



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Lt.4 Gedung D Jalan Jenderal Sudirman, Senayan, Jakarta 10270  
Telepon: (021) 57946042 Fax: (021) 57946085  
Laman: <http://ristekdikti.go.id>

---

Nomor : 025/E3/2017 06 Januari 2017  
Lampiran : 1 (satu) berkas dan 1 (satu) lembar  
Perihal : Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat  
di Perguruan Tinggi Tahun 2017

Yth. 1. Rektor/ Direktur/Ketua Perguruan Tinggi Negeri dan Swasta  
2. Koordinator Kopertis Wilayah I s/d XIV

Sesuai dengan Surat Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan nomor 01/E/KPT/2017 tanggal 6 Januari 2017 tentang Penerima Pendanaan Riset dan Pengabdian Masyarakat Tahun 2017, bersama ini kami sampaikan daftar nama penerima pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat tahun 2017 sebagaimana terlampir.

Kami informasikan bahwa penerima pendanaan program Penelitian dan Pengabdian Masyarakat tahun 2017 adalah pengusul yang proposalnya dinyatakan lolos seleksi, dan yang bersangkutan atau institusi telah memenuhi kewajiban sebagai berikut:

1. Mengunggah Laporan kemajuan tahun 2015 - 2016;
2. Mengunggah Laporan Akhir tahun 2015 - 2016;
3. Mengunggah Berkas Kelengkapan Seminar Hasil tahun 2015 – 2016;
4. Mengunggah Dokumen RIP (skema PUPT) dan Renstra Pengabdian kepada Masyarakat;
5. Mengunggah proposal lanjutan: Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat untuk pelaksana *On Going*;
6. Melaksanakan seluruh tahapan seleksi sebagaimana disebutkan dalam Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Perguruan Tinggi Edisi X untuk skema penelitian desentralisasi perguruan Tinggi.

Berkenaan dengan hal tersebut, DRPM mengucapkan selamat kepada penerima pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat tahun 2017.

DRPM mengucapkan terimakasih kepada pengusul yang telah berpartisipasi dan apabila nama pengusul tidak tercantum, maka dapat mengusulkan kembali proposal pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat untuk pendanaan tahun 2018.

Selanjutnya, kami mohon bantuan Saudara untuk menyampaikan informasi di atas kepada masing-masing penerima pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Tahun 2017.

Kami sampaikan bahwa mekanisme penyaluran dana akan dilakukan melalui kontrak kerja antara DRPM dengan Ketua LP/LPPM/LPM Perguruan Tinggi Negeri dan atau Koordinator Kopertis Wilayah. Untuk maksud tersebut, bersama ini kami kirimkan daftar isian (terlampir) untuk diisi dan mohon segera dikirim melalui fax: 021-5731846, 57946085 dan email ke [dp2mdikti@yahoo.co.id](mailto:dp2mdikti@yahoo.co.id) (untuk program Penelitian), dan [ppm.dp2m@ristekdikti.go.id](mailto:ppm.dp2m@ristekdikti.go.id) (untuk program Pengabdian Masyarakat) paling lambat tanggal 13 Januari 2017.

Hal-hal lain yang terkait dengan mekanisme penyaluran dana dan pelaksanaan pendanaan akan diinformasikan kemudian melalui laman: <http://simlibtamas.ristekdikti.go.id>

Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami ucapkan terima kasih.

Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat

TTD

Tembusan.

1. Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan
2. Ketua LP/LPPM/LPM Perguruan Tinggi
3. Sekretaris Pelaksana Kopertis Wilayah I s/d XIV

Ocky Karna Radjasa  
NIP 196510291990031001

PTN/KOPERTIS	PERGURUAN TINGGI	SKEMA	NAMA	JUDUL
		Penelitian Strategis Nasional	SRI ENDARTI RAHAYU	KAJIAN Pandanus tectorius DALAM UPAYA MITIGASI TSUNAMI DAN PEMANFAATANNYA SEBAGAI TUMBUHAN OBAT DAN BAHAN KERAJINAN ANYAMAN
Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	HARINI NURCAHYA MARIANDAYANI	PRODUKTIVITAS DAN KARAKTERISTIK GEN IGF-2 PADA PERSILANGAN AYAM SENTUL, KAMPUNG, DAN KEDU		
	KISROH DWIYONO	REKAYASA PENGEMBANGAN PANGAN ALTERNATIF BERBAHAN BAKU ILES-ILES (Amorphophallus muelleri) DAN KENTANG (Solanum tuberosum) MENGGUNAKAN METODE EKSTRUDER		
	ETTY HESTHIATI	PENATAAN RUANG TERBUKA HIJAU DI WILAYAH DKI BERBASIS PELESTARIAN KEANEKARAGAMAN HAYATI TANAMAN BUAH LANGKA DAN SPESIFIK LOKASI		
	RETNO WIDOWATI	Pengembangan Produksi Madu Apis dorsata Secara Berkelanjutan Dalam Upaya Konservasi Hutan Di Wilayah Perbatasan Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Utara		
	NOVERITA	BIODIVERSITAS DAN PROSPEK PENGEMBANGAN EKONOMI MAKROFUNGI SUMATRA		
	ZAINUL	KONSTRUKSI MODEL PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN IRIGASI DALAM RANGKA PENINGKATAN KESEJAHTERAAN MASYARAKAT DI ERA OTONOMI DAERAH		
	Penelitian Disertasi Doktor	INA AGUSTINA	SEGMENTASI RETINA UNTUK MENENTUKAN TINGKAT KEPARAHAN RETINOPATI DIABETIK BERDASARKAN WARNA	
Universitas Pancasila	Penelitian Berbasis Kompetensi	DENI RAHMAT	Sintesis dan Karakterisasi Hidroksi Propil Selulosa – Sisteamin untuk Nanostruktur Crude Bromelin dari Perasan Bonggol Nanas (Ananas comosus (L.) Merr.) sebagai Antibakteri dan Antiplatelet	
	Penelitian Produk Terapan	AGUS PURWANGGANA	PEMBUATAN GARGARISMA (OBAT KUMUR) DENGAN BAHAN AKTIF EHP DAN UJI AKTIVITAS ANTIBAKTERI SECARA IN SILICO DAN IN VIVO	
		DINI ROSMALIA	Perencanaan Ruang Wisata Berdasarkan Elemen Lanskap Budaya Cirebon Studi Kasus Kebudayaan Keraton Cirebon	
		FAUZIE BUSALIM	Aplikasi Alat Radial Shock Wave Therapy pada Penderita Stroke dengan memanfaatkan Harmonisasi Pulse Impulse.	
		HENDRI SUKMA	PENINGKATAN KARAKTERISTIK PERMUKAAN KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM MELALUI PROSES THERMAL SPRAYED COATING	
		EKO PRASETYO	Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Berbasis Teknologi Turbocharger	
	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	DWI RAHMALINA	Pengembangan Komposit Hibrid Partikel Keramik dengan Matriks Aluminium untuk Meningkatkan Sifat Tribologi pada Komponen Otomotif	
		ISMAIL	Pengembangan terowongan angin rangkaian terbuka dengan sistem PIV (Particle Image Velocimetry)	



**SURAT PERJANJIAN/KONTRAK PENUGASAN DALAM RANGKA  
PELAKSANAAN PROGRAM PENELITIAN  
TAHUN ANGGARAN 2017  
Nomor: 2520/LPPM/UP/V/2017**

Pada hari ini **Senin** tanggal **Dua Puluh Sembilan** bulan **Mel** tahun **Dua Ribu Tujuh Belas**, yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : **Dra. Hj. Dewi Trishayu, M.M.**  
NIDN : 0330046201  
Jabatan : Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama **LPPM Universitas Pancasila**, selanjutnya dalam dokumen ini disebut sebagai **PIHAK PERTAMA**.

2. Nama : **Dwi Rahmalina**  
NIDN : 0301096901

Dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama **Dosen Peneliti**, yang selanjutnya dalam dokumen ini disebut sebagai **PIHAK KEDUA**.

Perjanjian penugasan ini berdasarkan kepada :

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003, tentang Keuangan Negara.
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional.
3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2004, tentang Perbendaharaan Negara.
4. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2004, tentang Pemeriksaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara.
5. Undang-Undang Nomor 39 Tahun 2008 tentang Kementerian Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 166, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4916);
6. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi.
7. Peraturan Presiden Nomor 7 Tahun 2015 tentang Organisasi Kementerian Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 8);
8. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 14);
9. Keputusan Presiden Nomor 121/P Tahun 2014 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode 2014-2019;
10. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
11. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor: 305/M/KP/D/2015 tentang Pengangkatan Koordinator Kopertis Wilayah III Jakarta.
12. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor: 662/M/KP/D/2015 tanggal 23 Desember 2015 tentang Pejabat Perbendaharaan pada Koordinasi Perguruan Tinggi Swasta Wilayah III Jakarta Tahun Anggaran 2016.

13. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 106/pmk.2/2016 tentang Standar Biaya Kekuatan Tahun 2017;
14. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 28/E/KPT/2017 tentang Penerima Pendanaan Penelitian.
15. Keputusan Koordinator Koordinasi Perguruan Tinggi Swasta Wilayah III Nomor 017/K3/KU/SK/2015 Tanggal 29 Desember 2015 Tentang Pengangkatan Pejabat dan Staf Pengelola Keuangan Tahun Anggaran 2015.
16. Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Dirjen Riset dan Pengembangan Kemristekdikti No SP DIPA-042.06.1.401516/2017.
17. Surat Perjanjian Penugasan Dalam Rangka Pelaksanaan Program Penelitian Tahun 2016 antara KPA/Pejabat Pembuat Komitmen Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dengan Koordinator Kapertis Wilayah III Nomor: 116/SP2H/LT/DRPM/TV/2017, Tanggal 3 April 2017.

**PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama bersepakat mengikat diri dalam suatu Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian dengan ketentuan dan syarat-syarat diatur dalam Pasal-Pasal berikut :

#### **Pasal 1**

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing Lanjutan tahun 2016 dengan judul **"PENGEMBANGAN KOMPOSIT HIBRID PARTIKEL KERAMIK DENGAN Matriks ALUMINIUM UNTUK MENINGKATKAN SIFAT TRIBOLOGI PADA KOMPONEN OTOMOTIF"**.
- (2) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan, administrasi dan keuangan atas pekerjaan/kegiatan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan berkewajiban menyimpan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya.
- (3) Penugasan Pelaksanaan Hibah Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Dirjen Riset dan Pengembangan Kemristekdikti Nomor SP DIPA-042.06.1.401516/2017 tanggal 7 Desember 2016.

#### **Pasal 2**

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberikan dana untuk kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 sebesar **Rp. 175.000.000,-** (seratus tujuh puluh lima juta rupiah) yang dibebankan kepada DIPA Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Dirjen Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Dirjen Riset dan Pengembangan Kemristekdikti Nomor SP DIPA-042.06.1.401516/2017 tanggal 7 Desember 2016.
- (2) Dana pelaksanaan Hibah 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% X Rp. 175.000.000,- = Rp. 122.500.000,-** (seratus dua puluh dua juta lima ratus ribu rupiah)
  - b) Pembayaran Tahap Kedua/Terakhir sebesar 30% dari total bantuan dana kegiatan yaitu **30% X Rp. 175.500.000,- = Rp. 52.500.000,-** (lima puluh dua juta lima ratus ribu rupiah), dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah ke **SIM-LITABMAS** selambat-lambatnya tanggal **11 September 2017** dokumen di bawah ini:
    1. Catatan harian pelaksanaan penelitian
    2. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
- (3) **Biaya tambahan dibayarkan kepada PIHAK KEDUA** bersamaan dengan pembayaran tahap kedua dengan melampirkan Daftar luaran penelitian yang sudah di validasi oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (4) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab mutlak dalam pembelanjaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui dan berkewajiban untuk menyimpan semua bukti-bukti pengeluaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (5) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak dibelanjakan ke Kas Negara melalui rekening **BNI 46 KCP BKN Rekening No. 0880880853** atas nama **BPG 088 KOPERTIS WILAYAH III JAKARTA 401228** disertai dengan surat pemberitahuan pengembalian dana.
- (6) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyampaikan salinan lembar keempat bukti pengembalian Dana ke Kas Negara yang telah divalidasi oleh KPPN setempat kepada **PIHAK PERTAMA**.

### Pasal 3

- (1) Dana Hibah Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat 1 dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** melalui rekening yang diajukan dan atas nama **PIHAK KEDUA**.
- (2) **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam mengisi nama bank, nomor rekening, alamat dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

### Pasal 4

- (1) Penilaian kemajuan pelaksanaan hibah penelitian dilakukan oleh **PIHAK KEDUA** melalui Tim Reviewer Universitas, setelah Ketua Pelaksana mengunggah laporan kemajuan pelaksanaan kegiatan ke **SIM-LITABMAS**, dengan berpedoman kepada prinsip-prinsip dan/atau kaidah Program Penelitian.
- (2) Perubahan terhadap susunan Tim Pelaksana dan substansi pelaksanaan hibah penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan

Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.

#### **Pasal 5**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menindaklanjuti dan mengupayakan Hibah Penelitian yang dilakukan dosen untuk memperoleh paten dan/atau publikasi ilmiah untuk setiap judul Hibah Penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 ayat (1).
- (2) Perolehan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan tri dharma perguruan tinggi;
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan perolehan paten dan/atau publikasi ilmiah seperti yang dimaksud pada ayat (1) secara berkala kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi pada setiap akhir Tahun Anggaran berjalan dan tembusannya dikirim kepada **PIHAK PERTAMA**.

#### **Pasal 6**

- (1) **PIHAK KEDUA** harus menyampaikan Surat Pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan pengunggahan pada SIMLITABMAS :
  - a) Catatan harian dan laporan komprehensif pelaksanaan Penelitian, pada tanggal **27 Oktober 2017**.
  - b) Laporan akhir, capaian akhir, poster, artikel ilmiah dan profil, pada tanggal **27 Oktober 2017**.
- (2) 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), terhitung dari tanggal jatuh tempo sebagaimana tersebut pada ayat (1),(2) dan (3), yang terdapat dalam Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Hibah Penelitian bagi Dosen Perguruan Tinggi Swasta Tahun Anggaran 2017.
- (3) Peneliti/Pelaksana Hibah Penelitian yang tidak hadir dalam kegiatan Monitoring dan Evaluasi serta Seminar Hasil Hibah Penelitian tanpa pemberitahuan sebelumnya ke Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, maka Pelaksana Hibah Penelitian tidak berhak menerima sisa dana penugasan tahap kedua sebesar 30%. **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana penugasan 30% yang telah diterima ke Kas Negara melalui rekening **BNI 46 KCP BKN Rekening No. 0880880853** atas nama **BPG 088 KOPERTIS WILAYAH III JAKARTA 401228** disertai dengan surat pemberitahuan pengembalian dana.

- (4) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyampaikan salinan lembar keempat bukti pengembalian Dana ke Kas Negara yang telah divalidasi oleh KPPN setempat kepada **PIHAK PERTAMA**.

#### **Pasal 7**

- (1) Hardcopy Laporan hasil dan Laporan Keuangan Hibah Penelitian sebagaimana tersebut dalam pasal 6 ayat (1) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
1. Bentuk/ukuran kertas A4;
  2. Warna cover Biru Benhur/Biru Universitas Pancasila;
  3. Di bawah bagian kulit ditulis:

#### **Dibiayai oleh**

**Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan  
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi**

**Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Hibah Penelitian  
Nomor: 0406/K3/KM/2017, tanggal 24 Mei 2017**

- (2) Softcopy laporan hasil Hibah Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (1) harus diunggah oleh **PIHAK KEDUA** ke SIM-LITABMAS sedangkan Hardcopy Laporan Hasil dan Laporan Keuangan disertai fotocopy bukti pengeluaran wajib diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA** sebanyak 1 (satu) eksemplar.

#### **Pasal 8**

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** berhenti dari jabatannya, sebelum pelaksanaan perjanjian ini selesai, maka **PIHAK KEDUA** wajib menyerahkannya tanggung jawabnya kepada pejabat baru yang menggantikannya.
- (2) Apabila setiap ketua pelaksana penelitian di perguruan tinggi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (1) tidak dapat melaksanakan Penelitian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti ketua pelaksana penelitian yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.
- (3) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 maka harus mengembalikan dana yang telah diterimanya ke Kas Negara melalui rekening **BNI 46 KCP BKN Rekening No. 0880880853** atas nama **BPG 088 KOPERTIS WILAYAH III JAKARTA 401228** disertai dengan surat pemberitahuan pengembalian dana.
- (4) Apabila dikemudian hari terbukti bahwa judul-judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 dijumpai adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau diperoleh indikasi ketidakjujuran/tidak kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan Penelitian

tersebut dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib melaporkan ke **PIHAK PERTAMA** dan mengembalikan dana Penelitian yang telah diterima ke Kas Negara melalui rekening **BNI 46 KCP BKN Rekening No. 0880880853** atas nama **BPG 088 KOPERTIS WILAYAH III JAKARTA 401228** disertai dengan surat pemberitahuan pengembalian dana.

#### **Pasal 9**

**PIHAK KEDUA** berkewajiban menyetor pajak ke kantor pelayanan pajak setempat yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa:

- (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 10**

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan Penelitian tersebut diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.
- (2) Hasil 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 11**

- (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 yang berlaku dengan memilih domisili Hukum di Pengadilan DKI Jakarta.
- (2) Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini akan diatur kemudian oleh kedua belah pihak.

**Pasal 12**

Surat Perjanjian Pelaksanaan ini dibuat rangkap 2 (dua) bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

**PIHAK PERTAMA**

Kepala LPPM


Dra. Hj. Dewi Trirahayu, M.M.  
NIDN. 0330046201

**PIHAK KEDUA**

Dosen Peneliti



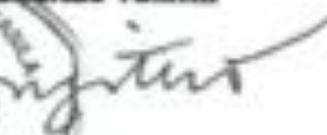
Dwi Rahmalina  
NIDN. 0301096901

Rektor



Prof. Dr. Wahono Sumaryono, Apt  
NIDN. 0321015401

Mengetahui,


Dr. Ir. Budhi Muliawan Suyitno, MT  
NPD. 491441002

Bidang Unggulan : Pengembangan Teknologi Transportasi

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 431/Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**PENGEMBANGAN KOMPOSIT HIBRID PARTIKEL KERAMIK  
DENGAN MATRIKS ALUMINIUM UNTUK MENINGKATKAN  
SIFAT TRIBOLOGI PADA KOMPONEN OTOMOTIF**

**Tahun pertama dari rencana 2 tahun**

**TIM PENGUSUL**

**Ketua : Dr. Ir. Dwi Rahmalina, M.T. (NIDN: 0301096901)**  
**Anggota : Hendri Sukma, S.T., M.T. (NIDN: 0313067103)**  
**Dr. M. Yudi M. Sholihin, M.Sc. (NIDN: 0303115701)**  
**Megara Munandar, S.T.,M.T. (NIDN: 0020108602)**

**UNIVERSITAS PANCASILA**

**OKTOBER 2017**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengembangan Komposit Hibrid Partikel Keramik dengan Matriks Aluminium untuk Meningkatkan Sifat Tribologi pada Komponen Otomotif

**Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : Dr. Ir D'WIRAHMALINA,  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila  
NIDN : 0301096901  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Teknik Mesin  
Nomor HP : 0816774504  
Alamat surel (e-mail) : drahmalina@yahoo.com; drahmalina@univpancasila.ac.id

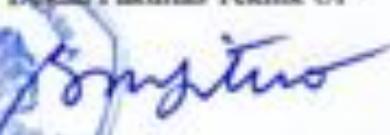
**Anggota (1)**  
Nama Lengkap : HENDRISUKMA  
NIDN : 0313067103  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila

**Anggota (2)**  
Nama Lengkap : Dr.Ir. MUHAMMAD YUDI MASDUKY SHOLIHIN  
M.Sc  
NIDN : 0303115701  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila

**Anggota (3)**  
Nama Lengkap : MEGARA MUNANDAR ST.,MT  
NIDN : 0020108602  
Perguruan Tinggi : Universitas Pancasila

**Institusi Mitra (jika ada)**  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 153,200,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 372,400,000

Mengetahui,  
Dean Fakultas Teknik UP



(Dr. Ir. BUDI M. SUYITNO, IPM)  
NIP/NIK 8825530017

D.K.I. JAKARTA, 25 - 10 - 2017  
Ketua,



(Dr. Ir D'WI RAHMALINA, )  
NIP/NIK 030109690

Menzetujui,  
Ka. LPPM Univ. Pancasila



(Dr. DEWI TRIBALAYU, MM)  
NIP/NIK 0330046201

## RINGKASAN

Pengembangan komposit matriks aluminium berpenguat partikel banyak dilakukan untuk aplikasi komponen otomotif karena mempunyai berat jenis yang lebih ringan dibanding logam ferrous juga memiliki performa yang baik seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi, sifat tahan aus dan tribologi yang baik serta koefisien ekspansi panas rendah. Karakteristik yang unggul dari komposit ini dapat diperoleh melalui penambahan penguat, seperti partikel keramik. Untuk meningkatkan sifat tribologi komposit dapat dibuat dengan sistem hibrid, yaitu dengan penggabungan penguat dua atau lebih jenis partikel keramik. Faktor penting yang mempengaruhi karakteristik komposit hibrid adalah jenis penguat, fraksi volume penguat serta kondisi daerah antarmuka penguat partikel dan matriks aluminium dengan kemampubasahan (*wettability*) optimal dan cacat rongga (*void*) yang minimal.

Riset ini bertujuan untuk mengembangkan komposit hibrid partikel keramik dengan matriks aluminium dari paduan AlMgSi untuk aplikasi komponen otomotif khususnya *disc brake* (cakram). Pengembangan ini dilakukan dengan mengacu kepada Rencana Induk Penelitian Universitas Pancasila dalam bidang unggulan Pengembangan Teknologi Transportasi, yang difokuskan pada topik riset Perancangan dan Manufaktur Kendaraan. Komposit Hibrid dikembangkan dengan menggunakan dua jenis partikel penguat yaitu alumina/SiC dan Grafit dalam matriks paduan AlMgSi. Komposit ini dimanufaktur dengan teknologi *squeeze casting*, yang merupakan gabungan dari proses pengecoran dan pembentukan dimana material diberikan tekanan pada saat mencapai temperatur semi solid dalam cetakan logam yang telah dipanaskan. Tahapan riset yang akan dikembangkan dalam Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi ini adalah meliputi optimasi komposisi matriks paduan aluminium AlMgSi dengan variasi Cu dan Zn, komposisi penguat dengan fraksi volume 15-25%, serta pengoptimalan parameter proses *squeeze casting* dengan desain *disc brake* yang telah dikembangkan untuk menghasilkan cacat rongga minimal dan sifat mekanis yang baik. Kajian performa tribologi dilakukan dengan variasi kecepatan dan beban aus dalam kondisi lingkungan sesuai aplikasi komponen *disk brake*. Selanjutnya komposit hibrid dikarakterisasi dengan pengujian sifat mekanis dan ketahanan aus, pengamatan struktur makro dan mikro menggunakan mikroskop optik dan elektron (SEM/EDS) serta pengujian XRD.

Hasil riset yang ditargetkan pada tahun pertama adalah memperoleh optimasi komposisi matriks aluminium AlMgSiCuZn, komposisi partikel keramik alumina/SiC dan Grafit, serta parameter proses *squeeze casting* sehingga memperoleh sifat mekanis komposit hibrid yang unggul. Selanjutnya, pada tahun kedua riset diharapkan dapat menghasilkan prototype komponen otomotif dari komposit hibrid dengan performa tribologi yang unggul dibanding logam lain yang umum digunakan. Juga diharapkan riset ini menjadi akan menjadi salah satu tonggak pengembangan industri komponen otomotif melalui pengembangan material secara mandiri di Indonesia.

*Kata kunci : komposit hibrid, matriks aluminium, squeeze casting, disc brake*

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN PENGESAHAN

RINGKASAN

DAFTAR ISI

1. PENDAHULUAN .....	1
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	11
4. METODE PENELITIAN .....	12
5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI .....	14
6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA .....	28
7. KESIMPULAN DAN SARAN .....	29

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Artikel Ilmiah

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Pertumbuhan industri transportasi dan otomotif di Indonesia mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Pada tahun 1998, pasar otomotif mempunyai daya serap hanya 17,611,767 unit. Namun, 10 tahun kemudian tumbuh menjadi 61,685,063 unit [1]. Kondisi ini diperkuat dengan adanya program pengembangan industri otomotif secara simultan yang dijalankan Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, yang salah satunya adalah program mobil penumpang hemat energi dan harga terjangkau buatan dalam negeri yang dituangkan melalui kebijakan industri dalam Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 2013 [2]. Program ini tidak semata-mata mengarahkan untuk membuat mobil dengan harga murah dan irit, namun juga menggiring pembangunan industri komponen otomotif dalam negeri dan meningkatkan kemandirian nasional di bidang teknologi otomotif [3]. Hal ini menempatkan industri otomotif sebagai satu dari tiga industri yang diharapkan menjadi pendorong pertumbuhan industri nasional dan perekonomian di Indonesia. Akan tetapi para pelaku industri otomotif mengalami beberapa kendala diantaranya adalah belum seluruhnya industri pendukung seperti bahan baku dan komponen dibuat di dalam negeri. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan material bahan baku komponen yang dapat diproduksi secara mandiri di dalam negeri. Material tersebut harus memiliki persyaratan yang memadai seperti biaya yang lebih murah, ringan namun mempunyai kualitas yang baik dan unggul.

Mengacu kepada agenda riset nasional dan dalam rangka memenuhi kebutuhan dalam negeri, Rencana Induk Penelitian Universitas Pancasila mempunyai sasaran umum berupa meningkatkan daya saing bangsa dan kesejahteraan melalui pengembangan IPTEK yang unggul berwawasan lingkungan dan berkesinambungan. Salah satu program strategis yang dituangkan dalam pelaksanaan penelitian unggulan adalah pengembangan teknologi transportasi berupa pengembangan model kendaraan yang ramah lingkungan sebagai pendukung kebijakan pengembangan teknologi masal. Pengembangan ini dapat dilakukan melalui topik riset perancangan dan manufaktur kendaraan. Salah satu aspek penting dalam perancangan dan manufaktur kendaraan adalah pengembangan material untuk memenuhi kebutuhan aplikasi komponen kendaraan, yang dapat dilakukan dengan pengembangan komposit sebagai material ringan dengan performa unggul. Penggunaan komposit matriks aluminium sebagai produk otomotif akan mampu mengurangi bobot

komponen serta memiliki kekuatan yang baik, sehingga performa produk otomotif tersebut menjadi lebih baik dan hemat bahan bakar.

Komposit matriks aluminium juga memiliki ketahanan korosi serta mempunyai elastisitas yang lebih baik. Selain itu, komposit matriks aluminium memiliki sifat *tailorability*, sehingga sifat mekanis yang diinginkan dapat dimodifikasi tergantung dari kombinasi matriks, penguat serta kondisi pada daerah antarmukanya [4,5]. Keunggulan ini yang menjadi dasar para periset untuk mengembangkan komposit matriks aluminium sebagai alternatif pengganti material konvensional.

Penelitian terhadap pasar global menunjukkan bahwa sejak tahun 2004, lebih dari 2 juta kilogram bahan komposit matriks aluminium telah digunakan pada berbagai industri, yang sebagian besar adalah untuk menunjang transportasi darat [6]. Penggunaan komposit ini dari tahun ke tahun akan terus meningkat cepat dengan laju pertumbuhan per tahun mencapai 6.5 % [7]. Di beberapa negara, baik di benua Asia maupun Eropa, komposit matriks aluminium telah digunakan secara komersial pada komponen mesin seperti piston, *connecting rod*, *brake system* dan *cylinder liner*. Karakteristik yang harus dimiliki oleh masing-masing komponen tersebut dapat dipenuhi oleh komposit matriks aluminium. Komponen sistem pengereman seperti *disc brake* dan *brake drum* memerlukan sifat tribologi berupa kekerasan, ketahanan aus dan konduktivitas panas tinggi. Dengan menggunakan komposit matriks aluminium berpenguat partikel keramik, persyaratan ini dapat dipenuhi dan dapat mengurangi berat komponen hingga 50-60% dibandingkan bahan besi tuang. Keuntungan lain dari komposit matriks aluminium untuk *brake rotor* adalah mengurangi *brake noise* dan keausan serta menghasilkan gesekan yang lebih seragam [8].

Faktor penting yang mempengaruhi performa komposit matriks aluminium adalah jenis penguat yang digunakan dan jumlah fraksi volume dari penguat. Penggunaan partikel keramik SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alumina) dan Gr (grafit) umumnya digunakan sebagai penguat pada komposit matriks aluminium [9]. Masing-masing jenis penguat ini memiliki peran yang berbeda terhadap sifat mekanis dan sifat tribologi komponen. Dengan meningkatkan fraksi volume penguat SiC dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maka sifat mekanis komposit akan bertambah, sedangkan peningkatan fraksi volume Gr akan meningkatkan sifat tribologi komposit [10]. Performa optimal dari komponen *disc brake* yang membutuhkan sifat mekanis dan juga sifat tribologi yang baik dapat diperoleh melalui pengembangan komposit hibrid, yaitu dengan penambahan kombinasi dari dua jenis partikel penguat tersebut.

Peneliti utama dalam penelitian sebelumnya telah berhasil mengembangkan manufaktur komposit berpenguat partikel SiC untuk menghasilkan komposit dalam bentuk pelat [11]. Rahmalina, et.al [12] juga pada penelitiannya menunjukkan bahwa proses *squeeze casting* dapat meningkatkan kemampubasahan (*wettability*) pada daerah antarmuka matriks dan penguat kawat tali baja sehingga menurunkan terjadinya cacat rongga (*void*). Penelitian lain yang dilakukan oleh Rahmalina, et.al [13] menunjukkan bahwa peningkatan SiC dengan fraksi volume 10% mempunyai sifat mekanis yang baik untuk aplikasi balistik. Peningkatan sifat mekanis komposit matriks Al9ZnMgSi berpenguat SiC dapat diperoleh dengan proses pengerolan maupun perlakuan panas [14,15]. Komposit yang dihasilkan ini masih membutuhkan pengembangan agar diperoleh sifat mekanis dan tribologi yang unggul, terutama untuk aplikasi *disc brake*, yaitu dengan pengembangan komposit hibrid.

Riset yang diajukan dalam skema Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi ini memfokuskan pada pengembangan komposit hibrid partikel keramik dengan matriks aluminium untuk meningkatkan sifat tribologi menggunakan teknologi *squeeze casting* untuk menghasilkan komponen otomotif berupa *disc brake*. Paduan untuk matriks yang digunakan adalah Al-Mg-Si, dengan banyaknya unsur paduan yang ditambahkan berdasarkan penelitian sebelumnya [16,17]. Komposit diperkuat dengan hibrid partikel silikon karbida (SiC) dan Grafit (Gr), dengan fraksi volume yang divariasikan menjadi 15, 20, dan 25%. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh *prototype* komponen *disc brake* dari komposit hibrid yang dimanufaktur menggunakan teknologi *squeeze casting* dengan sifat tribologi yang unggul.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### *State of The Art*

Komposit adalah material hasil kombinasi makroskopis dari dua atau lebih komponen yang berbeda, dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik daripada sifat masing-masing komponen penyusunnya. Komponen penyusun dari komposit, yaitu berupa penguat (*reinforcement*) dan pengikat (*matrix*) [4]. Kekuatan dan sifat dari komposit dipengaruhi oleh fasa penyusunnya, komposisi serta geometri dari fasa penguat. Geometri fasa penguat disini adalah bentuk dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasinya. Penguat merupakan material yang umumnya jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi memberikan kekuatan tarik. Matriks berfungsi sebagai media penghantar beban ke penguat, menahan penyebaran retak dan melindungi penguat dari efek lingkungan serta kerusakan akibat benturan.

Untuk mempelajari penguatan pada komposit, dilakukan pengamatan terhadap perilaku komponen penyusunnya. Analisis mikromekanik merupakan perhitungan yang menjelaskan 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 skala mikroskopik [5]. Mikromekanik sangat penting terutama dalam mempelajari sifat-sifat komposit, seperti *strength*, *fracture toughness*, dan *fatigue life*, di mana sangat dipengaruhi karakteristik lokal yang tidak dapat diintegrasikan atau dirata-ratakan.

Berikut ini merupakan perhitungan yang digunakan dalam analisis mikromekanik, yaitu [4,5] :

1. Modulus elastisitas longitudinal

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

2. Modulus elastisitas transversal

$$\frac{1}{E_2} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (2)$$

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

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m} \quad (3)$$

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (4)$$

$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m V_m \quad (5)$$

dimana :

$E_m$  = modulus elastisitas matriks

$E_f$  = modulus elastisitas penguat

$V_f$  = volume fraksi fiber

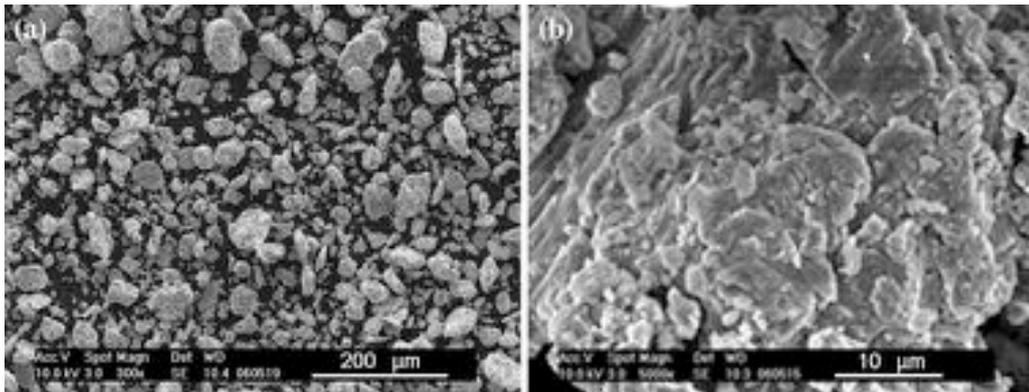
$V_m$  = volume fraksi matriks ( $V_m = (1 - V_f)$ )

Faktor penting yang mempengaruhi kinerja komposit adalah kondisi kemampubasahan (*wettability*) pada daerah antarmuka matriks dan penguat, dimana kondisi yang baik adalah antarmuka dengan cacat rongga minimal. Untuk meningkatkan kemampubasahan, salah satunya adalah dengan merubah komposisi matriks seperti penambahan unsur magnesium dalam matriks paduan aluminium. Magnesium dalam pembuatan komposit berfungsi sebagai *wetting agent*, yaitu sebagai pengikat *interface* antara matriks dan penguat. Logam ini berfungsi untuk memperkuat ikatan adhesi antara dua unsur atau lebih dari pembentuk komposit [4,5].

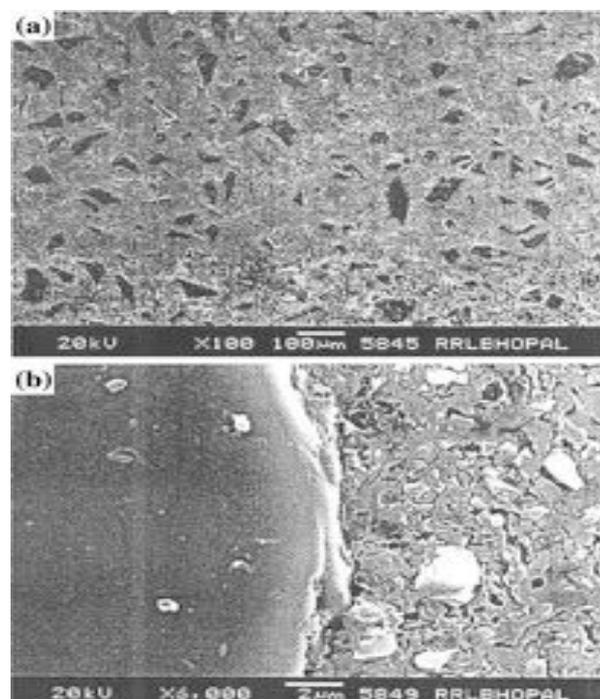
Upaya lain yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan perlakuan permukaan pada partikel penguat, seperti yang diterapkan pada komposit matriks aluminium berpenguat partikel silikon karbida. Perlakuan permukaan dapat dilakukan dengan memberikan lapisan oksida logam tipis yang akan berperan sebagai pengikat pada daerah antarmuka. Metoda perlakuan permukaan lain adalah dengan menghasilkan oksidasi dari partikel SiC dengan pemanasan pada temperatur tinggi selama beberapa saat [18]. Penambahan partikel silikon karbida sebagai penguat dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan pada komposit. Karakteristik komposit partikulat sangat ditentukan oleh struktur mikro terkait dengan distribusi partikel dan cacat rongga yang terjadi. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait paduan aluminium berpenguat silikon karbida dan berbagai perlakuan untuk meningkatkan sifat komposit berpenguat silikon karbida.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahmalina, et.al [13] menunjukkan bahwa peningkatan SiC dengan fraksi volume 10% mempunyai sifat mekanis yang baik untuk aplikasi balistik. Lin, et al. [19] melakukan penelitian mengenai struktur mikro nanostruktur komposit matriks logam AA2024-SiC, seperti terlihat pada Gambar 1. Bhat, et al. [20] telah meneliti struktur mikro dari komposit A356-SiCp hasil proses laser, yang menunjukkan bahwa pemberian energi lebih dari 13 kJ/cm<sup>2</sup> menunjukkan keberadaan *platelet* Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>. Riset yang dilakukan oleh Thimmarayan [21] mengenai pengaruh ukuran

partikel, proses tempa dan perlakuan penuaan terhadap karakteristik fatik dari komposit AA6082 berpenguat SiCp, menunjukkan bahwa penambahan SiC dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan luluh dan konstanta elastis dari komposit tetapi mengalami penurunan keuletan. Penambahan SiC juga meningkatkan ketahanan fatik komposit seiring dengan pemberian beban tempa dan *ageing*.



Gambar 2.1. (a) Gambaran SEM dari nanokomposit AA2024-25%SiC yang dibuat dengan *cryomilling*; (b) Gambar perbesaran dari partikel teraglomerisasi yang terlihat dari (a)[19].



Gambar 2.2 (a) *Secondary Electron Image* yang menunjukkan distribusi dari partikel SiC dalam matriks paduan aluminium. (b) Daerah antar muka partikel SiC dengan matriks [22].

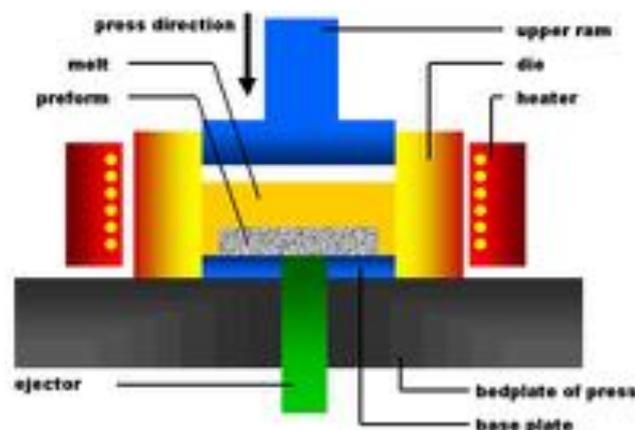
Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui respons proses perlakuan terhadap komposit matriks aluminium berpenguat silikon karbida. Rahmalina, et al. [14] meneliti respons proses pengerolan terhadap komposit matriks paduan AlZnMgSi/SiCp. Dalam penelitiannya Rahmalina, et al. [15] menunjukkan bahwa peningkatan sifat mekanis komposit matriks Al9ZnMgSi berpenguat SiC dapat diperoleh dengan proses perlakuan panas. Rajput, et al. [22] telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan SiC terhadap penguatan penuaan (*ageing*) dari komposit aluminium dan komposit aluminium berbentuk *foam closed cell*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan SiC akan mempercepat waktu *ageing*, sedangkan pada penambahan 5 % SiC pada *foam* mempercepat *ageing* dibandingkan komposit, dengan distribusi SiC seperti terlihat pada Gambar 2. Penelitian lain menunjukkan bahwa keberadaan partikel SiC dapat meningkatkan *peak hardness* [23]. Penambahan unsur Zn pada paduan aluminium memberikan respons terhadap perlakuan panas paduan AlSiMg dengan terbentuknya endapan MgZn<sub>2</sub> yang selanjutnya memberikan efek peningkatan kekerasan dari paduan.

Sebagai upaya untuk meningkatkan ketahanan aus dan sifat tribologi, komposit matriks aluminium berpenguat SiC dapat ditambahkan Grafit menghasilkan komposit hibrid, yaitu komposit dengan dua atau lebih penguat [10,24-26]. Devaraju, et al. [27,28] mempelajari pengaruh penguat SiC/Gr dan SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap ketahanan aus dari komposit hibrid Al6061-T6 dengan proses *friction stir*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan komposit hibrid SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih tinggi dibandingkan dengan penguat SiC/Gr, tetapi memiliki ketahanan aus yang lebih rendah karena grafit lebih banyak menghasilkan efek pelumasan padat dibanding Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Proses manufaktur komposit menjadi suatu faktor yang juga menentukan karakteristik komposit. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan proses pengecoran khusus, yaitu dengan teknologi *squeeze casting*. Proses *squeeze casting* merupakan teknik pengecoran khusus yang menggabungkan keunggulan dari *High Pressure Die Casting* dan teknologi *forging* [29,30]. Keunggulan yang dihasilkan adalah mengeliminasi jumlah gas yang terperangkap dalam hasil cor dan mengurangi jumlah penyusutan akibat solidifikasi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperoleh komposit dengan karakteristik yang baik melalui proses *squeeze casting*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Souissi et al. [31], metode *squeeze casting* dapat mengurangi porositas akibat

pemberian tekanan selama proses pembekuan, selain itu metode *squeeze casting* juga dapat menambah kekerasan paduan aluminium. Vijarayam, et al. [32] telah melakukan penelitian mengenai fabrikasi komposit matriks logam yang diperkuat dengan serat menggunakan *squeeze casting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini mempunyai keuntungan antara lain mengeliminir porositas dan *shrinkage*, memperoleh *yield casting* 100 %, permukaan dan akurasi dimensi yang baik, peningkatan kekerasan dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Dieringa, et al. [33] juga menunjukkan hasil coran dengan kualitas yang baik dengan porositas hanya 0.5 % pada pembuatan komposit matriks logam magnesium dengan penguat serat karbon melalui proses *squeeze casting* dengan skema seperti terlihat pada Gambar 3. Proses ini juga telah dikembangkan untuk membuat komposit berbasis matriks aluminium dengan hasil yang memuaskan karena tekanan yang diberikan pada permukaan menciptakan kondisi transfer panas yang cepat sehingga menghasilkan hasil pengecoran dengan butir halus yang bebas porositas dengan sifat mekanik yang mendekati hasil dari proses tempa [34].



Gambar 2.3. Sketsa peralatan *squeeze casting* [33].

Peneliti utama dalam penelitian sebelumnya juga telah berhasil mengembangkan manufaktur komposit berpenguat partikel SiC untuk menghasilkan komposit dalam bentuk pelat [12]. Rahmalina, et.al [16] juga pada penelitiannya menunjukkan bahwa proses *squeeze casting* dapat meningkatkan kemampubasahan pada daerah antarmuka matriks dan penguat kawat tali baja serta menurunkan terjadinya cacat rongga. Pada penelitian ini, selanjutnya akan dikembangkan komposit hibrid partikel keramik SiC dan Grafit dengan matriks AlMgSi dengan menggunakan teknologi manufaktur *squeeze casting* untuk aplikasi komponen *disc brake* dengan performa tribologi yang baik.



komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja yang menggunakan teknologi laminasi. Telah pula dikembangkan komposit matriks aluminium berpenguat kawat tali baja dengan variasi unsur paduan Mg dan Cu melalui proses *squeeze casting*. Pengembangan selanjutnya yang telah berhasil dilakukan adalah perolehan panel komposit matriks aluminium dengan matriks Al-Zn-Mg berpenguat 20 % SiC yang mempunyai kekerasan dan ketangguhan yang baik. Untuk memudahkan proses fabrikasi, maka selanjutnya dikembangkan komposit matriks aluminium berpenguat alumina melalui proses *squeeze casting* dengan tekanan sebesar 20 Ton yang dilakukan pada temperatur semi solid. Pada tahap ini kestabilan temperatur ternyata sulit untuk dilakukan, demikian pula pemanasan cetakan. Sebagai upaya untuk lebih meningkatkan karakteristik komposit yang dihasilkan, juga telah dilakukan pengembangan cetakan dan modifikasi peralatan *squeeze casting* berupa pemberian *heater* pada cetakan, desain cetakan dan desain komponen. Pada tahap ini telah berhasil membuat prototype komponen piston dari matriks AlZnMgSi dan penguat  $Al_2O_3$ . Untuk aplikasi komponen otomotif yang membutuhkan performa tribologi yang baik, seperti *disc brake*, maka dilakukan pengembangan komposit hibrid berpenguat SiC/Gr melalui Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi ini. Pada tahun pertama akan diperoleh optimasi komposisi unsur paduan dari matriks AlMgSi dan komposisi partikel penguat SiC dan Grafit dengan sifat mekanis yang baik. Selanjutnya pada tahun kedua riset ini diharapkan dapat menghasilkan prototype komponen otomotif dari komposit hibrid dengan performa tribologi yang unggul.

### **BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **Tujuan Penelitian**

1. Mengembangkan komposit hibrid partikel keramik dari SiC dan Gr dengan matriks paduan AlMgSi melalui variasi komposisi penguat dan matriks untuk aplikasi komponen otomotif *disc brake* yang dimanufaktur dengan teknologi *squeeze casting*.
2. Mempelajari hubungan antara fraksi volume partikel penguat dengan karakteristik mekanik komposit hibrid seperti kekerasan, kekuatan serta struktur mikro dan makronya.
3. Mengkaji performa tribologi komposit hibrid dengan variasi kecepatan dan beban aus pada pengujian ketahanan aus dalam kondisi lingkungan sesuai aplikasi *disc brake*.

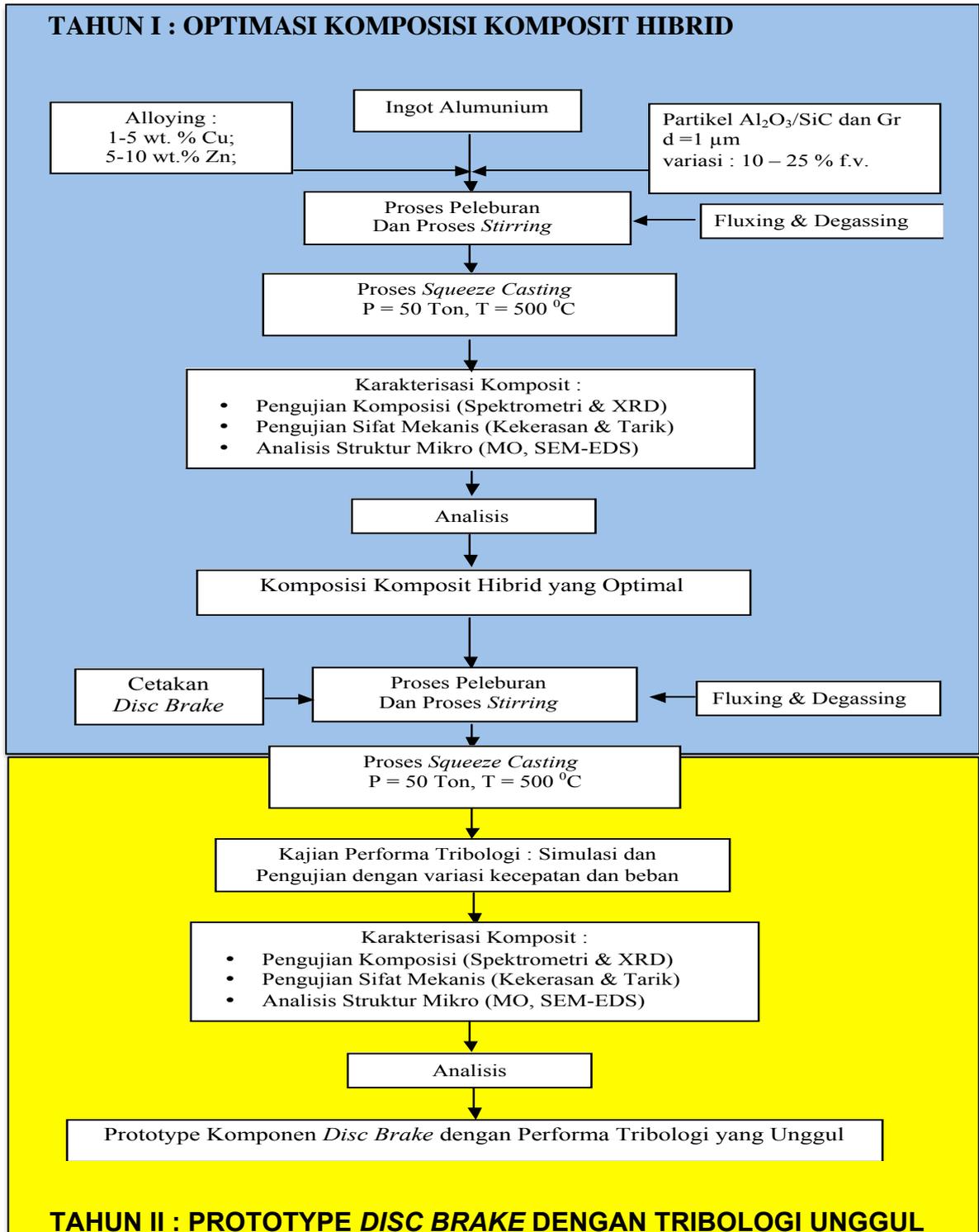
#### **Manfaat Penelitian**

Riset ini penting untuk dilakukan karena merupakan bagian dari fokus unggulan riset Universitas Pancasila yang memberikan manfaat dalam beberapa hal sekaligus, yaitu dalam jangka panjang diharapkan bahwa hasil riset ini dapat membuka peluang pengembangan material untuk komponen otomotif secara mandiri, untuk meningkatkan daya saing bangsa; serta mengembangkan teknologi material dan manufaktur yang sesuai untuk menghasilkan komposit hibrid dengan matriks aluminium.

Hasil riset ini diharapkan dapat memperkuat sistem inovasi nasional di bidang industri manufaktur dengan diperolehnya teknologi yang dapat diaplikasikan untuk membuat komponen otomotif yang ringan dengan karakteristik yang unggul, 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 partikel alumina dengan karakteristik yang baik, maka riset dirancang mengikuti diagram alir seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada riset ini adalah :

1. Optimasi komposisi komposit hibrid dengan variasi unsur paduan dalam matriks AlMgSi dan variasi penguat SiC dan grafit (Tahun I).

Tahapan yang akan dilakukan adalah :

- Persiapan bahan baku. Material awal yang digunakan adalah ingot Al dengan diberikan penambahan unsur paduan Cu dan Zn. Sedangkan alumina, silikon karbida dan grafit yang digunakan adalah dalam bentuk serbuk berukuran 1-10  $\mu\text{m}$  dengan variasi fraksi volume 10, 15 dan 20 %.
  - Proses peleburan paduan aluminium dilakukan dalam dapur lebur dengan temperatur lebur 820-850<sup>0</sup>C, disertai dengan proses degassing dan *stirring*.
  - 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 50 Ton.
2. Proses pembuatan prototype komponen *disc brake* dari komposit hibrid dengan komposisi yang optimal dari matriks aluminium dan penguat SiC dan grafit (Tahun II).

Tahapan yang akan dilakukan adalah :

- Desain dan Pembuatan cetakan komponen *disc brake*, menggunakan *software PROENG & Z-Cast*.
  - Proses peleburan paduan aluminium dilakukan dalam dapur lebur dengan temperatur lebur 820-850<sup>0</sup>C, disertai dengan proses degassing dan *stirring*.
  - 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 50 Ton.
3. Kajian performa tribologi dengan simulasi ANSYS Structure serta pengujian eksperimental dengan variasi kecepatan luncur dan beban.
  4. Karakterisasi komposit matriks aluminium.
    - Pengujian komposisi pada paduan aluminium dan alumina, dengan Spektro, XRD.
    - Analisis struktur mikro dan permukaan patahan dengan mikroskop optik dan SEM.
    - Pengujian Mekanis, berupa pengujian Kekerasan dan tarik serta ketahanan aus.
    - Pengujian Tidak Merusak (NDT) dengan metode radiografi.

## BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

### 5.1 Pengaruh Unsur Paduan Cu pada Matriks Komposit

#### 5.4.1 Perhitungan Komposisi Aluminium Komposit dengan variasi 1-5% Cu

Pada penelitian ini dilakukan pembahasan mengenai pengaruh penambahan unsur Cu terhadap karakteristik komposit Al-Si-Cu dengan penguat  $Al_2O_3$  dan SiC partikulat. Dari hasil perhitungan persentase fraksi volume penguat 15% yaitu 7,5% fraksi volume  $Al_2O_3$ , 7,5% fraksi volume SiC dan persentase berat unsur paduan 0,5 wt% Cu, 1 wt% Cu dan 1,5 wt% Cu yang ditambahkan kedalam matriks aluminium Al-Si-Cu seperti terlihat pada Tabel berikut.

Tabel 5.1 Perhitungan paduan aluminium komposit

Unsur	Al-Si	Cu	$Al_2O_3$	SiC
Berat Unsur	V1: 2,4258 kg	V1: 12,2 g	314,4 g	229,7 g
	V2: 2,4136 kg	V2: 24,4 g		
	V3: 2,4014 kg	V3: 36,6 g		

#### 5.4.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Dari hasil pengujian komposisi kimia pada aluminium matriks komposit, terlihat ada beberapa unsur yang terdapat dalam hasil pengujian.

Tabel 5.2 Hasil pengujian komposisi kimia

Kode Sampel	Al (%)	Si (%)	Cu (%)	Mg (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)
A	89.9	8.59	0.844	0.0123	0.315	0.0230	0.159
B	87.72	11.1	1.03	0.0125	0.327	0.0228	0.170
C	86.8	10.7	1.64	0.0092	0.404	0.0245	0.195

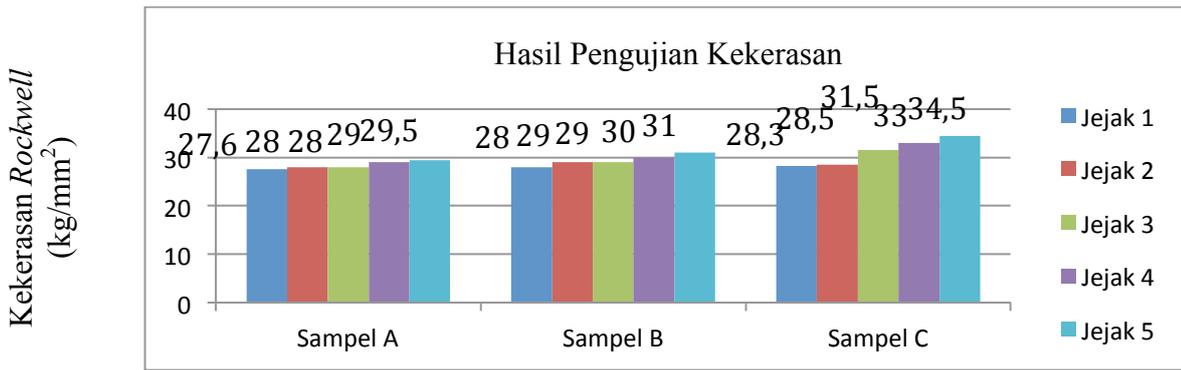
Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan kandungan unsur yang terdapat dalam material aluminium matriks komposit Al-Si-Cu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji *spectrometer* dengan standar ASTM E1251. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia pada semua sampel yang ada terlihat terjadi peningkatan unsur Si yang merata pada semua sampel, hal ini terjadi karena ditambahkan unsur penguat SiC sebesar 7,5%. Unsur Si dapat meningkatkan kekerasan dan *cast ability*. Terdapatnya persentase unsur Fe dan Mn tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanis aluminium matriks komposit Untuk pembahasan selanjutnya, maka Cu yang digunakan sesuai dengan hasil pengujian komposisi kimia, yaitu pada sampel A 0,8 wt% Cu, pada sampel B 1 wt% dan pada sampel C 1,6 wt%.

#### 5.4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat kekerasan pada komposit matriks aluminium Al-Si-Cu dengan penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiC. Pengujian kekerasan yang dilakukan sesuai standar ASTM E18.

Tabel 5.3 Hasil pengujian kekerasan

Kode Sampel	Penjejakan Load: 60 kgf	Kekerasan Rockwell	Rata-rata	Keterangan
A	I	27,6	28,42	HRA
	II	28		
	III	28		
	IV	29		
	V	29,5		
B	I	28	29,04	HRA
	II	29		
	III	29		
	IV	30		
	V	31		
C	I	28,3	31,16	HRA
	II	28,5		
	III	31,5		
	IV	33		
	V	34,5		

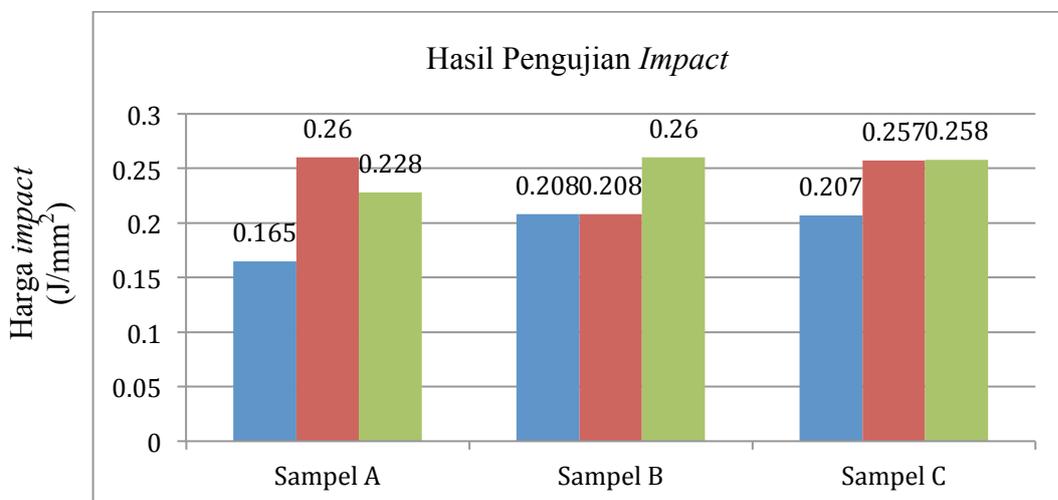


Gambar 5.1. Grafik Pengujian Kekerasan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan hasil yang didapat dari masing-masing target menunjukkan. Sampel C dengan target 1,6 wt% Cu yang memiliki nilai kekerasan diatas sampel A dan B yaitu 31,16 kg/mm<sup>2</sup>. Sampel A memiliki nilai kekerasan 28,42 kg/mm<sup>2</sup> dan sampel B memiliki nilai kekerasan sebesar 29,04 kg/mm<sup>2</sup>, menunjukkan semakin tinggi persentase unsur paduan yang ditambahkan dalam material matriks komposit akan memberikan perubahan pada sifat mekanis material.

#### 5.4.4 Hasil Pengujian Impact

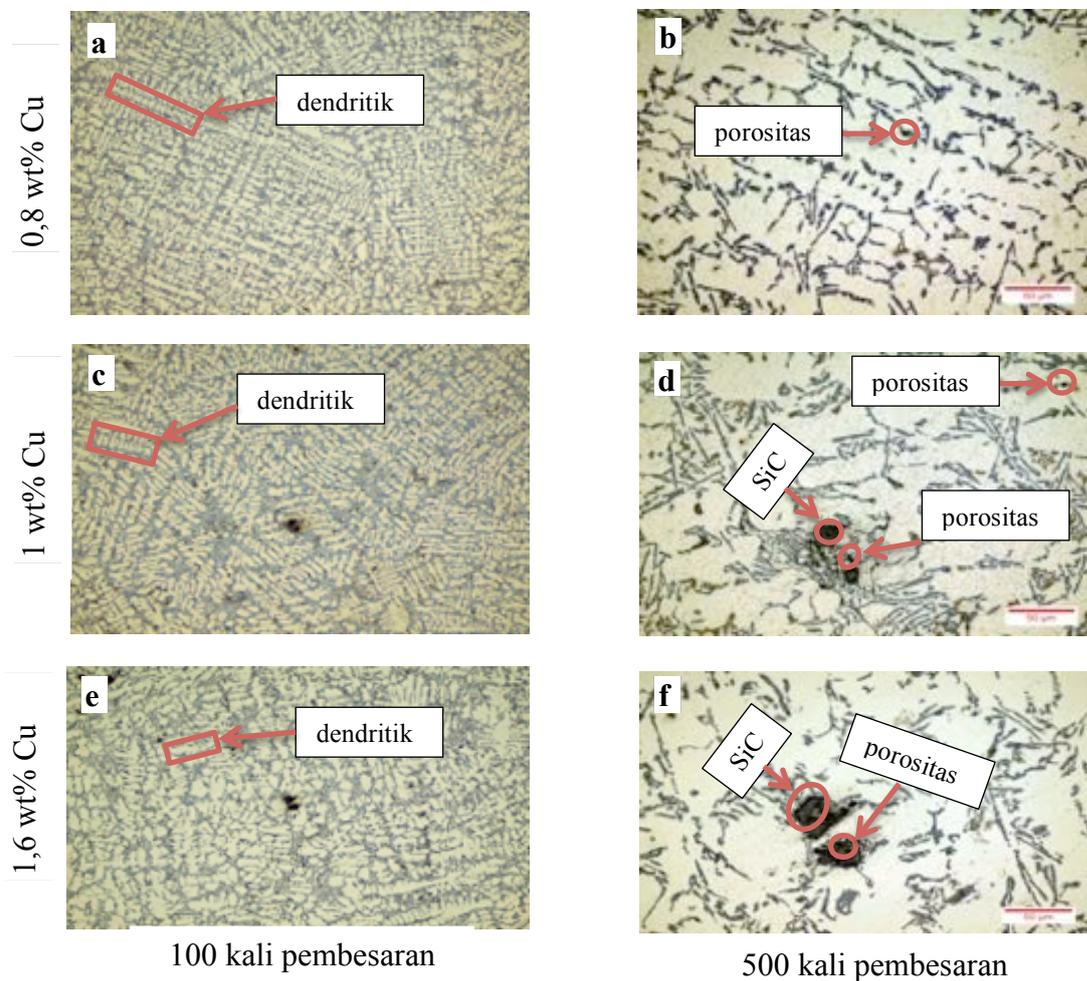
Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui ketangguhan dari material dengan menggunakan standar ASTM E23, pengujian *impact* jenis *charpy* dengan bentuk takik *notch* V untuk mengetahui kemampuan dari suatu material dalam menyerap energi. Apabila ditinjau dari jenis patahannya terlihat getas. Hal ini diindikasikan oleh warna patahan yang mengkilat dan bekas patahan yang cenderung merata.



Gambar 5.2 Grafik harga impact

### 5.4.5 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Maksud dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan gambaran struktur mikro permukaan dari material aluminium matriks komposit yaitu Al-Si-Cu dengan 15% penguat keramik yaitu 7,5 % fraksi alumina dan 7,5 % SiC. dapat terlihat pada Gambar 5.4. Telihat dari hasil pengamatan struktur mikro pada aluminium matriks komposit Al-Si-Cu dengan berpenguat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan SiC partikulat semakin tinggi persentase Cu yang ditambahkan akan membuat struktur dendritiknya semakin memndek (kasar) dan meningkatkan sifat mekanis seperti kekerasan, nilai *impact* aluminium matriks komposit Al-Si-Cu meningkat.



Gambar 5.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

## 5.2 Pengaruh Unsur Paduan Zn pada Matriks Komposit

### 5.2.1 Perhitungan Komposisi Aluminium Komposit dengan variasi 5-13% Zn

Pada penelitian ini selanjutnya dilakukan pembahasan mengenai pengaruh penambahan unsur Zn terhadap karakteristik komposit dengan penguat grafit dan SiC partikulat.

Tabel 5.4 Perhitungan paduan aluminium komposit

Aluminium (kg)	Si (kg)	Variasi Zn (kg)	Mg (kg)	SiC (kg)	Grafit (kg)
1.9438	0.1813	0.2095	0.2554	0.2616	0.1543
1.8402		0.3131			
1.6866		0.4967			

### 5.2.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Hasil dari pengujian komposisi kimia yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel dibawah ini. Kode sampel dinamakan A untuk variasi 1 dengan unsur Zn sebesar 5 wt%, Sampel B untuk variasi 2 dengan unsur Zn sebesar 9 wt% sedangkan sampel C untuk variasi 3 dengan unsur Zn sebesar 13 wt%.

Tabel 5.5 Hasil pengujian komposisi kimia komposit hibrid

Kode Sampel	Al (%)	Si (%)	Zn (%)	Mg (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)
A	80.2	7.20	5.45	6.83	0.0772	0.0019	0.0010
B	75.1	7.52	9.09	8.07	0.0695	0.0010	0.0010
C	63.7	6.55	13.0	5.71	0.192	0.083	0.0081

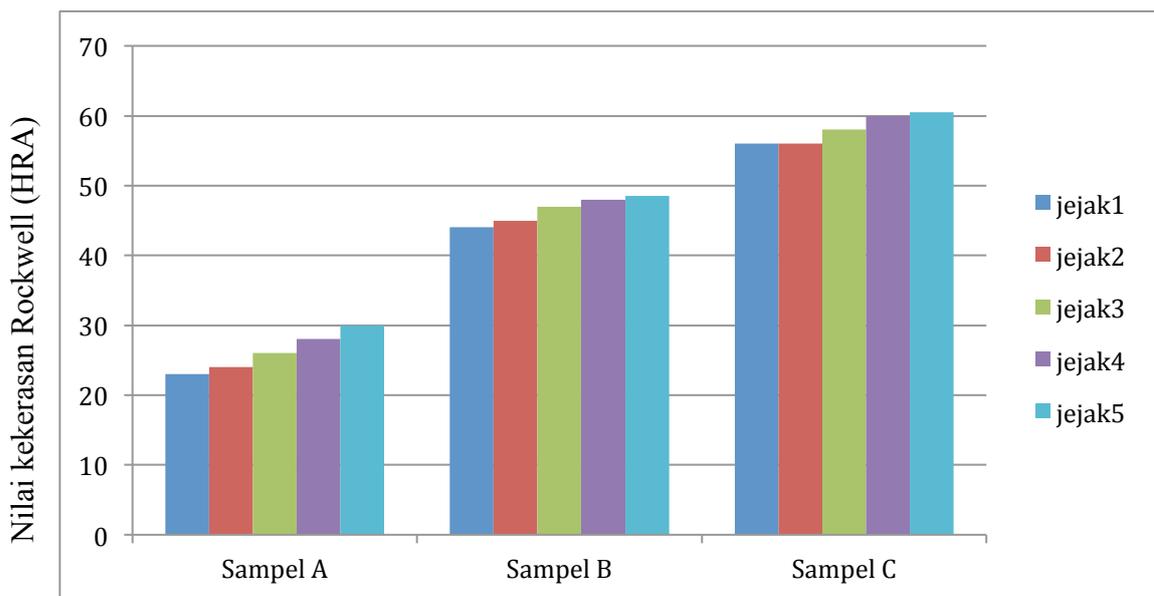
Peningkatan kadar Zn dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan paduan aluminium. Penambahan unsur Zn juga akan meningkatkan kekerasan komposit. Kondisi ini disebabkan adanya mekanisme *solid solution strengthening*, dimana Zn terlarut sebagai atom tersubsitusi pada kisi atom aluminium [5]. Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan, terlihat pengaruh variasi unsur Zn semakin tinggi nilai unsur Zn maka semakin tinggi nilai karakteristik pada material komposit hibrid.

### 5.2.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan kode sampel dinamakan A untuk variasi 1, sampel B untuk variasi 2, sedangkan sampel C untuk variasi 3. Terlihat bahwa nilai rata-rata kekerasan dengan memvariasikan unsur Zn, semakin tinggi nilai unsur Zn maka nilai kekerasan yang didapat semakin tinggi pada material Al-Si-Mg-Zn yang terdapat pada unsur Zn 13 wt% dengan nilai kekerasan 58.1 HRA.

Tabel 5.6 Hasil uji kekerasan komposit hibrid

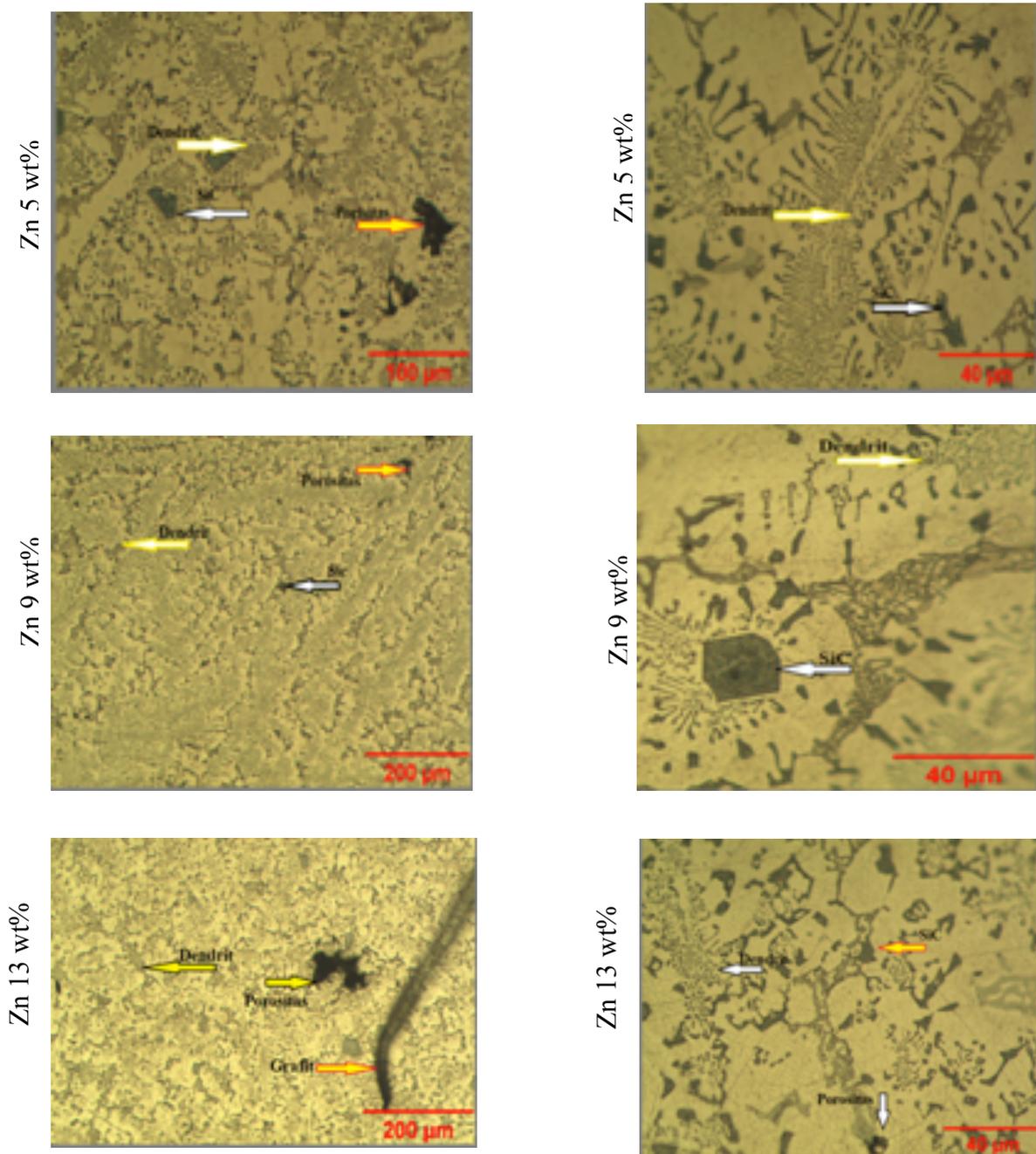
Kode Sampel	Penjejakan Load	Kekerasan (HRA)	Rata-rata (Kgf)
A (Zn 5 wt%)	I	23	26.2
	II	24	
	III	26	
	IV	28	
	V	30	
B (Zn 9 wt%)	I	44	46.5
	II	45	
	III	47	
	IV	48	
	V	48.5	
C (Zn 13 wt%)	I	56	58.1
	II	56	
	III	58	
	IV	60	
	V	60.5	



Gambar 5.4 Grafik pengujian kekerasan

## 5.2.4 Hasil Pengamatan Metalografi

Dari hasil pengamatan struktur mikro dengan pembesaran 100x dan 500x dapat dilihat pada persentase dendritiknya terlihat dengan unsur Zn 5 wt% dan juga terlihat porositas. Pada Zn 5 wt% porositas terlihat lebih banyak dibandingkan dengan 9 wt%. Pada semua sampel terdapat porositas yang penyebarannya merata, dimana penambahan Zn serta penambahan temperatur dapat mempengaruhi semakin sedikit porositas.



(a) 100 kali pembesaran

(b) 500 kali pembesaran

Gambar 5.5 Hasil pengamatan struktur mikro pada material komposit hibrid Al-Si-Mg-Zn berpenguat Grafit dan SiC

### 5.3 Pengaruh Penguat Grafit pada Komposit Matriks Aluminium

#### 5.3.1 Perhitungan Aluminium Komposit Variasi Penguat Grafit 3,5,7 %

Perhitungan berdasarkan persamaan massa jenis, maka massa jenis dari komposit Al-7Si-9Zn-6Mg dengan penguat 8%,10%,12% fraksi volume yang divariasikan menggunakan grafit dan alumina maka dapat diketahui :

Tabel 5.7 Perhitungan paduan aluminium komposit

%	Matriks Aluminium (85%)				Sampel A		Sampel B		Sampel C	
	Al	Si (7wt)	Mg (6wt)	Zn (9wt)	Grafit (3% Fv)	Alumina (5% Fv)	Grafit (5% Fv)	Alumina (5% Fv)	Grafit (7% Fv)	Alumina (5% Fv)
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2700	2330	1738	7134	1900	3220	1900	3220	1900	3220
m (kg)	2,8883	0,2636	0,2485	0,3661	0,0794	0,2244	0,1324	0,2244	0,1854	0,2244

#### 5.3.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Dari hasil pengujian komposisi kimia pada aluminium matriks komposit Al-7Si-9Zn-6Mg dengan penguat Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Grafit., terlihat ada beberapa unsur yang terdapat dalam hasil pengujian.

Tabel 5.8 Hasil pengujian komposisi kimia

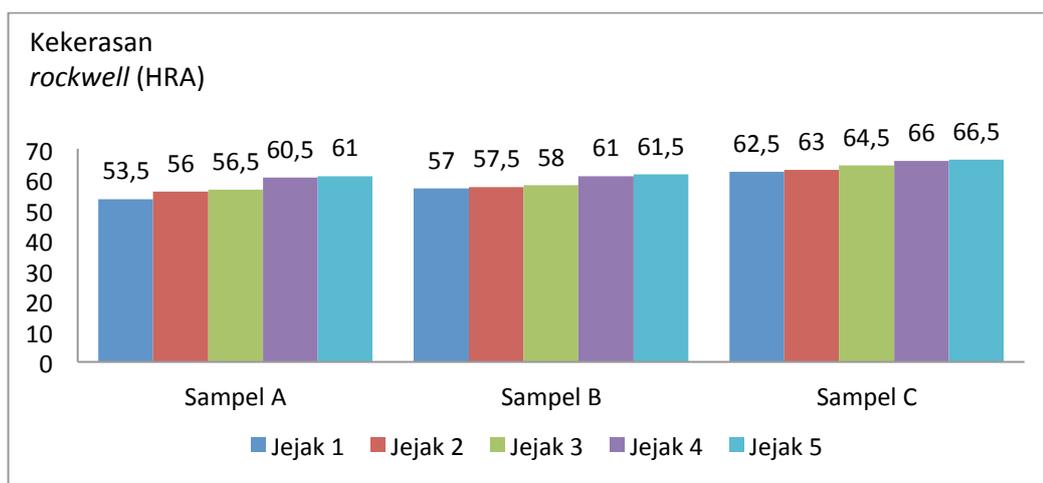
Kode Sampel	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
A	76,2	7,37	0,138	0,155	0,0010	4,23	12,0
B	75,2	7,47	0,129	0,0010	0,0010	5,57	11,6
C	73,9	7,36	0,104	0,0010	0,0010	5,65	12,9

### 5.3.3 Hasil Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat kekerasan pada komposit matriks aluminium Al-7Si-9Zn-6Mg dengan penguat Alumina ( $Al_2O_3$ ) dan Grafit. Hasil pengujian kekerasan memperlihatkan persentase komposisi penguat Grafit tertinggi yaitu 7% fraksi volume yang memiliki nilai kekerasan.

Tabel 5.9 Hasil pengujian kekerasan

Kode Sampel	Penjejakan Load: 60 kgf	Kekerasan Rockwell	Rata-rata	Keterangan
A	I	53,5	57,5	HRA
	II	56		
	III	56,5		
	IV	60,5		
	V	61		
B	I	57	59	HRA
	II	57,5		
	III	58		
	IV	61		
	V	61,5		
C	I	62,5	64,5	HRA
	II	63		
	III	64,5		
	IV	66		
	V	66,5		



Gambar 5.6 Grafik Pengujian Kekerasan

#### 5.4 Peningkatan Sifat Mekanis Komposit melalui Proses *Heat Treatment*

Untuk meningkatkan sifat komposit maka dilakukan pembahasan mengenai tentang hasil proses *aging* dengan variasi temperatur dan waktu penahanan pada material komposit Al-7%Si-5%Zn-6%Mg berpenguat patikel SiC 5% dan 5% grafit, dengan parameter terlihat pada tabel berikut.

Tabel 5.10 Parameter Proses Perlakuan Panas

Sampel Material	Temperatur Aging	Waktu Penahanan		
		2 jam	4 jam	6 jam
Spesimen 1	Temperatur <i>Aging</i> 140°C,	Spesimen 1`1	Spesimen 1`2	Spesimen 1`3
Spesimen 2	Temperatur <i>Aging</i> 180°C,	Spesimen 2`1	Spesimen 2`2	Spesimen 2`3
Spesimen 3	Temperatur <i>Aging</i> 200°C,	Spesimen 3`1	Spesimen 3`2	Spesimen 3`3

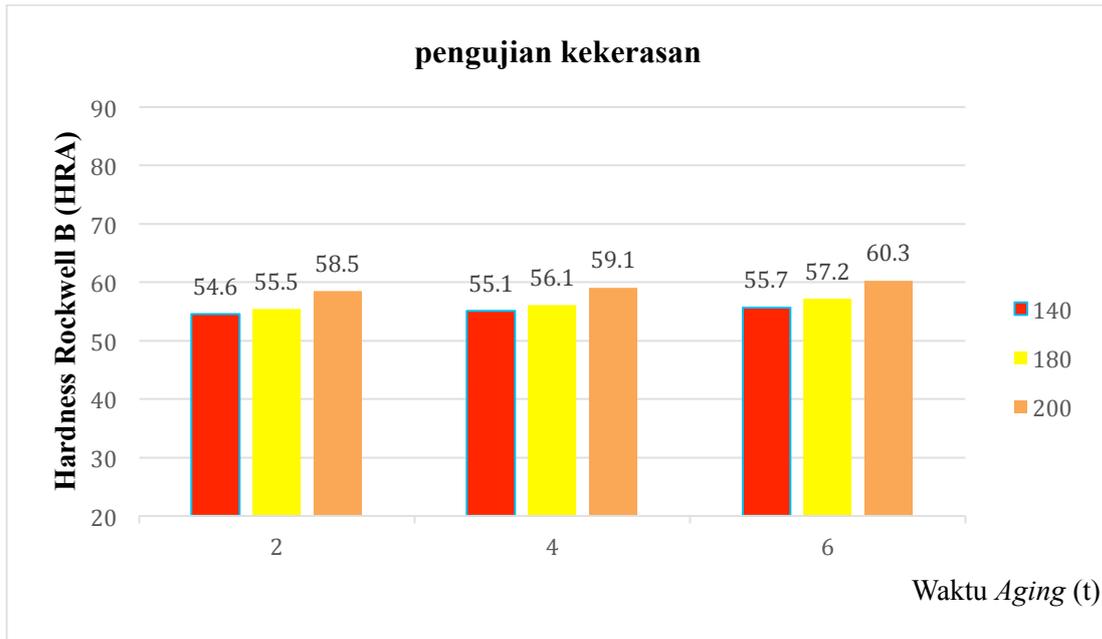
##### 5.4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengaruh variasi temperatur dan waktu pada proses *aging* terhadap kekerasan dapat dianalisis terhadap sifat mekanis melalui pengujian kekerasan. Dari data hasil pengujian kekerasan pada komposit hibrid aluminium dengan material Al-7% Si-5% Zn-6%Mg dengan penguat 5% SiC dan 5% Grafit.

Hasil uji kekerasan pada material terlihat bahwa semakin lama waktu penahanan *aging* maka nilai kekerasannya terlihat ada peningkatan. Hal ini disebabkan pada waktu penahanan 4 jam, dimungkinkan telah terbentuknya fasa  $\theta'$ . Hal ini sesuai dengan literatur tentang teori *aging* bahwa semakin lama waktu *aging* akan terbentuknya fasa. Dari nilai kekerasan maksimum dengan temperatur 180°C didapat nilai kekerasan sekitar 57.2 HRA yang tercapai setelah melakukan *aging* selama 6 jam. Hal ini disebabkan terbentuk presipitasi dengan struktur Kristal yang teratur dan juga fasa ini dinamakan fasa antara fasa  $\theta'$ . Dari nilai kekerasan maksimum dengan temperatur 200°C didapat nilai kekerasan sekitar sekian 60.3 yang tercapai setelah melakukan *aging* selama 6 jam.

Tabel 5.11 Hasil pengujian kekerasan.

Sampel material	Temperatur aging	Waktu penahanan	penjejakan	Kekerasan Rockwell (HRA)	Rata-rata (HRA)
Spesimen 1	140°C	2 Jam	I	51.5	54.6
			II	53	
			III	57	
			IV	55	
			V	56.5	
		4 Jam	I	57	55.1
			II	55	
			III	54	
			IV	54	
			V	55	
		6 Jam	I	55	55.7
			II	54.5	
			III	58	
			IV	57	
			V	54	
Spesimen 2	180°C	2 Jam	I	55	55.5
			II	55	
			III	54.5	
			IV	56	
			V	57	
		4 Jam	I	55	56.1
			II	57	
			III	55.5	
			IV	56	
			V	57	
		6 Jam	I	55.5	57.2
			II	58	
			III	58	
			IV	57.5	
			V	57	
Spesimen 3	200°C	2 Jam	I	58	58.5
			II	57	
			III	60	
			IV	57.5	
			V	60	
		4 Jam	I	60	59.1
			II	58	
			III	60	
			IV	57.5	
			V	60	
		6 Jam	I	62	60.3
			II	59	
			III	61	
			IV	60	
			V	57.5	



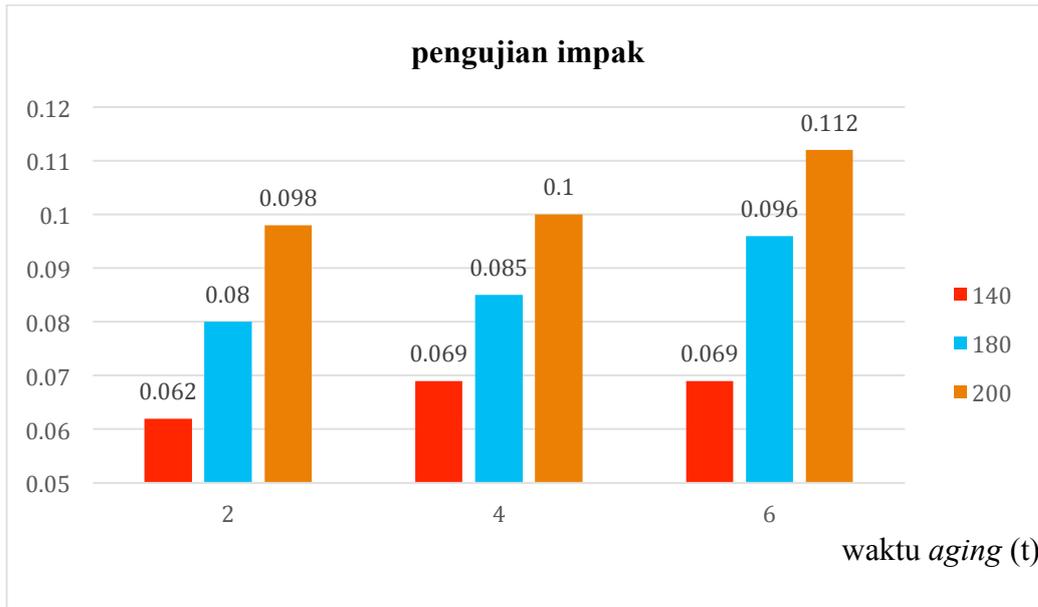
Gambar 5.7 Grafik pengujian kekerasan temperatur 14°C, 140°C dan 200°C dengan penahanan waktu selama 2 jam,4 jam dan 6 jam pada komposit hibrid aluminium

#### 5.4.2 Hasil Pengujian Impak

Untuk nilai hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut. Terlihat bahwa harga impak yang paling tinggi yaitu dengan temperature 200°C dengan waktu penahanan selama 6 jam dengan presentasi sebesar 0.112 Joule/mm<sup>2</sup>.

Tabel 5.12 Hasil pengujian impak.

spesimen material	Temperatur aging	Waktu penahanan	Dimensi ukuran (mm)		Energi serap (Joule)	Harga impak (Joule/mm <sup>2</sup> )
			L	t		
Spesimen 1	140°C	2 Jam	11	9.5	6.47	0.062
		4 Jam	11	10	7.65	0.069
		6 Jam	11	10	7.65	0.069
Spesimen 2	180°C	2 Jam	11	10	8.82	0.080
		4 Jam	11	10	9.41	0.085
		6 Jam	11	10	10.59	0.096
Spesimen 3	200°C	2 Jam	10	9	8.82	0.098
		4 Jam	11	9	10	0.1
		6 Jam	10	9	10.59	0.112



Gambar 5.8 Grafik pengujian impak temperatur 140°C, 180°C dan 200°C dengan waktu penahanan selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam pada komposit hibrid aluminium

### 5.4.3 Hasil Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi dilakukan pada hasil perlakuan panas *aging* dengan variasi temperatur 140°C, 180°C, 200°C dan variasi waktu penahanan selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam seperti diperlihatkan pada Gambar 5.10. Terlihat bahwa pada temperatur *aging* 180°C dapat dilihat dengan bertambahnya waktu *aging* presipitat bertambah besar dan merata. Pada temperatur *aging* 180°C memperlihatkan perbedaan struktur dimana bertambahnya temperatur *aging* struktur dendritik menjadi berukuran lebih kecil.

Sedangkan pada temperatur *aging* 200°C memperlihatkan perbedaan struktur yang sangat signifikan dimana bertambahnya temperatur *aging* struktur dendritik menjadi berukuran lebih kecil dibandingkan dengan ukuran sebelumnya akan larut dan berdifusi ke dalam komposit aluminium. dapat dilihat dengan bertambahnya waktu *aging* presipitat bertambah besar dan lebih merata.. Untuk mengetahui lebih jauh mengenai hal ini, perlu dilakukan pengamatan mikroskop elektron sehingga dapat di analisis lebih jauh untuk mengamati keberadaan endapan.

## BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan kandungan unsur Cu dan Zn pada material aluminium komposit serta variasi penguat grafit. Dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanis selanjutnya pelat komposit dilakukan proses perlakuan panas.

1. Besaran kekerasan tertinggi terdapat pada target Cu 1,6 wt% sebesar 31,16 kg/mm<sup>2</sup> disusul dengan target 1 wt% Cu sebesar 29,04 kg/mm<sup>2</sup> dan nilai kekerasan terendah terdapat pada target Cu 0,8 wt% sebesar 28,42 kg/mm<sup>2</sup>. Dengan hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase Cu yang ditambahkan pada komposit Al-Si-Cu, semakin tinggi nilai kekerasan yang akan didapat.
2. Pengujian *impact* yang telah dilakukan dan didapat hasil yaitu pada target Cu 1,6wt% memiliki harga *impact* rata-rata yang tertinggi yaitu. Sebesar 0,240 J/mm<sup>2</sup>, disusul dengan target Cu 1wt% yang memiliki harga *impact* rata-rata sebesar 0,225 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada target Cu sebesar 0,8wt% memiliki harga *impact* 0,217 J/mm<sup>2</sup> yang merupakan harga *impact* paling rendah. Semakin tinggi unsur Cu akan mempengaruhi sifat mampu cor material matriks komposit.
2. Dari hasil pengamatan struktur mikro. dapat terlihat perubahan struktur Pada target 0,8 wt% Cu, 1 wt% Cu dan 1,6 wt% Cu yang semakin memendek (kasar). Yang terdapat pada target 1,6 wt% Cu. Karena semakin besar unsur Cu yang ditambahkan akan mempengaruhi proses laju pengintian matriks. Dapat disimpulkan semakin besar persentase Cu yang ditambahkan akan membuat struktur aluminium matriks komposit semakin memendek.
3. Terdapatnya penggumpalan partikel SiC di satu sisi. yang mengandung unsur 1 wt% Cu dan 1,6 wt% Cu. Yang disebabkan pada saat pengadukan putaran yang tidak stabil pada mesin *stiring* hal ini menyebabkan partikel SiC tidak tercampur secara merata. oleh sebab itu partikel penguat SiC yang menumpuk akan menyebabkan terjadinya porositas.
4. Penambahan unsur Zn dari 5 wt% ke 9 wt% dan 13 wt% dapat meningkatkan kekerasan komposit dari 26.2 HRA ke 46.5 HRA dan 46.5 HRA
5. Penambahan Zn serta penambahan temperatur dapat mempengaruhi semakin sedikit porositas.

6. Untuk variasi penguat grafit, nilai kekerasan tertinggi yang didapat yaitu sebesar 64,5 HRA dengan komposisi penguat sebesar 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 7% grafit sedangkan dengan komposisi penguat sebesar 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 5% grafit memiliki nilai kekerasan yang didapat adalah 59 HRA. Nilai kekerasan terendah yaitu pada komposisi penguatnya 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 3% grafit mendapatkan nilai kekerasan hanya sebesar 57,5 HRA.
7. Berdasarkan pengujian tarik yang telah dilakukan dapat disimpulkan, kekuatan tarik tertinggi dengan 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 5% grafit dengan nilai  $940,8 \text{ N/mm}^2$  disusul pada komposisi penguat 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 7% grafit dengan kekuatan tarik  $932,08 \text{ N/mm}^2$ , kuat tarik terendah yaitu pada sampel A dengan 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 3% grafit, dengan nilai  $766,57 \text{ N/mm}^2$ .
8. Dari hasil pengamatan metalografi diatas, semakin tinggi persentase grafit yang ditambahkan akan membuat struktur dendritiknya semakin memendek (membulat) pada sampel C dengan penguat 5% alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan 7% grafit.
9. Berdasarkan pengujian impak yang telah dilakukan dapat disimpulkan pada temperatur  $200^\circ\text{C}$  dengan waktu penahanan selama 6 jam menghasilkan harga impak tertinggi dengan nilai harga impak sebesar  $0.112 \text{ Joule/mm}^2$ .
10. Hasil simulasi cetakan menunjukkan sistem saluran yang sesuai dengan cacat minimal.

## DAFTAR PUSTAKA

1. \_\_, *Perkembangan Kendaraan Bermotor*, <http://www.bps.go.id>, diakses pada 10 April 2016.
2. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/7876/Program-Pengembangan-Industri-Otomotif>, diakses pada 10 April 2016
3. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/7478/Latar-Belakang-yang-Mendasari-Pengembangan-Industri-Komponen-Otomotif-serta-Mobil-Hemat-Energi-dan-Harga-Terjangkau-Buatan-Dalam-Negeri->, diakses pada 10 April 2016
4. \_\_, *ASM Handbook, 21: Composites*. ASM International, The Materials Information Company, 1992.
5. F.L. Matthews dan Rawlijns, R.D *Composite Material: Engineering & Science*. Chapman & Hall, London, 1994.
6. Business Communications Company, RGB-108N Metal Matrix Composites in the 21<sup>st</sup> Century: Markets and Opportunities, 2006. <http://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/metal-matrix-composites-market-avm012d.html>, diakses pada 10 April 2016
7. Metal Matrix Composites (MMC) Market for Ground Transportation, Electronics/Thermal Management, Aerospace and Other End-users - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2013 ÷ 2019, <http://www.transparencymarketresearch.com/metal-matrix-composites.html>, diakses pada 10 April 2016.
8. F. Macke, B.F.Schultz, Pradeep Rohatqi, *Metal Matrix Composites : Offer the Automotive Industry an Opportunity to Reduce Vehicle Weight, Improve Performance, Advanced Material and Processes*, (March, 2012), 19-23
9. Stojanovic, B.; Babic, M.; Mitrovic, S.; V encl,A.; Miloradovic, N.; Pantic M. Tribological characteristics of aluminium hybrid composites reinforced with silicon carbide and graphite. A review. *Journal of the Balkan Tribological Association*. 19, 1(2013), pp.83-96.
10. Stojanovic, B and Ivanovic, L, *Application of Aluminium Hybrid Composites in Automotive Industry*, *Tehnicki Vjesnik* 22, I (2015), pp. 247-251
11. B.T. Sofyan, D. Rahmalina, B. Suharno, E.S.Siradj, *Deformation Behaviour of Silicon Carbide Reinforced Al-7Si Composite after Ballistic Impacts*, *Advanced Materials Research Journal*, Vol. 789 (2013), pp. 33-36.
12. 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.
13. 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.