan Rantis.

### 3.2 Manfaat Riset

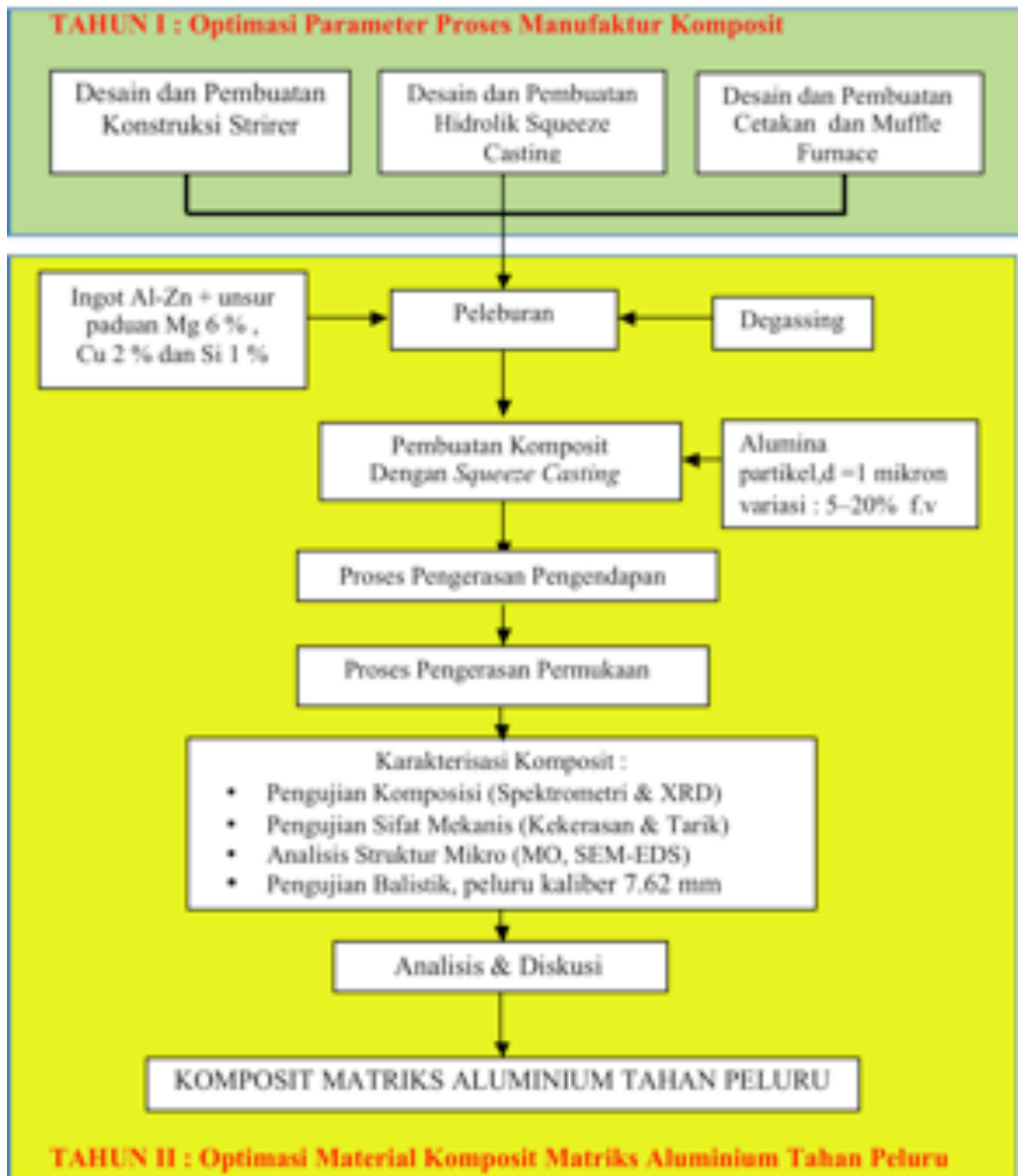
Untuk aplikasi material tahan peluru yang ringan, diperlukan sifat kekerasan dan ketangguhan impak balistik yang tinggi sehingga peluru dapat ditahan dan diperangkap oleh material. Komposit matriks aluminium sebagai salah satu material armor yang ringan dengan ketahanan balistik yang sangat menjanjikan, dapat ditingkatkan kekerasannya dengan unsur paduan seperti Zn, Mg, Cu dan Si [12,13]. Penambahan unsur ini selanjutnya akan menghasilkan fasa endapan dalam matriks aluminium melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) yaitu pengerasan pengendapan. Peningkatan sifat mekanis dilakukan dengan proses pengerasan pengendapan [21]. Fasa endapan yang terbentuk akan meningkatkan kekerasan dan ketangguhan matriks akibat mekanisme *precipitation hardening*. Peningkatan kekerasan pada permukaan dilakukan oleh Peneliti Utama dengan memberikan lapisan dengan kekerasan yang tinggi melalui proses *thermal spraying* dengan variasi tebal lapisan.

Riset ini penting untuk dilakukan karena memberikan manfaat dalam beberapa hal sekaligus, yaitu dalam jangka panjang diharapkan bahwa hasil riset ini dapat membuka peluang pengembangan material Rantis secara mandiri, untuk meningkatkan daya saing bangsa; serta mengembangkan teknologi manufaktur yang sesuai untuk menghasilkan komposit matriks aluminium.

Hasil riset ini diharapkan dapat memperkuat sistem inovasi nasional di bidang pertahanan keamanan dengan diperolehnya prototipe yang dapat diaplikasikan menjadi struktur badan dengan karakteristik balistik yang baik dan berat jenis yang lebih ringan, disamping itu aluminium merupakan logam yang telah diproduksi secara mandiri di Indonesia, sehingga pengembangannya akan memberdayakan industri dalam negeri.

## BAB 4. METODE PENELITIAN

Untuk mencapai pengembangan komposit matriks aluminium berpenguat alumina dengan karakteristik balistik yang baik, maka riset dirancang mengikuti diagram alir seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

Material awal yang digunakan adalah ingot Al-Zn dengan variasi kandungan unsur paduan Zn sebesar 5,7, 9 % dan diberikan penambahan unsur paduan 6 wt. % Mg dan 3 wt.% Si. Sedangkan alumina yang digunakan adalah dalam bentuk serbuk berukuran 1  $\mu\text{m}$  dengan fraksi volume 5 %.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada riset ini adalah :

1. Desain dan pembuatan peralatan proses manufaktur komposit, serta optimasi parameter proses (Tahun I). Tahapan yang akan dilakukan adalah :
  - Pembuatan cetakan logam, dengan ukuran 200 x 200 x 20 mm.
  - Pembuatan alat untuk mengaduk penguat alumina dalam dapur lebur, yaitu konstruksi dan stirrer beserta selang degassing.
  - Pembuatan hidrolis *squeeze casting* serta muffle furnace.
2. Proses pembuatan aluminium matriks komposit dengan penguat alumina dengan optimasi kandungan penguat (Tahun II).

Tahapan yang akan dilakukan adalah :

- Proses peleburan paduan aluminium dilakukan dalam dapur lebur berbahan bakar gas dengan temperatur lebur 820-850<sup>o</sup>C.
  - Proses pengecoran *squeeze casting* dilakukan untuk menghasilkan matriks paduan aluminium berpenguat partikel alumina diberikan dengan proses pengadukan dengan kecepatan 7500 rpm lalu ditekan dengan tekanan 10 MPa.
  - Proses pengerasan pengendapan pada pelat komposit cor, diawali dengan laku pelarutan pada temperatur 525 <sup>o</sup>C selama 1 jam diikuti dengan pencelupan dalam media air, selanjutnya dilakukan penuaan pada temperatur 200 <sup>o</sup>C.
  - Melakukan pengerasan permukaan pada pelat komposit melalui teknik *thermal spraying* sehingga diperoleh kekerasan permukaan yang optimal.
3. Karakterisasi armor aluminium matriks komposit dengan penguat alumina.
    - Pengujian komposisi pada paduan aluminium dan alumina, dengan Spektro, XRD.
    - Analisis struktur mikro dan permukaan patahan dengan mikroskop optik dan SEM.
    - Pengujian Sifat Mekanis, berupa pengujian Kekerasan dan tarik.
    - Pengujian balistik, dengan memberikan beban impak berkecepatan tinggi berkaliber 7,62 mm pada pelat paduan aluminium matriks komposit dengan penguat aluminium oksida, sesuai dengan standar NIJ 0108.1.

## **Tempat Riset**

- Desain komponen dan spesifikasi karakteristik mekanik dan ketahanan balistik diperoleh dari Litbang Kemhan.
- Proses persiapan pembuatan komposit, baik proses pengecoran maupun pengerasan pengendapan dilakukan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila.
- Proses *thermal spraying* dilakukan di PT. Teknocraft Indonesia.
- Karakterisasi material berupa pengujian sifat mekanis dan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik, SEM, XRD dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila dan Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
- Pengujian balistik dilakukan di PT PINDAD Bandung.

## **Luaran Riset per Tahun**

### Tahun Pertama

1. Perolehan optimasi parameter proses manufaktur material tahan peluru yang terbuat dari komposit matriks aluminium berpenguat partikel aluminium oksida.

### Tahun Kedua

1. Perolehan prototipe material armor berbasis aluminium untuk badan Rantis yang dapat menahan peluru berkaliber 7.62 mm dengan tebal target 30 mm.
2. Satu presentasi oral dalam seminar internasional.
3. Satu Jurnal Internasional
4. Satu Draft Paten

## BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh karakteristik mekanis yang sesuai dengan aplikasi material tahan peluru, proses manufaktur komposit matriks aluminium berpenguat alumina perlu dikembangkan sehingga diperoleh parameter-parameter proses yang optimal. Pengembangan proses yang dilakukan adalah pengembangan proses pencampuran partikel alumina dengan matriks paduan aluminium melalui proses *stirring* dan pengembangan proses pengecoran dengan menggunakan teknologi *squeeze casting*.

Pengembangan proses manufaktur tersebut diawali pada tahun pertama oleh perancangan desain proses *stirring*, yang meliputi desain dapur lebur dan peralatan *stirrer* dengan tujuan untuk mengoptimalkan distribusi partikel penguat alumina di dalam matriks paduan aluminium. Pengembangan proses manufaktur selanjutnya yang dilakukan adalah modifikasi desain cetakan dan peralatan *squeeze casting*, sehingga dapat diperoleh komposit dengan cacat cor yang minimal serta menghasilkan struktur mikro dengan kekuatan yang baik.

Pada tahun kedua riset difokuskan pada perolehan optimalisasi komposisi matriks komposit dan parameter proses pengerasan pengendapan yang dapat menghasilkan karakteristik komposit yang baik. Parameter proses pengerasan pengendapan yang divariasikan adalah temperatur dan waktu proses laku pelarutan serta temperatur proses penuaan. Hasil penelitian yang diperoleh sampai tahap ini adalah hasil pengujian komposisi, kekerasan serta pengamatan struktur mikro yang dilakukan dengan mikroskop optik maupun elektron. Sedangkan pengujian impak serta hasil pengujian parameter lain masih dalam proses pengerjaan.

### 5.1 DESAIN PERALATAN MANUFAKTUR KOMPOSIT

#### A. Spesifikasi peralatan *stir casting*

Untuk mendapatkan kapasitas pada peralatan *stir casting* adalah dengan menentukan dimensi komponen – komponen mesin peralatan tersebut, dimana dimensi didapatkan dari perencanaan material – material dan nilai – nilai yang diketahui dari layout gambar teknik. Dalam merancang peralatan *stir casting* diharapkan ukuran – ukuran yang ditentukan sesuai standar yang ada, hal itu akan mempermudah perakitan dalam merancang bangun peralatan *stir casting*. Selain itu



juga diketahui beberapa data kondisi real atau langsung dari lapangan mengenai tata cara pembuatan aluminium komposit dengan demikian data – data perancangan awal yang diketahui untuk perhitungan awal yang diketahui untuk perhitungan awal antara lain sebagai berikut :

1. *Stir casting*

- a. Kecepatan putaran maksimum = 24.000 Rpm
- b. Tekanan Motor = 8 bar
- c. Daya motor = 25.506 Watt
- d. Tinggi ergonomis = 1800 mm

2. Dapur lebur (*furnace*)

- a. Kapasitas tungku = 5000 gram
- b. Diameter tungku = 700 mm
- c. Tinggi tungku = 190 mm
- d. Suhu maksimal = 1050°C

**B. Perhitungan gaya pengaduk**

1. Spesifikasi data motor pneumatik yang digunakan :

- Torsi motor = 1.663 Nm
- Putaran = 24000 Rpm
- Daya motor = 25.506 Watt
- Tekanan = 8 bar

2. Perhitungan Kecepatan Putar Poros Pengadukan

Dalam menghitung kecepatan putar pengaduk, pada motor sudah ditentukan berdasarkan spesifikasi yang ada dipasaran dapat diasumsikan  $n = 24000$  rpm, maka dalam hal ini untuk menghubungkan poros dari motor dengan poros pengaduk menggunakan poros langsung sehingga putaran pengaduk akan sama dengan putaran.

3. Perhitungan Gaya Pengadukan

Dalam mesin ini terdapat 1 gaya pengaduk,

- a) Gaya pengadukan pada pengaduk

Gaya pengadukan yang terjadi pada mesin *Stirr Casting* merupakan perbandingan antara torsi pengaduk (T) dengan jarak bidang pengaduk (S) dimana jarak bidang pengaduk 200 mm.

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{25.506 \text{ kW}}{24.000 \text{ rpm}}$$

$$T = 4970 \text{ kg.mm}$$

$$T = 48755.7 \text{ N.mm}$$

Sehingga Gaya pengadukan :

$$F = \frac{T}{S}$$

$$F = \frac{48755.7 \text{ N.mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$F = 243.78 \text{ N}$$

#### 4. Perhitungan poros pengaduk

Bahan poros yang digunakan adalah S45C-D yang difinis dingin. Menurut standart JIS, bahan S45C-D mempunyai kekuatan tarik  $\sigma_b = 60 \text{ kg/mm}^2$  dan batas mulur  $\sigma_s = 35 \text{ kg/mm}^2$ . Poros mengalami beban puntir dan lentur, sehingga faktor keamanan yang diambil adalah  $Sf_1 = 6,0$  (untuk bahan S-C) dan  $Sf_2 = 2,0$  (dengan alur pasak harga sebesar 1,3-3,0).

Dalam mencari gaya poros dapat diketahui dari hasil data-data dibawah ini :

- 1) Massa jenis baja ( $\rho$ ) =  $7850 \text{ kg/m}^3$
- 2) Panjang Poros (L) =  $210 \text{ mm} = 0,21 \text{ m}$
- 3) Diameter Poros (d) =  $10 \text{ mm} = 0,010 \text{ m}$

Maka berat poros (3.6) :

$$M_{\text{poros}} = \rho \cdot L \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$= 7850 \times 0,21 \times \frac{\pi}{4} \times 0,010^2$$

$$= 0,13 \text{ kg} \approx 0,2 \text{ kg}$$

Maka gaya poros (3.7) :

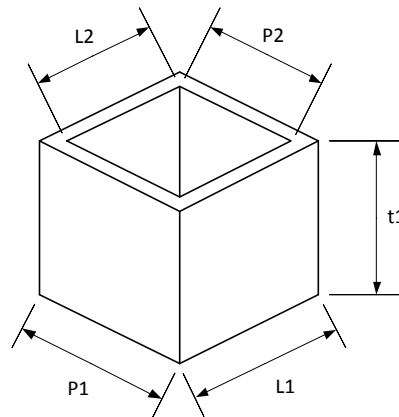
$$F_{\text{poros}} = W_{\text{poros}} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 1.962 \text{ N} \approx 2 \text{ N}$$

### C. Perhitungan Massa Dapur Lebur (*furnace*)

#### 1. Perhitungan massa luar plat baja

Perhitungan massa luar plat baja JIS G3101 diperlukan untuk mengetahui berapa besaran yang dibutuhkan dalam perancangan ini, proses perhitungannya akan diuraikan dan dijelaskan dibawah ini :



Gambar 5.1 Penampang Pelat Baja

Diketahui :

$$P_1 = 0.31 \text{ m}$$

$$L_1 = 0.31 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.35 \text{ m}$$

$$P_2 = 0.30966 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.30966 \text{ m}$$

$$t_2 = 0.34983 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{plat}} = 8050 \text{ kg/m}^3$$

Maka :

$$V_{\text{plat}} = V_{k,1} - V_{k,2} = (P_1 L_1 t_1) - (P_2 L_2 t_2)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{plat}} &= (0.31 \times 0.31 \times 0.35) - (0.30966 \times 0.30966 \times 0.34983) \\ &= 0.033635 - 0.033544959 = 9.00407 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

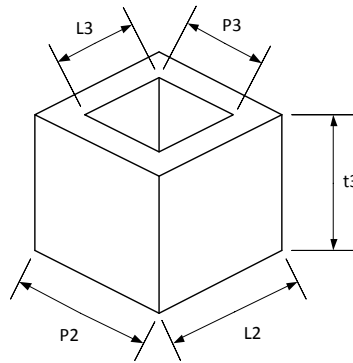
$$m_{\text{plat}} = \rho_{\text{plat}} \times V_{\text{plat}} = 8050 \times 9.00407 \times 10^{-5} = 0.724827825 \text{ kg}$$

Setelah dihitung maka didapat massa luar plat baja JIS G3101 sebesar

$$m_{\text{plat}} = 0.724827825 \text{ kg.}$$

## 2. Perhitungan massa batu tahan api

Massa batu tahan api ini berfungsi untuk insulasi pada *heater* sehingga panas yang terjadi diheater akan tetap terjaga suhu yang diinginkan, selain itu luas massa mempengaruhi berapa jumlah panas yang akan tetap terjaga.



Gambar 5.2 Penampang Batu Tahan Api

Diketahui :

$$P_3 = 0.17966 \text{ m}$$

$$L_3 = 0.17966 \text{ m}$$

$$t_3 = 0.28483 \text{ m}$$

$$\rho_{BTA} = 1980 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{BTA} = V_{k,2} - V_{k,3} = V_{k,2} - (P_3 L_3 t_3)$$

$$V_{BTA} = 0.033544959 - (0.17966 \times 0.17966 \times 0.28483) = 0.024351298 \text{ m}^3$$

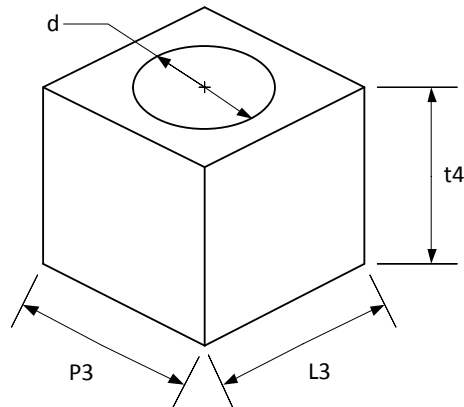
$$m_{BTA} = \rho_{BTA} \times V_{BTA} = 1980 \times 0.024351298 = 48.21556913 \text{ kg}$$

Setelah dihitung maka didapat massa batu tahan api sk-32 sebesar

$$m_{BTA} = 48.21556913 \text{ kg}.$$

## 3. Perhitungan massa kowi

Kowi adalah penampang material selama dalam proses peleburan, massa kowi dihitung untuk mendapatkan massa benda kowi. Maka luas massa kowi yang akan dihitung sebagai berikut :



Gambar 5.3 Penampang Kowi

Diketahui :

$$d = 0.31 \text{ m}$$

$$t_4 = 0.27483 \text{ m}$$

$$\rho_{kowi} = 1800 \text{ kg/m}^3 [10]$$

$$m_{kowi} = \rho_{kowi} \times V_{kowi} = 1800 \times 0.004962983 = 8.933368645 \text{ kg}$$

Setelah dihitung dan didapat massa benda keseluruhan maka selanjutnya

dihitung berapa gaya total pada benda ini, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Sigma m &= m_{plat} + m_{gila} + m_{kowi} = 0.724827825 + 48.21556913 + 8.933368645 \\ &= 57.8737656 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F = \Sigma m \times g = 57.8737656 \times 9.81 = 567.7416406 \text{ N}$$

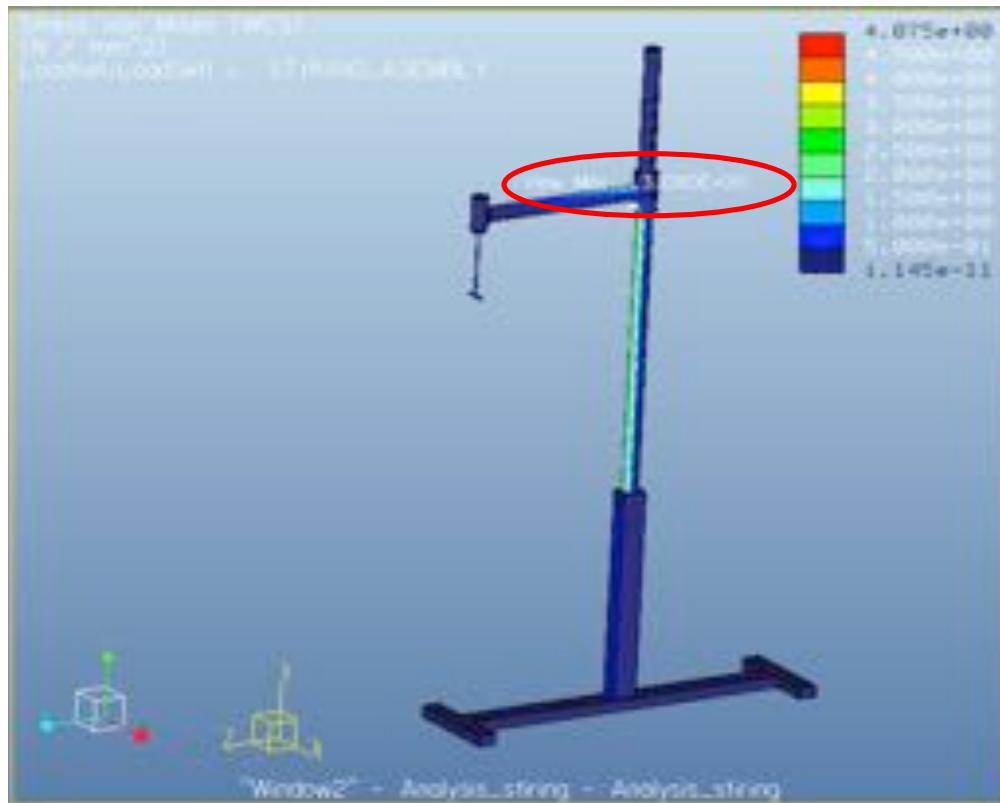
Setelah dihitung maka didapat gaya keseluruhan sebesar

$$F = 567.7416406 \text{ N}$$

#### D. Analisa kerangka peralatan *stir casting*

##### 1. Analisa konstruksi *stir casting*

Dalam perancangan peralatan *stir casting* ada beberapa gaya yang dapat mempengaruhi pada rangka mesin. Diantara gaya-gaya yang diberikan pada rangka dari beban motor pneumatis dan getaran yang dihasilkan. Untuk mengetahui seberapa kuat rangka peralatan *stir casting*, maka untuk menganalisa menggunakan software CAE (*Computer Aided Engineering*). Berikut ini adalah analisa rangka menggunakan software CAE (*Computer Aided Engineering*):

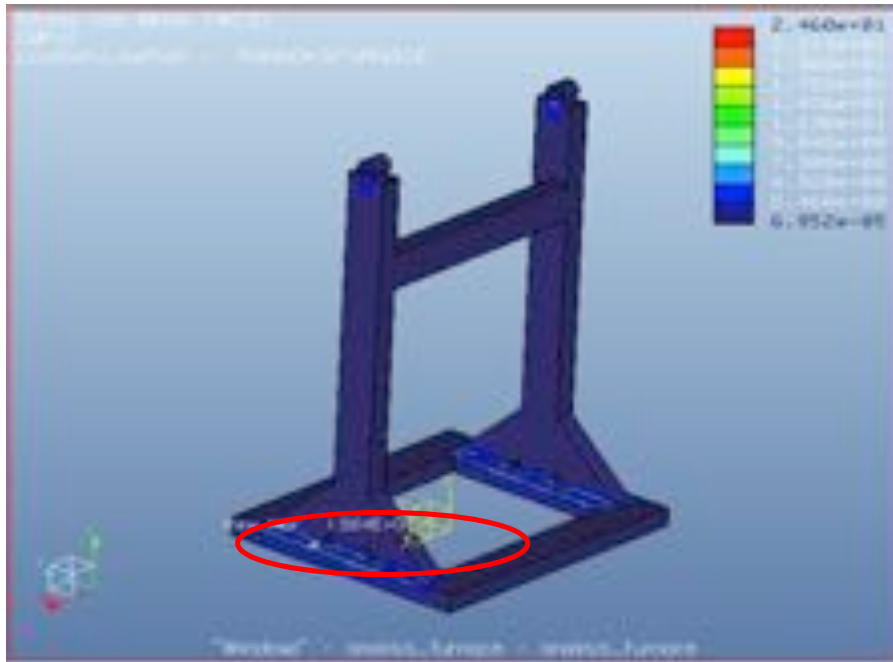


Gambar 5.4 Analisa CAE pada *stir casting*

Pada gambar diatas menunjukkan stress maksimum pada hasil analisa terlihat pada gambar sebesar 3,09 MPa. Dari hasil analisa dan skala warna, struktur konstruksi rangka untuk *stir casting* tergolong aman.

## 2. Analisa konstruksi dapur lebur (*furnace*)

Dalam perancangan dapur lebur (*furnace*) ada beberapa gaya yang dapat mempengaruhi pada rangka mesin. Diantaran gaya-gaya yang diberikan pada rangka dari beban dapur lebur (*furnace*), beban material yang digunakan, gaya saat penukiran . Untuk mengetahui seberapa kuat rangka dapur lebur (*furnace*), maka untuk menganalisa menggunakan *software CAE (Computer Aided Engineering)*. Berikut ini adalah analisa rangka menggunakan *software CAE (Computer Aided Engineering)*:



Gambar 5.5 Analisa CAE pada rangka dapur lebur (*furnace*)

Pada gambar diatas menunjukkan stress maksimum pada hasil analisa terlihat pada gambar sebesar 18,64 MPa. Dari hasil analisa dan skala warna, struktur konstruksi rangka untuk furnace tergolong aman.

## 5.2 HASIL PENGUJIAN KOMPOSISI KOMPOSIT

Berdasarkan data yang ada, terlihat bahwa kandungan komposisi Zn yang menjadi variabel penelitian pada penelitian komposit ini yaitu sebesar 5, 7 dan 9 wt. % dari hasil perhitungan teoritis dan uji hasil laboratorium pada sampel hasil pengecoran di dua titik yang berbeda hasilnya menunjukkan tak terjadi perbedaan yang signifikan pada Tabel 5.1.

Magnesium (Mg) di dalam material komposit digunakan sebagai *wetting agent* (pembasah) penguat terhadap matriksnya. Kemampubasahan suatu penguat terhadap matriks berfungsi sebagai pembentuk ikatan kimia yang kuat pada antar muka antara matrik Al dengan penguat Alumina [5]. Unsur Mg di dalam paduan Aluminium memperbaiki kekuatan dan keuletan dengan mekanisme *solid-solution strengthening* dan *work hardening*. Seng (Zn) di dalam Aluminium dapat terlarut hingga 83.1 %. Unsur ini juga memberikan efek *solid solution strengthening* atau *work hardening* pada Aluminium.

Seng membentuk paduan presipitat  $MgZn_2$  dalam Al-Zn-Mg sehingga meningkatkan kekerasan dari Aluminium dengan mekanisme penguatan [5].

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Komposisi Unsur Paduan Matriks Komposit

Kode Sampel	Si (wt.%)	Fe (wt.%)	Cu (wt.%)	Mn (wt.%)	Mg (wt.%)	Zn (wt.%)
5% Zn	2.01	0.287	0.007	0.009	>12***	5.57
5% Zn - 2	1.99	0.218	0.004	0.002	>12***	4.80
7% Zn	2.26	0.27	0.007	0.007	>12***	7.25
7% Zn - 2	2.33	0.292	0.007	0.009	>12***	7.17
9% Zn	1.90	0.227	0.003	0.003	>12***	9.16
9% Zn - 2	2.08	0.254	0.006	0.006	>12***	9.36

### 5.3 OPTIMASI PARAMETER DENGAN METODE TAGUCHI

Pada penelitian ini sebagai variabel bebas atau faktor desain yang dipilih adalah sebagai berikut :

1. Faktor besarnya Zn pada matrik dengan variasi 5 ; 7 ; 9 wt.%
2. Faktor temperatur laku pelarutan dengan variasi 450 ; 475 ; 500 °C
3. Faktor temperatur penuaan dengan variasi 180; 200 ; 220 °C
4. Lama laku pelarutan dengan variasi 30; 60 ; 90 menit

Tabel 5.2 Kode Level Nilai Variabel

Kode	Faktor Kendali	Level 1	Level 2	Level 3
A	besarnya wt. % Zn pada matrik	5	7	9
B	temperatur laku pelarutan (°C)	450	475	500
C	temperatur penuaan (°C)	180	200	220
D	Lama laku pelarutan ( menit)	30	60	90



Perincian batasan desain dapat dilihat seperti pada Tabel 5.2. Dalam eksperimen ini digunakan 4 faktor dengan rancangan 3 level. Dari jumlah level dan faktor yang ada, dapat ditentukan jumlah kolom untuk matriks orthogonal. Dengan menggunakan analisa matriks ortogonal Array diperoleh perhitungan untuk menentukan orthogonal Array sebagai berikut.

#### 5.4 HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell B, dengan hasil seperti disajikan pada Tabel 5.3. Untuk mengetahui peran dari masing-masing parameter dilakukan analisis dengan Metode Taguchi. Dari Taguchi Array Design di atas dapat diketahui bahwa desain eksperimen Taguchi menggunakan matriks orthogonal ( $3^4$ )<sub>9</sub> L dan diperoleh tabel desain hasil eksperimen Taguchi pada Tabel 5.4.

Tabel 5.3 Data hasil eksperimen uji kekerasan

No.	Variasi Parameter				Kekerasan (HRB)			
	Zn (wt.%)	T (°C) pelarutan	T (°C) penuaan	t (menit) pelarutan	1	2	2	Rerata
1	5	450	180	30	50	48	49	49.00
2	5	475	200	60	52	53	54	53.00
3	5	500	220	90	70	77	64	70.33
4	7	450	200	90	64	63	66	64.33
5	7	475	220	30	63	58	52	57.67
6	7	500	180	60	82	83	79	81.33
7	9	450	220	60	62	69	62	64.33
8	9	475	180	90	65	63	64	64.00
9	9	500	200	30	86	88	88	87.33

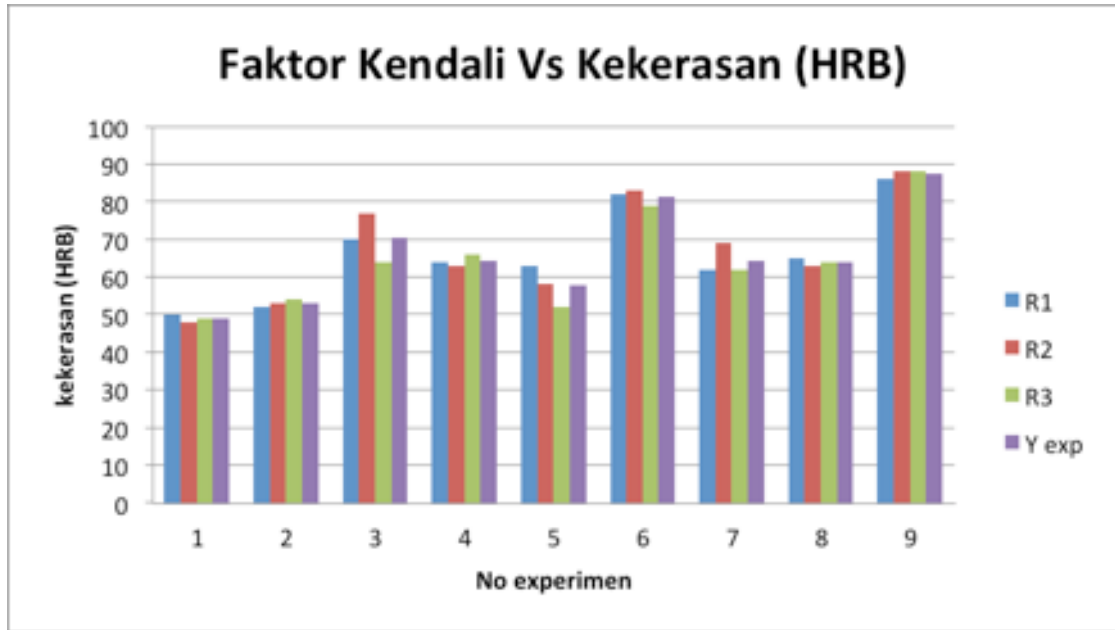
Data selanjutnya dianalisa dengan perhitungan efek dari mean. Dari data Tabel 5.4 dapat dicari nilai efek dari mean pada tiap faktor. Perhitungan efek dari mean pada faktor-faktor tersebut dilakukan dengan mengurangi rata-rata respon terbesar dengan rata-rata

respon terkecil, sehinggadiperoleh hasil perhitungan nilai efek rata – rata (mean) dan nilai efek pada tiap faktor pada Tabel 5.5. Pada Tabel 5.5. terlihat bahwa lama laku pelarutan sebesar 60 atau 90 menit tidak menunjukkan pengaruh yang berarti . Hal ini dimungkinkan karena Zn telah masuk secara sempurna ke dalam matrik Al pada saat lama laku pelarutan 60 menit, sehingga dengan alasan efisiensi energi maka rancangan kondisi optimum untuk lama laku pelarutan yang diambil adalah 60 menit (D2) dan bukan 90 menit (D3).

Tabel 5.4 Data hasil ekperimen dengan kode level

No.	Variasi Parameter				Kekerasan (HRB)			
	Zn (wt.%)	T (°C) pelarutan	T (°C) penuaan	t (menit) pelarutan	1	2	2	Rerata
1	1	1	1	1	50	48	49	49.00
2	1	2	2	2	52	53	54	53.00
3	1	3	3	3	70	77	64	70.33
4	2	1	2	3	64	63	66	64.33
5	2	2	3	1	63	58	52	57.67
6	2	3	1	2	82	83	79	81.33
7	3	1	3	2	62	69	62	64.33
8	3	2	1	3	65	63	64	64.00
9	3	3	2	1	86	88	88	87.33

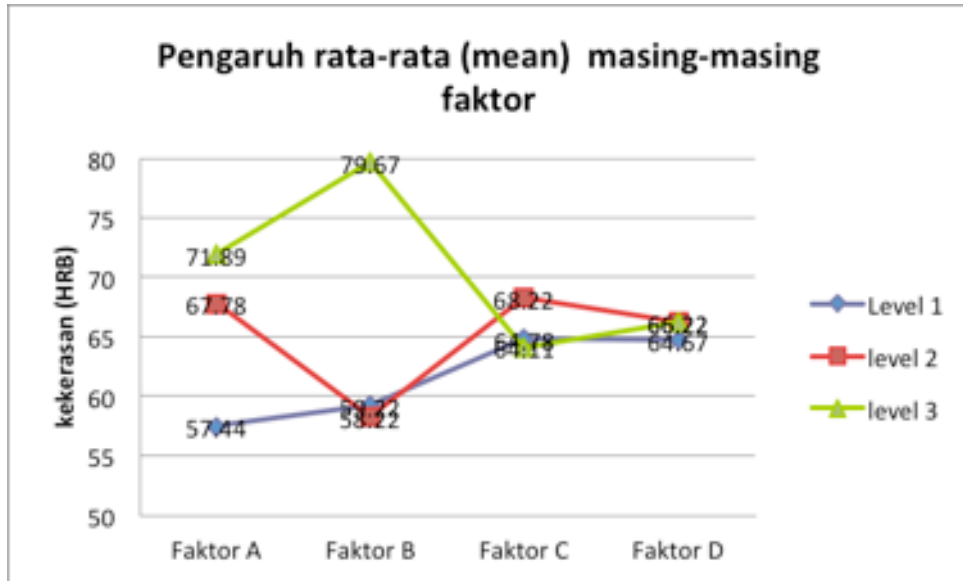
Tabel respons untuk rata-rata (mean) memperlihatkan urutan faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik mutu *kekerasan komposit*, yaitu faktor temperatur laku pelarutan dengan nilai 21.44 pada ranking ke-1, faktor besarnya wt. % Zn pada matrik dengan nilai 14.44 pada ranking ke-2, faktor temperatur penuaan dengan nilai 4.11 pada ranking ke-3 dan lama laku pelarutan dengan nilai 1.56 pada ranking ke-4.



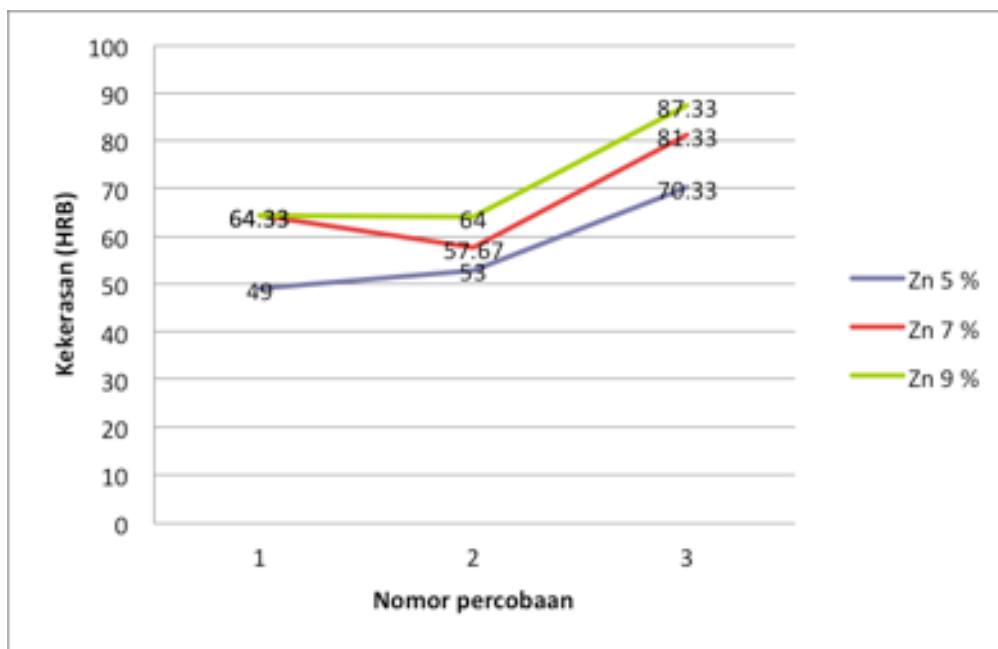
Gambar 5.6 Faktor Kendali Vs Kekerasan (HRB)

Tabel 5.5 Pengaruh rata-rata ( mean) masing masing factor

Faktor/Level	Faktor A	Faktor B	Faktor C	Faktor D
1	57.44	59.22	64.78	64.67
2	67.78	58.22	68.22	66.22
3	71.89	79.67	64.11	66.22
Selisih/efek	14.44	21.44	4.11	1.56
Rangking	2	1	3	4
Optimum	A3 ( 9 wt. % Zn )	B3 (500 °C)	C2( 220 °C)	D2 (60 min )



Gambar 5.7 Pengaruh rata-rata (mean) masing-masing faktor












Gambar 5.8 Zn % Vs Kekerasan (HRB)

## 5.4 HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

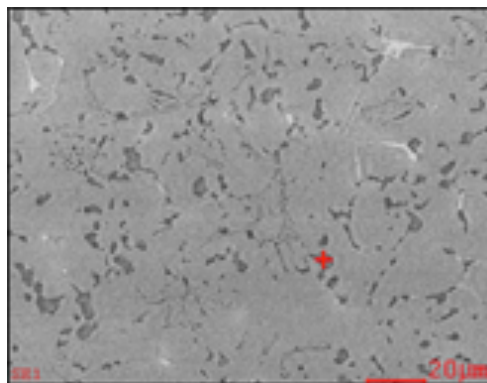
Dari data hasil uji kekerasan selanjutnya, dilakukan analisis mikro menggunakan mikroskop optik dan elektron (SEM-EDS) untuk mendukung secara teori data yang dihasilkan, seperti terlihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Perbandingan faktor kendali, kekerasan dan analisis mikro

No.	Faktor kendali				Kekerasan (HRB)	Hasil Pengamatan Struktur Mikro
	Zn (wt.%)	T (°C) pelarutan	T (°C) penuaan	t (menit) pelarutan		
1	5	450	180	30	49.00	
2	5	475	200	60	53.00	
3	5	500	220	90	70.33	
4	7	450	200	90	64.33	

No.	Faktor kendali				Kekerasan (HRB)	Hasil Pengamatan Struktur Mikro
	Zn (wt.%)	T (°C) pelarutan	T (°C) penuaan	t (menit) pelarutan		
5	7	475	220	30	57.67	
6	7	500	180	60	81.33	
7	9	450	220	60	64.33	
8	9	475	180	90	64.00	
9	9	500	200	30	87.33	

Berdasarkan data diatas dibandingkan dengan hasil analisa mikro maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar keberadaan wt. % Zn dalam matrik akan memperkecil ukuran butir ( struktur semakin halus) melalui mekanisme *solid solution strengthening*, dimana atom-atom Zn & Mg membentuk larutan padat tersubsitusi dengan atom-atom Al., sehingga ini akan meningkatkan kekerasan. Untuk melihat lebih jelas keberadaan presipitat maka diadakan uji SEM/EDS, dengan hasil seperti terlihat pada Gambar 5.10.

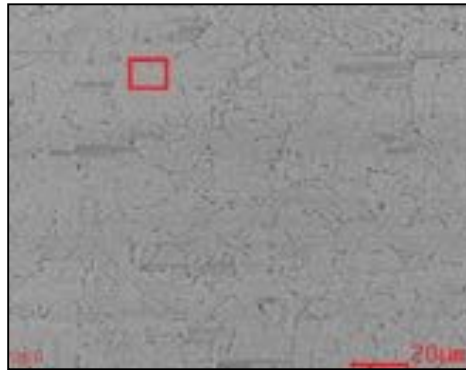


Gambar 5.9 Pengamatan SEM pada komposit dengan matriks Al-3Si-6Mg-5Zn berpenguat 5 % Alumina, temperatur laku pelarutan 450 °C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 180 °C .

Pada Gambar 5.9 terlihat bahwa struktur matriks berbentuk globular dengan struktur yang halus. Hasil analisis mikro SEM-EDS pada Tabel 5.7. menunjukkan bahwa terdapat endapan  $MgZn_2$  pada matrik yang menghambat terjadinya proses dislokasi sehingga meningkatkan sifat mekanis dari komposit Al-3Si-6Mg-5Zn [21].

Tabel 5.7 Hasil analisis mikro pada komposit matriks Al-3Si-6Mg-5Zn berpenguat 5 % Alumina, temperatur laku pelarutan 450 °C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 180 °C, pada posisi sesuai Gambar 5.10.

Nomor	Komposisi (% berat)					Fasa yang mungkin terbentuk[28]
	O	Mg	Al	Si	Zn	
1	12.86	47.21	4.52	35.41	-	Matrik, Alumina
2	-	19,19	32.60	-	48.21	$MgZn_2$
3	-	-	92.83	02.58	4.59	Matrik
4	2.94	5.12	82.33	5.35	4.28	Matrik, Alumina



Gambar 5.10 Pengamatan SEM pada komposit dengan matriks Al-3Si-6Mg-7Zn berpenguat 5% Alumina, temperatur laku pelarutan 475°C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 220°C

Tabel 5.8 Hasil analisis mikro pada komposit matriks Al-3Si-6Mg-7Zn berpenguat 5 % Alumina, temperatur laku pelarutan 475°C, lama waktu tahan 30 menit, dan temperature penuaan 220°C, pada posisi sesuai Gambar 5.5.

Nomor	Komposisi (% berat)					Fasa yang mungkin terbentuk [28]
	O	Mg	Al	Si	Zn	
1	-	2.47	86.60	-	10.93	MgZn <sub>2</sub>
2	3.22	07.44	75.41	4.87	9.07	Matrik, Alumina
3	-	-	75.32	4.49	8.32	Matrik
4	1.75	9.82	3.55	77.13	2.35	Matrik, Alumina

Pada Gambar 5.10 terlihat bahwa matriks berbentuk globular dengan struktur yang halus, dan lebih halus dari komposit Al-3Si-6Mg-5Zn dan Al-3Si-6Mg-7Zn. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar keberadaan wt. % Zn dalam komposit akan memperkecil ukuran butir (struktur semakin halus) melalui mekanisme *solid solution strengthening*, dimana atom-atom Zn & Mg membentuk larutan padat tersubsitusi dengan atom-atom Al., sehingga ini akan meningkatkan sifat mekanis. Dalam penelitian ini kandungan Zn dibatasi hanya wt. % Zn, karena peningkatan Zn akan mengakibatkan *hot cracking* (retak panas) [5]. Hasil analisis mikro SEM-EDS pada Tabel 5.8. menunjukkan bahwa terdapat endapan MgZn<sub>2</sub> pada matrik lebih halus dan lebih banyak dari pada komposit Al-3Si-6Mg-5Zn dan Al-3Si-6Mg-7Zn di Gambar 5.4 dan 5.5., yang menghambat terjadinya proses dislokasi sehingga meningkatkan sifat mekanis dari komposit Al-3Si-6Mg-9Zn [28]. Hasil perhitungan dengan Metode Taguchi menunjukkan



Pengaruh kandungan 9 wt. % Zn dalam matrik menempati rangking ke-1 pada peningkatan sifat mekanis impak dan rangking ke-2 pada peningkatan sifat mekanis kekerasan dibandingkan dengan kandungan 5 wt. % Zn dan 7 wt. % Zn . Alumina pada komposit terlihat terdistribusi dengan merata sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *stirring* dengan 7500 Rpm terlihat dapat mendistribusikan partikel alumina dengan merata.

## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian dan analisis pada komposit Al-Zn-3Si-6Mg berpenguat 5 % fraksi volume Alumina dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode taguchi, rancangan kondisi optimum untuk menghasilkan kekerasan pada komposit diperoleh bila dilakukan pemakaian 9 wt. % Zn pada matriks, temperatur laku pelarutan sebesar 500 (°C), temperature penuaan sebesar 220 (°C), dan lama laku pelarutan sebesar 60 / 90 ( menit ).
2. Peningkatan kadar Zn memberikan pengaruh signifikan pada proses pengerasan penuaan dikarenakan difusivitas Zn dalam aluminium yang relative tinggi. Penambahan kandungan Zn dari 5, 7 dan 9 wt. % menghasilkan kekerasan puncak senilai masing-masing(HRB) : 57,44 ; 67,78 dan 71,89.
3. Dari hasil analisis mikro dan divalidasi dengan uji SEM-EDS diketahui terbentuknya presiptat MgZn<sub>2</sub> dalam sampel uji, hal ini menunjukkan proses perlakuan panas berhasil.
4. Dari hasil analisis mikro dan uji SEM – EDS juga tidak ditemukan adanya void pada daerah antarmuka sehingga menunjukkan proses manufaktur sudah berjalan dengan baik.
5. Hasil uji kekerasan yang diperoleh pada percobaan ini cukup tinggi adalah 87,33 HRB pada Zn 9 wt. %, ini menunjukkan hasil yang diperoleh jauh lebih baik dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya [2] yaitu sebesar 54,05 HRB.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dislitbang TNI AD, *Desain Rantis 4 x 4 TNI*, 2010.
2. A.P. Newbery, S.R. Nutt, E.J. Lavernia, *Multi-scale Al 5083 for military vehicles with improved performance*, J. Mat (2006), pp. 56 – 61.
3. T. Borvik, M.J. Forrestal, T.L Warren, *Perforation of 5083-H116 Aluminum Armor Plates with Ogive-Nose Rods and 7.62 mm APM2 Bullets*, Society for Experimental Mechanics, 50 (7)(2009), pp. 969-978.
4. T. Lin, Q. Yang, C. Tan, B. Liu and A. McDonald, *Processing and ballistic performance of lightweight armors based on ultra-fine-grain aluminium composites*, J. Mater. Sci. 43 (2008), pp. 7344 – 7348.
5. E. Ozsahin, S. Tolun, *On the comparison of the ballistic response of coated aluminium plates*, Materials Design, 31 (7) (2010), pp. 3188-3193
6. B.R.Sorensen, K.D. Kimsey, B.M.Love, *High-Velocity Impact of Low-Density Projectiles on Structural Aluminium Armor*, Int. J. Impact Eng. 35 (12) (2008), pp. 1808-1815.
7. B. Srivatsha and N. Ramakrishnan, *On The Ballistic Performance of The Metallic Materials*, Bulletin of Material Science, Vol 20 No. 1, 1997, page 111-123.
8. M. Cohen, *Laminated Armor*, US Patent No. 6497966, 6 Dec 2001.
9. E. di Russo, M. Burrati, S. Veronelli, *Aluminium Alloys Composite Plates*, US Patent No. 4426429, 8 Dec 1981.
10. G. Lasker, *Armor*, US Patent No. 44264294111097, 29 Oct 1974.
11. S.J.E Boos, C.A. Williams, *Composite Armor Material*, US Patent No. 6216579, 15 Oct 1998.
12. D. Rahmalina, I. Kusuma, B. Suharno, B.T. Sofyan, E.S. Siradj, *Pengaruh Penambahan Unsur Cu dan Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting*, Prosiding Seminar Nasional SENAMM IV, 2010.
13. B.T. Sofyan, S. Susanti, R. R. Yusfranto, *Peran 1 dan 9 w.t. % Zn dalam Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium AA319*, Makara Teknologi, 12 (1) (2008), pp. 48-54.

14. M. J. Forrestal, T. L. Warren, *Perforation Equations for Conical and Ogival Nose Rigid Projectiles into Aluminum Target Plates*, Int. J. Impact Eng. 36 (2) (2009), pp. 220-225.
15. M. Ubeyli, R.O. Yildirim, B. Ogel, *Investigation on the ballistic behavior of  $Al_2O_3/Al2024$  laminated composites*, J. Mat. Proc. Tech, 196 (1-3) (2008), pp. 356 – 364.
16. Z. Zuoguang, W. Mingchao, S. Shuncheng, L. Min, S. Zhijie, *Influence of Panel/back Thickness on Impact Damage Behavior of Alumin/Aluminum Armors*, J. European Ceramic Society, 30 (4) (2010), pp 875-887.
17. D. Rahmalina, B.T. Sofyan, B. Suharno, E.S. Siradj, *Development of Steel Wire Rope – Reinforced Aluminium Composite for Armour Material Using The Squeeze Casting Process*, Advanced Materials Research Journal, Vol. 277 (2011), pp. 27-35.
18. D. Rahmalina, B.T. Sofyan, B. Suharno, E. S. Siradj, *Pengaruh Penambahan Unsur Zn terhadap Karakteristik Balistik Komposit Matriks Al7Si6Mg Berpenguat Silikon Karbida*, Prosiding Annual Engineering Seminar 2012, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, 16 Februari 2012, pp. A88-A92.
19. D. Rahmalina, B.T. Sofyan, B. Suharno, E.S. Siradj, *Pengaruh Fraksi Volume Penguat Silikon Karbida terhadap Karakteristik Balistik Komposit Matriks Aluminium*, Majalah Pengkajian Industri, Vol. 6 No. 1, April 2012.
20. S.N. Dikshit, et al, *The Influence of Plate Hardness on The Ballistic Penetration of Thick Steel Plates*. Int. J. Impact Eng. ,16 (2) (1995), pp. 293-320.
21. D. Rahmalina, B. T. Sofyan, N. Askarningsih, S. Rizkyardiani, *Effect of Treatment Process on Hardness of Al7Si-Mg-Zn Matrix Composite Reinforced with Silicon Carbide Particulate*, Proceeding of the 2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science (ICAMMS 2012), Beijing, China, 20-21 Desember 2012.