



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

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Lt.19 Gedung BPPT II Jalan MH Thamrin No. 8, Jakarta 10340  
Telepon: (021) 3169707 Fax: (021) 3102368  
Laman: <http://ristekdikti.go.id>

---

Nomor : 0045/E3/LL/2018 16 Januari 2018  
Lampiran : 5 (lima) berkas  
Perihal : Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat  
di Perguruan Tinggi Tahun 2018

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 1/E/KPT/2018 tanggal 3 Januari 2018 tentang Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum Tahun 2018, SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan nomor 2/E/KPT/2018 tanggal 3 Januari 2018 tentang Penerima Pendanaan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2018 dan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan nomor 3 tanggal 3 Januari 2018 tentang Penerima Pendanaan Penelitian Tahun 2018, bersama ini kami sampaikan daftar nama penerima pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat tahun 2018 sebagaimana terlampir.

Kami informasikan bahwa penerima pendanaan program Penelitian dan Pengabdian Masyarakat tahun 2018 adalah pengusul yang proposalnya dinyatakan lolos seleksi, dan yang bersangkutan atau institusi telah memenuhi kewajiban sebagai berikut:

1. Mengunggah Laporan kemajuan tahun 2015 - 2017;
2. Mengunggah Laporan Akhir tahun 2015 - 2017;
3. Mengunggah Berkas Kelengkapan Seminar Hasil tahun 2015 – 2017;
4. Mengunggah proposal lanjutan: Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat untuk pelaksana *On Going*;
5. Melaksanakan seluruh tahapan seleksi sebagaimana disebutkan dalam Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Perguruan Tinggi Edisi XI untuk skema penelitian desentralisasi Perguruan Tinggi.
6. Tidak memiliki tunggakan dokumen sebagaimana terdapat pada surat nomor 4996/E3.4/LT/2017 tanggal 20 Desember 2017
7. Seorang dosen hanya dapat menjadi ketua di satu judul Pengabdian kepada Masyarakat. Agar segera diusulkan penggantian Ketua kepada anggota oleh Ketua LPPM ke DRPM untuk pendanaan Pengabdian kepada Masyarakat yang baru ;
8. Tidak sedang dalam status tugas belajar, baik untuk ketua maupun anggota;
9. Pendanaan penelitian diberikan dengan memperhatikan kuota berdasarkan H-index peneliti.

Berkenaan dengan hal tersebut, DRPM mengucapkan selamat kepada penerima pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat tahun 2018. 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 2019. Selanjutnya, kami mohon bantuan Saudara untuk menyampaikan informasi di atas kepada penerima pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Tahun 2018 di Perguruan Tinggi masing-masing.

Kami sampaikan bahwa mekanisme penyaluran dana akan dilakukan melalui kontrak kerja antara DRPM dengan Ketua LP/LPPM/LPM Perguruan Tinggi Negeri Non Badan Hukum dan atau Koordinator Kopertis Wilayah. Untuk maksud tersebut, bersama ini kami kirimkan daftar isian (terlampir) untuk diisi dan mohon segera dikirim melalui 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 21 Januari 2018.

Khusus untuk Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum, informasi lebih lanjut mengenai kontrak akan diberitahukan lebih lanjut melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat masing-masing. 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

Ocky Karna Radjasa  
NIP 196510291990031001

Tembusan.

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

NO	PTN/ KOPERTIS	INSTITUSI	SKEMA	NAMA	JUDUL	STATUS USULAN
7.062	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PDUPT	NOVI YANTIH	Pengaruh Jus Buah Nanas sebagai Nutrasetikal Hepatoprotektor terhadap Metabolisme Isoniazid pada Sukarelawan Sehat dan Kadar Enzim Transaminase pada Pasien Tuberkulosis	Baru
7.063	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PDUPT	RAFRINI AMYULIANTHY	ISLAMIC SOCIAL REPORTING PADA BANK UMUM SYARIAH DI INDONESIA	Baru
7.064	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PKLN	DEVI ROZA KRISNANDHI K	Developing tourism industry and host community resilience through crisis and disaster management planning	Baru
7.065	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PPD	HERAWATI ZETHA RAHMAN	MODEL KERJASAMA PEMERINTAH DAN BADAN USAHA DENGAN SKEMA OPERATION MAINTENANCE PADA INFRASTRUKTUR KERETA API	Lanjutan
7.066	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	AGUS PURWANGGANA	PEMBUATAN GARGARISMA (OBAT KUMUR) DENGAN BAHAN AKTIF EHP DAN UJI AKTIVITAS ANTIBAKTERI SECARA IN SILICO DAN IN VIVO	Lanjutan
7.067	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	DINI ROSMALIA	Perencanaan Ruang Wisata Berdasarkan Elemen Lanskap Budaya Cirebon  Studi Kasus Kebudayaan Keraton Cirebon	Lanjutan
7.068	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	EKO PRASETYO	Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Berbasis Teknologi Turbocharger	Lanjutan
7.069	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	FAUZIE BUSALIM	Aplikasi Alat Radial Shock Wave Therapy pada Penderita Stroke dengan memanfaatkan Harmonisasi Pulse Impulse.	Lanjutan
7.070	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	HENDRI SUKMA	PENINGKATAN KARAKTERISTIK PERMUKAAN KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM MELALUI PROSES THERMAL SPRAYED COATING	Lanjutan
7.071	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	IMAM HAGNI PUSPITO	Model Evaluasi Kelayakan Proyek pada Pembangunan Infrastruktur Sosial sebagai Upaya Pengembangan Investasi yang Berbasis Sosial dalam Pembangunan yang Berkelanjutan	Baru
7.072	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PSNI	SRI WIDYASTUTI	Keterlibatan Industri Pariwisata Halal yang Mendorong Ekonomi Hijau Untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa (The Involvement of Halal Tourism Industry that Encourages of the Green Economy to Improving the Nation Competitiveness)	Baru
7.073	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTP	DEDE LIA ZARIATIN	Peningkatan Efisiensi dan Optimasi Turbin Mikrohidro jenis Pump as Turbin (PAT) Melalui Modifikasi Desain dan Manufaktur dari Impeller.	Lanjutan
7.074	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTP	SYAMSUDDIN	Pemanfaatan Rumput Laut jenis Sargassum sp dari Perairan Indonesia sebagai sumber Fucoidan untuk Penyakit Jantung Koroner	Baru
7.075	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTUPT	AGRI SUWANDI	Optimasi Alat Bantu Penangkapan Ikan (Fishing Deck Machinery) Ramah Lingkungan untuk Kapal ≤ 10 GT dalam Meningkatkan Efektifitas Operasi Penangkapan Ikan	Baru
7.076	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTUPT	DWI RAHMALINA	Pengembangan Komposit Hibrid Partikel Keramik dengan Matriks Aluminium untuk Meningkatkan Sifat Tribologi pada Komponen Otomotif	Lanjutan
7.077	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTUPT	ISMAIL	Pengembangan terowongan angin rangkaian terbuka dengan sistem PIV (Particle Image Velocimetry)	Lanjutan
7.078	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTUPT	JONBI	Pengembangan NanoGrout dan NanoHardener untuk Menciptakan Entrepreneur Material Maju	Baru
7.079	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTUPT	LA ODE MOHAMMAD FIRMAN	PENERAPAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSa) MENGGUNAKAN KONSEP GREEN DAN ZERO WASTE SERTA MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR REFUSE DERIVED FUEL (RDF) DENGAN KAPASITAS 5 MW DI KABUPATEN BOGOR	Baru
7.080	KOPERTIS III	Universitas Pancasila	PTUPT	PRIMA JIWA OSLY	MODEL PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN UNTUK PENGEMBANGAN KAWASAN PERTANIAN INDONESIA TIMUR	Baru



# UNIVERSITAS PANCASILA

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Kampus : Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta 12640

Telp. (021) 78660305, 7874344, 7864721, 98880038, Faks. (021) 7271868

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

Yayasan : 727.2010, FE.: 727.1830, FF: 786.4727, FH: 727.2443, FT.: 786.4730, DI: 786.4730

Fak Psikologi: 787.1325, F.Kom: 787.0451, Fak Perlembagaan: 988.84038, MM: 3143966, Makas: 727.0096

MH: 391.9013, MTM: 319.26047, MIF: 786.4727, Program Doktor Ilmu Ekonomi : 390.4271

**SURAT PERJANJIAN/KONTRAK PENUGASAN DALAM RANGKA  
PELAKSANAAN PROGRAM PENELITIAN  
TAHUN ANGGARAN 2018  
Nomor: 2094 /LPPM/UP/III/2018**

Pada hari ini Kamis tanggal Delapan bulan Maret tahun Dua Ribu Delapan Belas, yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Nama : **Dra. Hj. Dewi Triahayu, MM.**  
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**.

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

## **Pasal 1**

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 Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Tinggi
6. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.
7. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 86/PMK.02/2017 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2018.
8. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.
9. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2016 tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/ atau Reviewer Penelitian.

10. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor 15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian.
11. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor: 305/M/KP/DK/2015 tentang Pengangkatan Koordinator Kopertis Wilayah III Jakarta.
12. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 3/E/KPT/2017 tentang Penerima Penerima Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Anggaran Tahun 2018.
13. Keputusan Koordinator Koordinasi Perguruan Tinggi Swasta Wilayah III Nomor 01/K3/KU/SK/2018 tanggal 02 Januari 2018 tentang Pengangkatan Pejabat dan Staf Pengelola Keuangan Tahun Anggaran 2018.
14. Surat Perjanjian Penugasan Dalam Rangka Pelaksanaan Program Penelitian Tahun 2018 antara KPA/Pejabat Pembuat Komitmen Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dengan Koordinator Kopertis Wilayah III Nomor: 107/SP2H/LT/DRPM/IV/2018.

### Pasal 2

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penugasan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi "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-042.06.1.401516/2018 tanggal 5 Desember 2017.

### Pasal 3

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberikan pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 sebesar **Rp. 140.000.000,-** (seratus empat puluh 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 5 Desember 2017.
- (2) Pendanaan Pelaksanaan Penelitian 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. 140.000.000,- = Rp. 98.000.000,-** (sembilan puluh delapan juta rupiah)
  - b) Pembayaran Tahap Kedua/Terakhir sebesar 30% dari total bantuan dana kegiatan yaitu **30% X Rp. 140.000.000,- = Rp. 42.000.000,-** (empat puluh dua juta rupiah), dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah ke laman **SIMLITABMAS** selambat-lambatnya tanggal **10 September 2018** dokumen di bawah ini:

1. Catatan harian pelaksanaan penelitian
  2. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
  3. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan.
- (3) Biaya tambahan sebesar Rp. 15.000.000 dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** bersamaan dengan pembayaran tahap kedua dengan melampirkan Daftar luaran penelitian yang sudah di validasi oleh Reviewer yang ditugaskan 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 dan bukti setoran bank
- (6) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyampaikan salinan lembar keempat bukti pengembalian Dana ke Kas Negara yang telah divalidasi oleh KPPN setempat kepada **PIHAK PERTAMA**.

#### Pasal 4

- (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 5

- (1) Penilaian kemajuan pelaksanaan hibah penelitian dilakukan oleh **PIHAK PERTAMA** melalui Tim Reviewer Universitas, setelah Ketua Pelaksana mengunggah laporan kemajuan pelaksanaan kegiatan ke SIMLITABMAS, 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 Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, melalui Kepala LPPM Universitas Pancasila.

#### Pasal 6

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengupayakan pelaksanaan Penelitian untuk memperoleh paten dan/atau publikasi ilmiah untuk setiap judul Proposal Penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 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 7**

- (1) **PIHAK KEDUA** harus menyampaikan Surat Pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan pengunggahan pada laman (website) SIMLITABMAS :
- a) Catatan harian dan laporan komprehensif pelaksanaan Penelitian, pada tanggal **12 November 2018**.
  - b) Laporan akhir, capaian hasil, poster, artikel ilmiah dan profile, pada tanggal **12 November 2018 (bagi penelitian tahun terakhir)**
- (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 %o (satu permil) 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, dan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.
- (3) Peneliti/Pelaksana Penelitian yang tidak hadir dalam kegiatan Monitoring dan Evaluasi serta Seminar Hasil Penelitian tanpa pemberitahuan sebelumnya ke Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat melalui LPPM-UP, maka Pelaksanaan 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**.
- (5) Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima harus disetorkan kembali ke kas Negara.

#### **Pasal 8**

- (1) Hardcopy Laporan hasil dan Laporan Keuangan Hibah Penelitian sebagaimana tersebut dalam pasal 7 ayat (1) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
1. Bentuk/ukuran kertas A4;Font Times New Roman ukuran 12 spasi 1.5.
  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 Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018**  
**Nomor: 008/KM/PNT/2018, Tanggal 06 Maret 2018**

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

**Pasal 9**

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** berhenti dari jabatannya, sebelum kontrak penelitian ini selesai, maka **PIHAK KEDUA** wajib menyerah/terimakan tanggung jawabnya kepada pejabat baru yang menggantikannya, dibuktikan dengan adanya Berita Acara Serah Terima (BAST) yang bertandatangan oleh kedua belah pihak.
- (2) Apabila setiap ketua pelaksana penelitian di perguruan tinggi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 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/itikad 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 10**

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

- (1) pembelian barang dan jasa dikenal PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
- (2) pajak—pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.

### Pasal 11

- (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.
- (3) Hasil Penelitian berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik negara yang dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga/masyarakat melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).
- (4) Apabila terdapat hal-hal lain yang belum diatur dalam Kontrak Penelitian ini dan memerlukan pengaturan, maka akan diatur kemudian oleh **PARA PIHAK** pihak melalui amandemen Kontrak Penelitian ini dan/ atau melalui pembuatan perjanjian tersendiri yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Kontrak Penelitian ini

### Pasal 12

- (1) **PARA PIHAK** dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam Kontrak Penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian di luar kekuasaan **PARA PIHAK** yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*).
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (*force majeure*) dalam Kontrak Penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan Kontrak Penelitian ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **PARA PIHAK** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

### Pasal 13

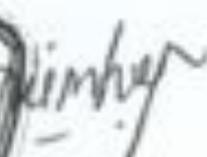
- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dgn mufakat dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses Hukum yang berlaku 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 14**

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

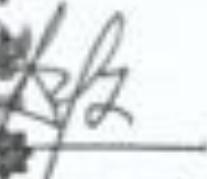
**PIHAK PERTAMA**

Kepala LPPH

  
  
**HI Dewa Trirahayu, M.M.**  
NIDN. 0330046201

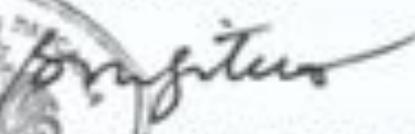
**PIHAK KEDUA**

Dosen Peneliti

  
  
**Dwi Rahmalina**  
NIDN. 0301096901

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

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

Rektor

  
  
**Prof. Dr. Wahono Sumaryono, Apt**  
NIDN. 0321015401

**Kode>Nama Rumpun Ilmu : 431/Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)  
Bidang Fokus : Pengembangan Teknologi dan Manajemen Transportasi**

**LAPORAN TAHUN TERAKHIR  
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN  
PERGURUAN TINGGI**



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

**Tahun kedua 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. S., M.Sc. (NIDN:0303115701)  
Indra C.Setiawan, S.T.,M.T (NIDN:0008097706)**

**Dibiayai oleh  
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan  
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi  
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018  
Nomor : 008/KM/PNT/2018, Tanggal 06 Maret 2018**

**UNIVERSITAS PANCASILA  
NOVEMBER 2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul	: Pengembangan Komposit Hibrid Partikel Keramik dengan Matriks Aluminium untuk Meningkatkan Sifat Tribologi pada Komponen Otomotif
<b>Peneliti/Pelaksana</b>	
Nama Lengkap	: Dr. Ir DWI RAHMALINA, M.T
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
<b>Anggota (1)</b>	
Nama Lengkap	: HENDRI SUKMA S.T, M.T
NIDN	: 0313067103
Perguruan Tinggi	: Universitas Pancasila
<b>Anggota (2)</b>	
Nama Lengkap	: Dr. MUHAMMAD YUDI MASDUKY SIHOLIHIN
NIDN	: 0303115701
Perguruan Tinggi	: Universitas Pancasila
<b>Anggota (3)</b>	
Nama Lengkap	: INDRA CHANDRA SETIAWAN S.T, M.T
NIDN	: 0008097706
Perguruan Tinggi	: Universitas Pancasila
<b>Institusi Mitra (jika ada)</b>	
Nama Institusi Mitra	: -
Alamat	: -
Petanggung Jawab	: -
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 140,000,000
Biaya Keseluruhan	: Rp 140,000,000

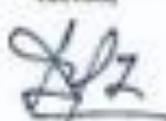
Mengetahui,

Dean Fakultas Teknik UP



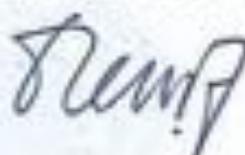
D.K.I. JAKARTA, 7 - 11 - 2018

Ketua,



(Dr. Ir DWI RAHMALINA, M.T)  
NIP/NIK 0301096901

Menyetujui,  
Ka. LPPM Univ. Pancasila



(Dra. DEWI TRIRAHAYU, MM)  
NIP/NIK 0330046301

## 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.

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 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 Terapan Unggulan Perguruan Tinggi ini adalah meliputi optimasi komposisi matriks paduan aluminium AlMgSi dengan variasi 4-6 wt.% Mg dan 3-7 wt.% Si, komposisi penguat dengan fraksi volume 10-25%, 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 tahun pertama telah diperoleh optimasi komposisi matriks aluminium Al6Mg7Si-Cu-Zn dengan komposisi partikel keramik 5 %  $Al_2O_3$  dan 5 % Grafit mempunyai nilai kekerasan tertinggi sebesar 64.5 HRA. Dari riset tahun pertama juga diperoleh pula parameter proses *squeeze casting* sehingga memperoleh sifat mekanis komposit hibrid yang unggul. Selanjutnya, pada tahun kedua riset telah menghasilkan prototype komponen otomotif dari komposit hibrid dengan performa tribologi yang unggul dibanding logam lain yang umum digunakan.

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

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN PENGESAHAN

RINGKASAN

DAFTAR ISI .....	1
1. PENDAHULUAN .....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	16
4. METODE PENELITIAN .....	17
5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI .....	19
6. KESIMPULAN DAN SARAN .....	38

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

- Prototype *Disc Brake* Komposit Hibrid
- Personalia Tenaga Pelaksana beserta Kualifikasinya
- Artikel Ilmiah, HKI dan Publikasi dan Produk Penelitian

## **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 Hibrid*

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

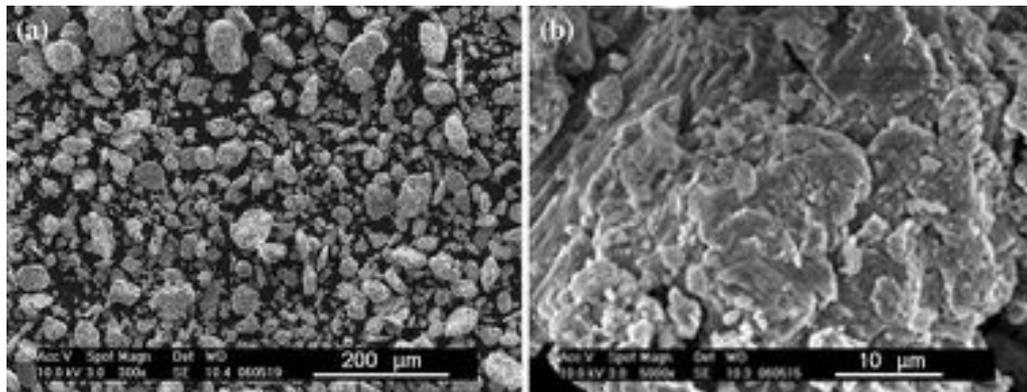
$V_m$  = volume fraksi matriks ( $V_m = (1 - V_f)$ )

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.

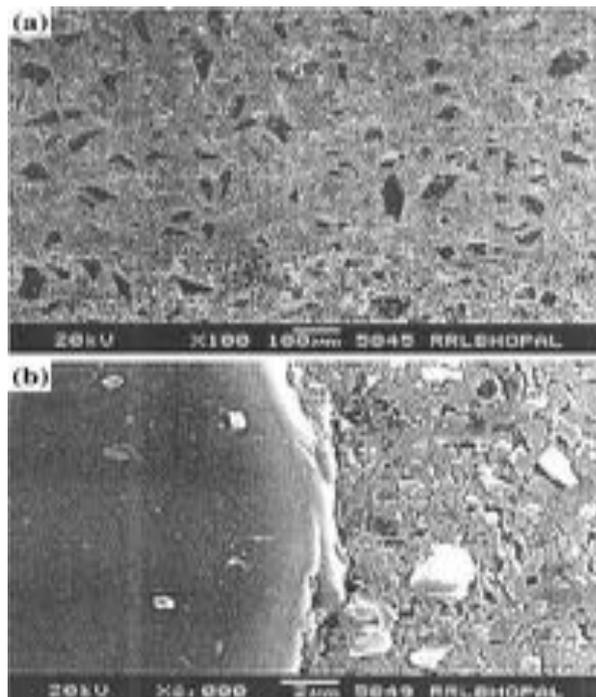
Penelitian yang dilakukan oleh Rahmalina, et.al [13] menunjukkan bahwa peningkatan SiC dengan fraksi volume 10% mempunyai sifat mekanis yang baik untuk aplikasi balistik. Lin, et al. [19] melakukan penelitian mengenai stuktur mikro nanostruktur komposit matriks logam AA2024-SiC, seperti terlihat pada 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].

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.

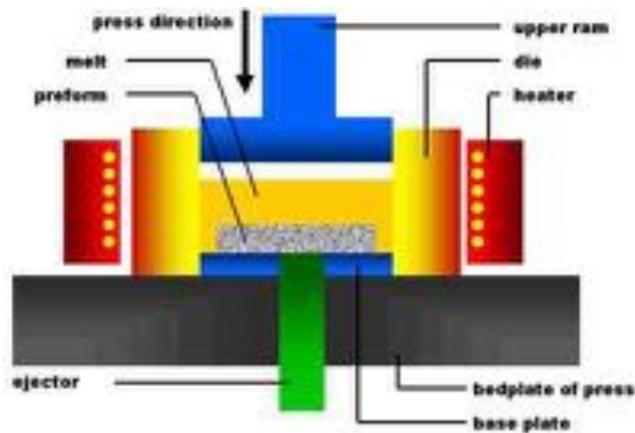


Gambar 2.2 (a) *Secondary Electron Image* yang menunjukkan distribusi dari partikel SiC dalam matriks paduan aluminium. (b) Daerah antar muka partikel SiC dengan matriks [22].

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 *Squeeze Casting***

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.



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

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].

### Sifat Tribologi

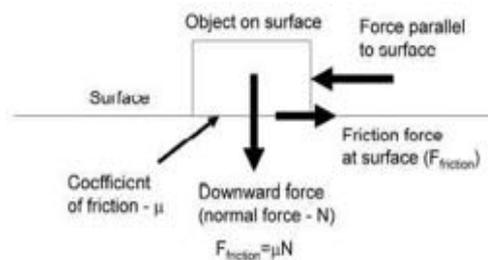
Tribologi berasal dari bahasa Yunani “tribos” yang berarti bergesekan, dan logi atau *logia* artinya *studi*. Tribologi adalah ilmu yang terkait dengan gesekan, keausan dan

pelumasan, dimana permukaan material yang berinteraksi satu sama lain dalam gerakan relatif. Aplikasi tribologi yang telah memberikan kemudahan bagi kehidupan kuno dan juga diperlukan di kehidupan modern. Seperti yang terdapat pada banyak sistem mekanik yang bekerja berdasarkan nilai *friction, lubrication, and wear*. Prinsip-prinsip dasar tribologi antara lain:

### 1. Koefisien Gesek

Fenomena fisik terpenting yang berkaitan dengan pengereman adalah gesekan. Gesekan relatif ini dapat dinyatakan sebagai kombinasi dari *slidding rolling* dan *spin*. Gaya ini bekerja bersinggungan dengan permukaan pada titik kontak dan diarahkan untuk melawan gerakan relatif seperti yang terlihat pada gambar 2.9. Gesekan kering adalah gerak relatif antara dua permukaan padat yang bersentuhan saat istirahat atau dalam gerakan[35]. Gesekan berbanding lurus dengan beban yang diterapkan dan terlepas dari daerah yang tampak. Gesekan sering dihitung sebagai rasio gaya normal ( $F_N$ ) terhadap gaya gesek ( $F_s$ ), dengan koefisien gesekan ( $\mu$ ).

$$\mu = \frac{F_s}{F_N} \dots \dots \dots (3)$$



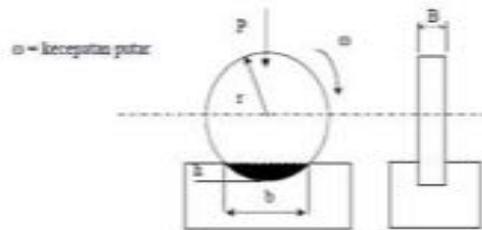
Gambar 2.4 Sistem Gesekan Dasar [35]

### Keausan

Keausan (*wear*) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Dengan demikian, keausan dapat mengakibatkan berkurangnya material pada benda yang akan menyebabkan kerusakan pada benda tersebut. Keausan ini merupakan sebuah hal yang mendasari tentang konsep tribologi. Tribologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang gesekan, keausan, serta pelumasan yang terjadi pada proses gerak benda. Dikenal ada 4 jenis keausan yaitu sebagai berikut [36]:

- 1) *Adhesive wear* adalah salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh terikat atau melekat ke permukaan material yang lebih keras.

- 2) *Abrasive wear* terjadi bila suatu permukaan yang keras bergesekan dengan permukaan yang lebih lunak sehingga terjadi pemotongan material yang lebih lunak.
- 3) *Corrosive wear* terjadi bila cairan kimiawi menyerang permukaan yang terbuka terkena proses geser. Proses ini lama kelamaan akan menyebabkan retak dan juga terjadi abrasi
- 4) *Surface fatigue wear* terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan menimbulkan pembentukan retak.
- 5) Pada pengujian keausan terdapat standart ASTM G99 – 95a *Standart Test Method For Wear Testing With a Pin On Disk Apparatus*. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji yang terlihat pada gambar 2.5 [37].



Gambar 2.5 Pengujian Keausan Dengan Metode Ogoshi[24].

- 6) Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Rumus yang digunakan dalam pengujian keausan antara lain :

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 \cdot r} \dots \dots \dots (4)$$

$$V = \frac{W}{X} = \frac{B \cdot b^3}{12 \cdot r} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

V = Laju keausan ( mm<sup>3</sup>/mm)

W = Volume material yang terabrasi (mm<sup>3</sup>)

B = Tebal cincin (mm)

- b = Lebar jejak rata-rata material yang terabrasi (mm)
- r = Jari-jari cincin (mm)
- x = Jarak luncur (mm)

### **Kekasaran Permukaan**

Kekasaran permukaan adalah pengertian dari penyimpangan rata-rata dari permukaan yang kelihatannya halus. Salah satu arakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Tingkat kehalusan suatu komponen memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan, keausan, pelumasan, ketahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin yang akan digunakan. Akan tetapi untuk menjelaskan secara sempurna mengenai karakteristik suatu permukaan nampaknya sulit. Walaupun hingga saat ini sudah banyak parameter yang digunakan dalam pembahasan karakteristik permukaan, namun belum ada suatu parameter yang menjelaskan secara sempurna mengenai keadaan yang sesungguhnya dari permukaan [38].

Permukaan adalah batas yang memisahkan antara benda padat dengan sekelilingnya. Jika ditinjau skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan merupakan suatu karakteristik geometri golongan mikrogeometri yang termasuk golongan mikrogeometri. Mikrogeometri merupakan permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik. Ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu bentuk. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotogan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan [39].

Harga kekasaran rata-rata aritmatik ( $R_a$ ) mempunyai harga toleransi kekasaran, dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari  $N_1$  sampai  $N_{12}$ . Besarnya toleransi untuk  $R_a$  biasanya diambil antara 50 % ke atas dan 25 % ke bawah. Tabel 2.1 menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya [40]. Toleransi harga kekasaran rata-rata,  $R_a$  dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Tabel 2.2 memberikan harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.1 Harga Kekasaran Ra Menurut ISO atau DIN 4763: 1981 [40]

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi $N_{+0.01\%}^{-0.01\%}$	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 – 0.08	
N3	4	0.0	0.08 – 0.15	0.25
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	
N5	16	0.4	0.3 – 0.6	
N6	32	0.8	0.6 – 1.2	
N7	63	1.6	1.2 – 2.4	
N8	125	3.2	2.4 – 4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	
N11	1000	25.0	18.75 – 37.5	2.5
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	8

Tabel 2.2 Tingkat Kekasaran Menurut Pengerjaan [40]

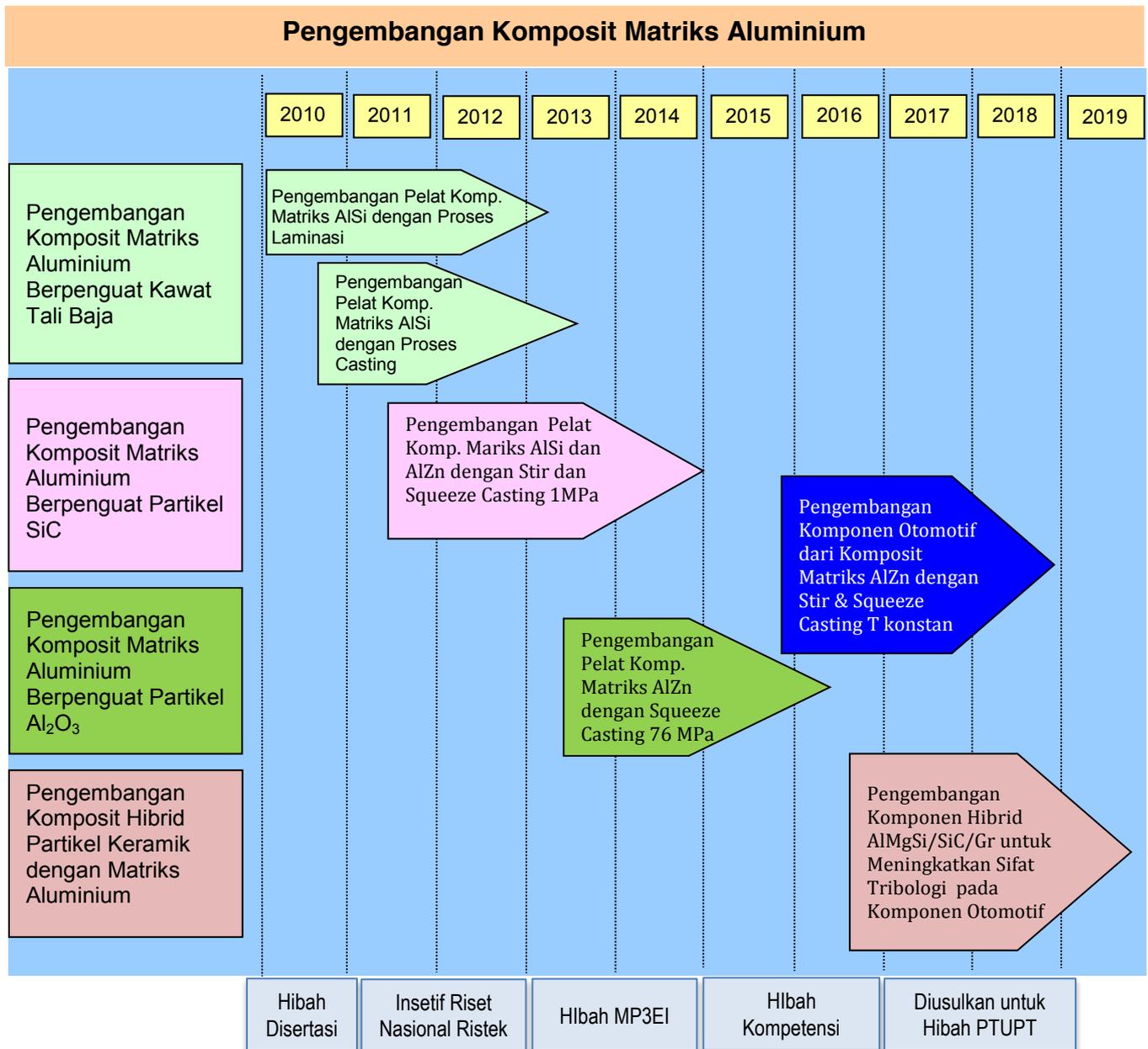
Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga $R_a$
<i>Flat and cylindrical lapping, Superfinishing Diamond turning</i>	$N_1 - N_4$	0.025 – 0.2
<i>Flat cylindrical grinding</i>	$N_1 - N_6$	0.025 – 3.2
<i>Finishing</i>	$N_4 - N_8$	0.1 – 3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	$N_5 - N_{12}$	0.4 – 50.0
<i>Drilling</i>	$N_7 - N_{10}$	1.6 – 12.5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	$N_6 - N_{12}$	0.8 – 50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	$N_{10} - N_{11}$	12.5 – 25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	$N_6 - N_8$	0.8 – 3.2
<i>Die casting</i>	$N_6 - N_7$	0.8 – 1.6

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.

## Studi Pendahuluan dan Hasil yang Telah Dicapai

Pengembangan komposit matriks aluminium telah dilakukan oleh Periset Utama dari tahun 2009 dengan beberapa jenis komposisi matriks dan penguat, seperti ditampilkan pada Gambar 2.6. Dari riset sebelumnya telah dilakukan pula riset yang mengembangkan 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Untuk aplikasi komponen otomotif yang membutuhkan performa tribologi yang baik, seperti *disc brake*, maka dilakukan pengembangan komposit hibrid berpenguat SiC/Gr melalui Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi ini. Pada tahun pertama telah diperoleh optimasi komposisi unsur paduan dari matriks AlMgSi dan komposisi partikel penguat SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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.

## Peta Jalan Penelitian



Gambar 2.6. Peta jalan penelitian pengembangan komposit matriks aluminium.

### **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*.

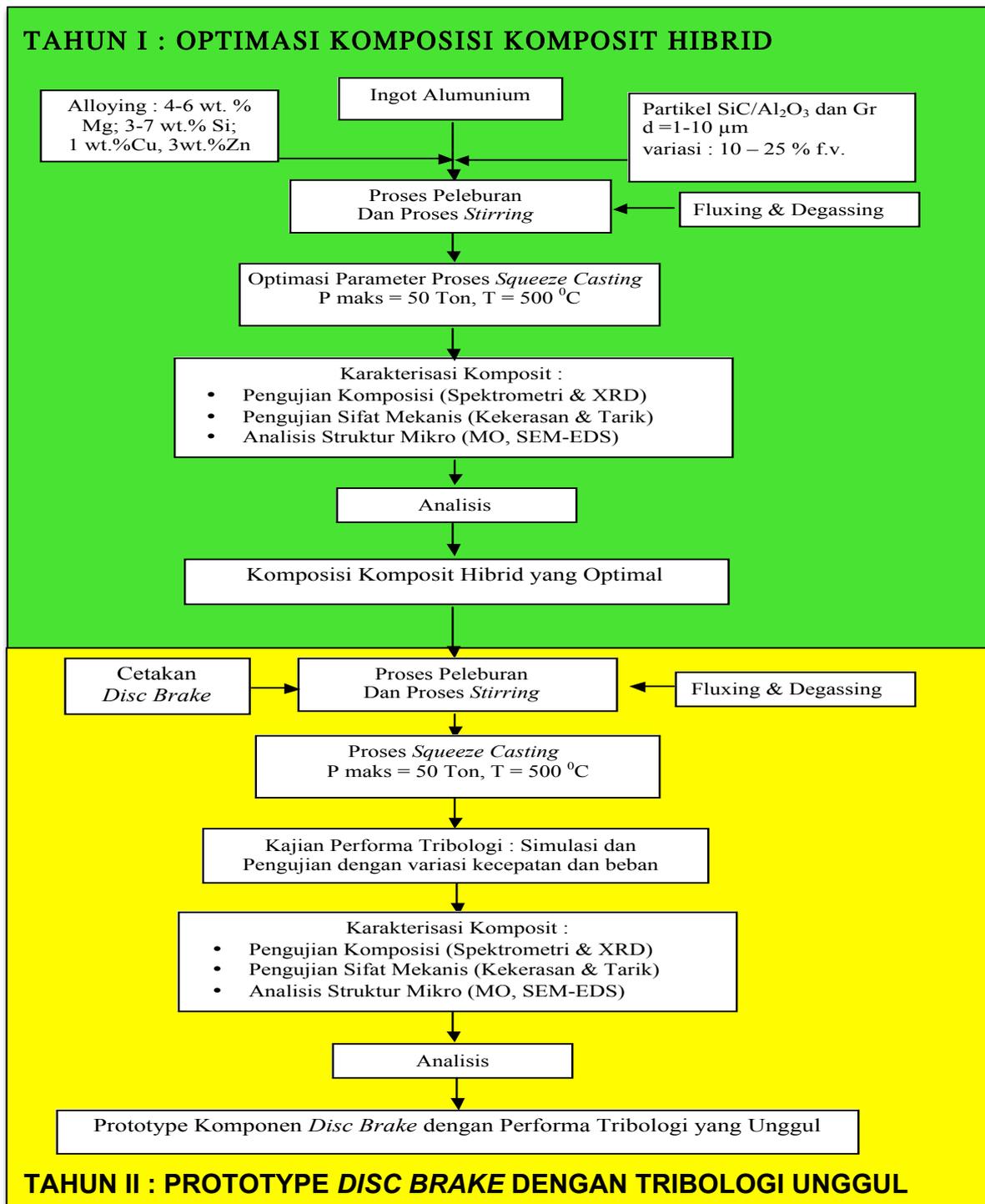
#### **Manfaat Penelitian**

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 –Cu-Zn dan variasi penguat SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan grafit (Tahun I), dengan tahapan :
  - Persiapan bahan baku. Material awal yang digunakan adalah ingot Al dengan diberikan penambahan unsur paduan 4-6wt.% Mg, 3-7wt.% Si, 1wt.% Cu, 3wt.% Zn. Sedangkan silikon karbida, alumina dan grafit yang digunakan dalam bentuk serbuk berukuran 1-10  $\mu$ m dengan variasi fraksi volume 10, 15, 20 dan 25 %.
  - Proses peleburan paduan aluminium dilakukan dalam dapur lebur dengan temperatur lebur 820-850°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 diberi tekanan maksimum 50 Ton. Pada tahap ini dilakukan optimasi parameter proses, berupa variasi temperatur tuang dan tekanan.
  - Karakterisasi pelat komposit hibrid.
2. Proses pembuatan prototype komponen *disc brake* dari komposit hibrid dengan komposisi yang optimal dari matriks aluminium dan penguat (Tahun II).

Tahapan yang akan dilakukan adalah :

- Desain cetakan komponen *disc brake*, menggunakan *software PROENG*.
  - Proses peleburan paduan aluminium dilakukan dalam dapur lebur dengan temperatur lebur 820-850°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 diberi tekanan maksimum 50 Ton.
3. Kajian performa tribologi dengan simulasi ANSYS Mechanical 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.
    - Pengujian keausan untuk kajian tribologi.
    - Pengujian Kekasaran Permukaan, merupakan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan metode sentuh dengan menggunakan alat pengukuran kekasaran permukaan dan menghasilkan berbagai parameter kekasaran seperti Ra, Rt, Rz, Rq secara langsung.

## BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

### 5.1 Pengeruh Kekasaran Permukaan terhadap Tribologi

Pada proses pengecoran dengan metode *squeeze casting* menggunakan material Al-Si-Mg-Zn dengan penguat SiC 5% dan grafit 5%. Benda uji yang dilakukan pengukuran kekasaran sebagai variasi yaitu pengecoran, milling dan pengamplasan. Dengan menggunakan proses yang berbeda akan menghasilkan kekasaran permukaan yang berbeda. Kekasaran permukaan yang berbeda dilakukan pengujian keausan dengan menggunakan beban, kecepatan dan jarak luncur yang sama pada setiap sampel. Sehingga pengaruh kekasaran permukaan pada setiap sampel diketahui nilai spesifikasi abrasi pada pengujian keausan. Pengujian SEM untuk melihat struktur pada permukaan setelah dilakukan pengujian keausan dengan pengamatan mikro dan makro.

#### Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji *spectrometer* dengan menggunakan standar ASTM E1251. Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat dalam material Al-Si-Mg-Zn. Hasil dari pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian	Al (%)	Si (%)	Mg (%)	Zn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Cr (%)
I	81.1	6.95	5.66	5.90	0.184	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
II	81.5	6.78	5.73	5.62	0.183	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
III	82.1	6.61	5.81	5.21	0.204	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010
Rata-rata	81.6	6.78	5.73	5.58	0.190	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010

Pada tabel 5.1 hasil pengujian komposisi kimia terlihat bahwa, munculnya unsur Fe pada hasil pengecoran disebabkan pengaduk pada proses *stirring* yang digunakan untuk mengaduk material yang memiliki unsur Fe. Terdapat unsur Cu, Mn, dan Cr yang merupakan unsur pengotor dengan kadar yang rendah, sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat mekanik pada matrik aluminium. Adanya unsur pengotor disebabkan adanya ketidakhurniaan pada material ingot.

Unsur Al memiliki sifat yang ringan, tahan terhadap korosi dan memiliki sifat mampu cor yang baik. Hal ini dikarenakan unsur Al dapat dengan mudah dikombinasikan dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Unsur Si memiliki sifat yang dapat meningkatkan kekerasan dan *castability*. Unsur Zn memiliki sifat yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Unsur Mg digunakan sebagai agen pembasahan (*wetting agent*), yaitu unsur yang memiliki sifat untuk meningkatkan kekuatan antara matrik dengan penguat SiC dan grafit dan memiliki ketahanan korosi.

Pada hasil pengujian komposisi kimia didapatkan komposisi material bermatrik Al-7Si-6Mg-5Zn. Dengan adanya unsur paduan 7Si-6Mg-5Zn yang terdapat pada material Al akan meningkatkan sifat mekanik pada material Al. Sehingga material matrik Al-7Si-6Mg-5Zn memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang baik.

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat kekerasan pada komposit hibrid (Al-7Si-6Mg-5Zn) dengan penguat SiC dan grafit. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E18. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak lima kali pengujian pada tempat yang berbeda dengan jarak 1 cm dari titik pengujian sebelumnya. Hasil dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kekerasan Aluminium Murni

Sampel	Penjejakan Load 60 kgf	Kekerasan (HRA)	Rata – rata (HRA)
Aluminium Murni	I	28	31.2
	II	30.5	
	III	31.0	
	IV	32	
	V	34	

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kekerasan Komposit Hibrid

Sampel	Penjejakan load: 60 kgf	Kekerasan (HRA)	Rata – rata (HRA)
Al-7Si-6Mg-5Zn Penguat 5% SiC dan 5% grafit	I	42.5	41.2
	II	48.0	
	III	38.5	
	IV	37.0	
	V	40.0	

Hasil pengujian kekerasan dengan pemberian beban 60 kgf yang terlihat pada tabel diatas menunjukkan kekerasan aluminium murni sebesar 31.2 HRA, sedangkan material komposit hibrid sebesar 41.2 HRA.

#### Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

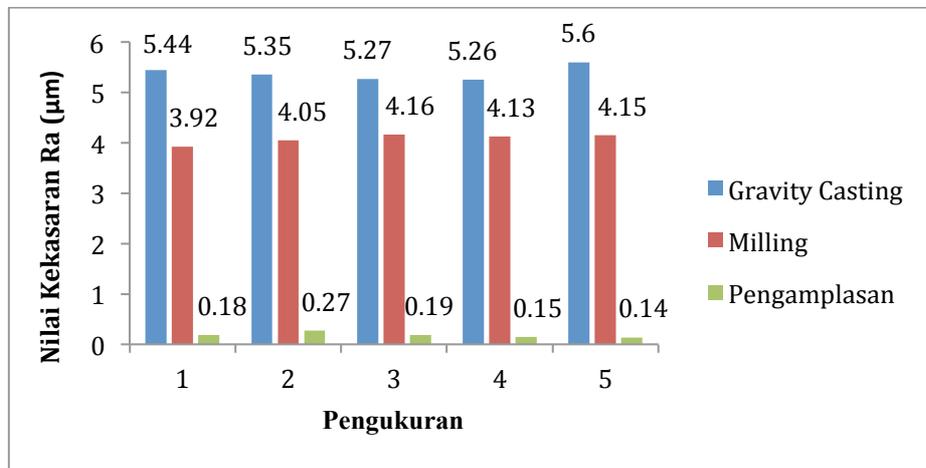
Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan menggunakan standar DIN 4763 untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan dari suatu material menurut pengerjaannya. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali pada setiap variasi yang telah dilakukan pada proses *Gravity casting*, milling, dan pengamplasan. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Sampel		Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rata - rata ( $\mu\text{m}$ )
Proses	Pengukuran		
<i>Gravity Casting</i> ( A )	1	5.44	5.384
	2	5.35	
	3	5.27	
	4	5.26	
	5	5.60	
Milling ( B )	1	3.92	4.082
	2	4.05	
	3	4.16	
	4	4.13	
	5	4.15	
Pengamplasan ( C )	1	0.18	0.17
	2	0.27	
	3	0.19	
	4	0.15	
	5	0.14	

Pada grafik 5.1 menunjukkan bahwa, nilai kekasaran permukaan setiap proses berbeda. Nilai kekasaran permukaan tertinggi pada proses *gravity casting* dengan nilai rata-rata kekasarannya mencapai 5.384  $\mu\text{m}$  yang sesuai dengan standar *alteams manufacturing*. Standar ini diambil dari proses penuangan cairan ke dalam rongga cetakan. Pada proses milling didapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan 4.082  $\mu\text{m}$  dan nilai kekasaran terendah pada proses pengamplasan dengan nilai rata-ratanya 0.17

$\mu\text{m}$ . Pada proses milling masuk pada kelas N8, dan proses pengamplasan kelas N4 pada standart DIN 4763:1981.



Gambar 5.1 Grafik Pengukuran Kekasaran Permukaan

Nilai kekasaran permukaan tertinggi yang terjadi pada proses *gravity casting* dikarenakan adanya kekasaran pada permukaan cetakan yang digunakan, dan penyusutan yang terjadi pada material. Sedangkan pengaruh kekasaran permukaan pada proses milling seperti pahat yang digunakan, kecepatan putaran, kedalaman pemotongan, dan kecepatan gerak potong. Proses kekasaran permukaan terkecil pada proses pengamplasan karena dilakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas amplas *grade* 60, 100, 220, 500, 800 dan 1000 secara berurutan.

## 2. Pengujian Keausan

Pengujian keausan menggunakan metode *ogoshi* dengan standar ASTM G99, pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui laju keausan. Pada pengujian keausan dengan kode sampel A untuk proses *gravity casting*, kode sampel B untuk proses milling, kode sampel C untuk proses pengamplasan. Dalam pengujian keausan metode *ogoshi* menggunakan parameter kecepatan 0.208 m/s, jarak luncur 66.6 m, dan beban 2.12 kg. Tebal cincin yang digunakan 4 mm dengan jari-jari 28 mm. Hasil dari pengujian keausan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Keausan

Kode Sampel	Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata lebar alur abrasi $B_o$ (mm)	$B_o^3$	Spesifikasi Abrasi ( $\text{mm}^2/\text{kg}$ )	Laju Keausan ( $\text{mm}^3/\text{mm}$ )
A	5.384	1.78	5.639	$1.426 \times 10^{-6}$	$2.016 \times 10^{-6}$
B	4.082	1.28	2.097	$5.304 \times 10^{-7}$	$2.497 \times 10^{-7}$
C	0.17	0.92	0.778	$1.969 \times 10^{-7}$	$2.783 \times 10^{-7}$

Berdasarkan hasil pengujian keausan yang dilakukan, pada sampel A terdapat lebar alur abrasi rata-rata sebesar 1.78 mm, sampel B sebesar 1.28 mm dan sampel C sebesar 0.92 mm. Nilai spesifikasi abrasi tertinggi terdapat pada sampel A yaitu dari hasil pengecoran (*gravity casting*) yaitu  $1.426 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Sedangkan untuk proses milling pada sampel B memiliki spesifikasi abrasi  $5.304 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Dan nilai terendah pada sampel C hasil pengamplasan dengan nilai spesifikasi abrasi sebesar  $1.969 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Pada sampel A memiliki laju keausan tertinggi sebesar  $2.016 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$  sampel C memiliki laju keausan terendah sebesar  $2.783 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{mm}$

Dari nilai spesifikasi abrasi pada pengujian keausan, maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai kekasaran permukaan akan mendapatkan nilai spesifikasi abrasi dan laju keausan yang kecil juga. Dan semakin tinggi nilai kekasaran permukaan akan membuat semakin tinggi nilai spesifikasi abrasi. Jadi, kekasaran permukaan sangat mempengaruhi tinggi – rendahnya nilai spesifikasi abrasi pada pengujian keausan. Keausan ini terjadi karena permukaan yang diberi kecepatan dan beban yang membuat terkikisnya pada permukaan. Permukaan yang lebih kasar memiliki gelombang yang lebih tinggi. Permukaan yang memiliki tinggi gelombang yang akan lebih dahulu retak dan terkikis karena adanya beban yang berputar.

Dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Andrzej Gajek tentang *some tribological characteristics of disc brake pads*. Bantalan rem dibuat dengan empat metode proses yang berbeda dan permukaan gesekan cakram untuk mendapatkan kekasaran permukaan  $R_a = 0.25$  dari cakram rem besi cor didapatkan nilai koefisien gesek berkisar antara 0.39 sampai 0.54. Sedangkan penelitian dengan menggunakan material komposit hibrid pada proses pengamplasan didapatkan kekasaran permukaan sebesar  $0.17 \mu\text{m}$  dengan nilai koefisien gesek 0.0212.

### 3. Pengujian SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk melihat gambaran struktur mikro dan makro pada lebar jejak permukaan dari hasil pengujian keausan dengan variasi kekasaran permukaan pada proses pengecoran (*gravity casting*), milling, pengamplasan. Pada pengamatan pengujian SEM menggunakan standart ASTM F1372-93. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

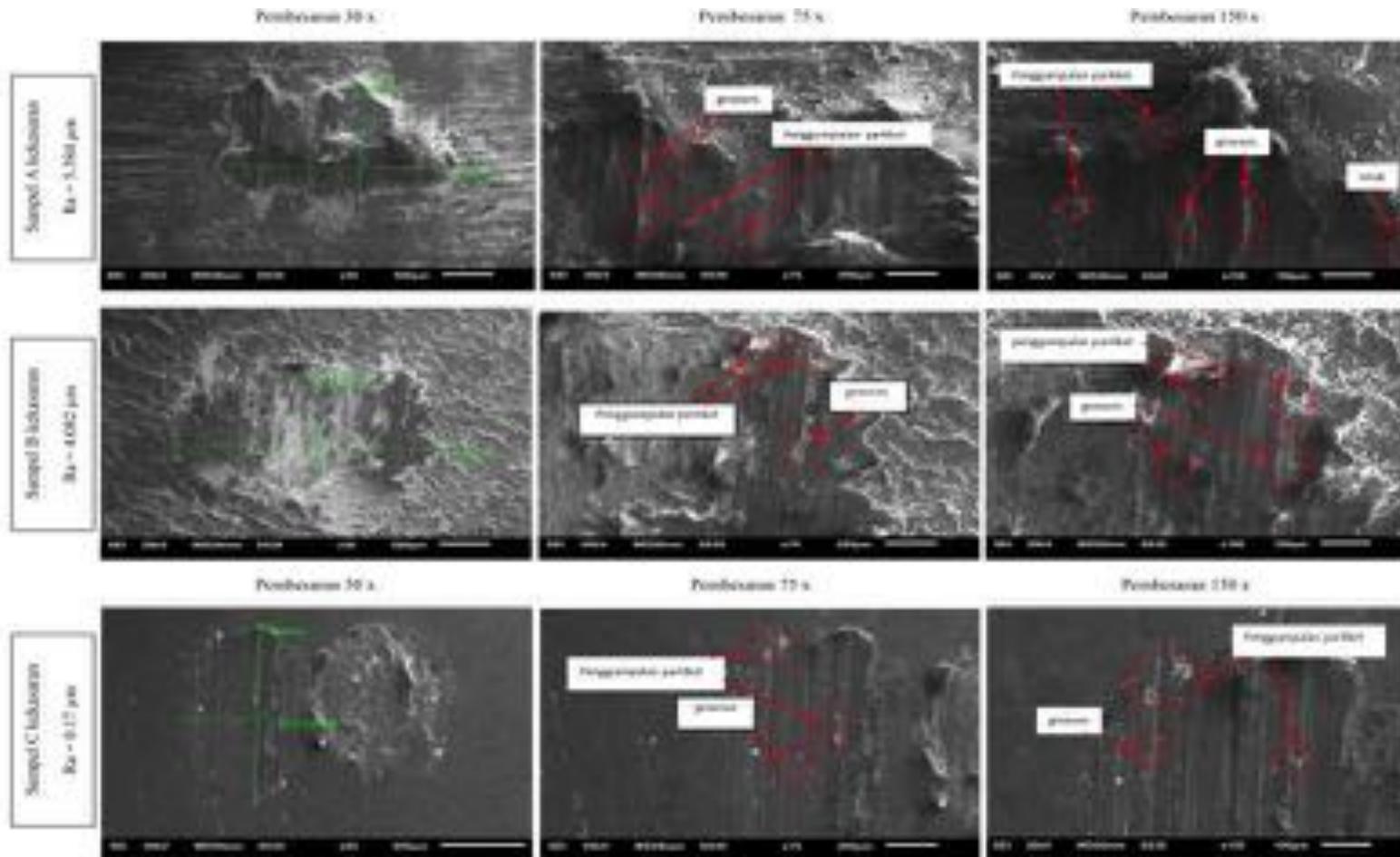
Pada gambar 5.3 menunjukkan pengamatan struktur makro dari lebar jejak pada setiap sampel setelah dilakukan pengujian keausan. Sampel A terlihat lebar jejak pada pembesaran 30 x sebesar 1.507 mm, sedangkan sampel B memiliki lebar jejak sebesar 1.373 mm. Untuk sampel C memiliki lebar jejak sebesar 1.336 mm dengan pembesaran 50 x. Lebar jejak paling besar terdapat pada sampel A yaitu dari kekasaran permukaan  $R_a = 5.384 \mu\text{m}$ . Hal ini disebabkan adanya kekasaran yang tinggi dari proses pengecoran dan mendapatkan lebar jejak yang tinggi setelah di uji keausannya.

Pengamatan struktur mikro dengan pembesaran 75 x menunjukkan besarnya permukaan yang terabrasi pada sampel A dan sampel B. Sedangkan permukaan sampel C tampak terlihat lebih kecil permukaan yang terabrasi. Pada pengamatan dengan pembesaran 150 x tampak adanya keretakan pada sampel A dan penggumpalan partikel pada setiap sampel. Penggumpalan partikel pada sampel akan membuat alur / *grooves*.

### Pengujian Metalografi

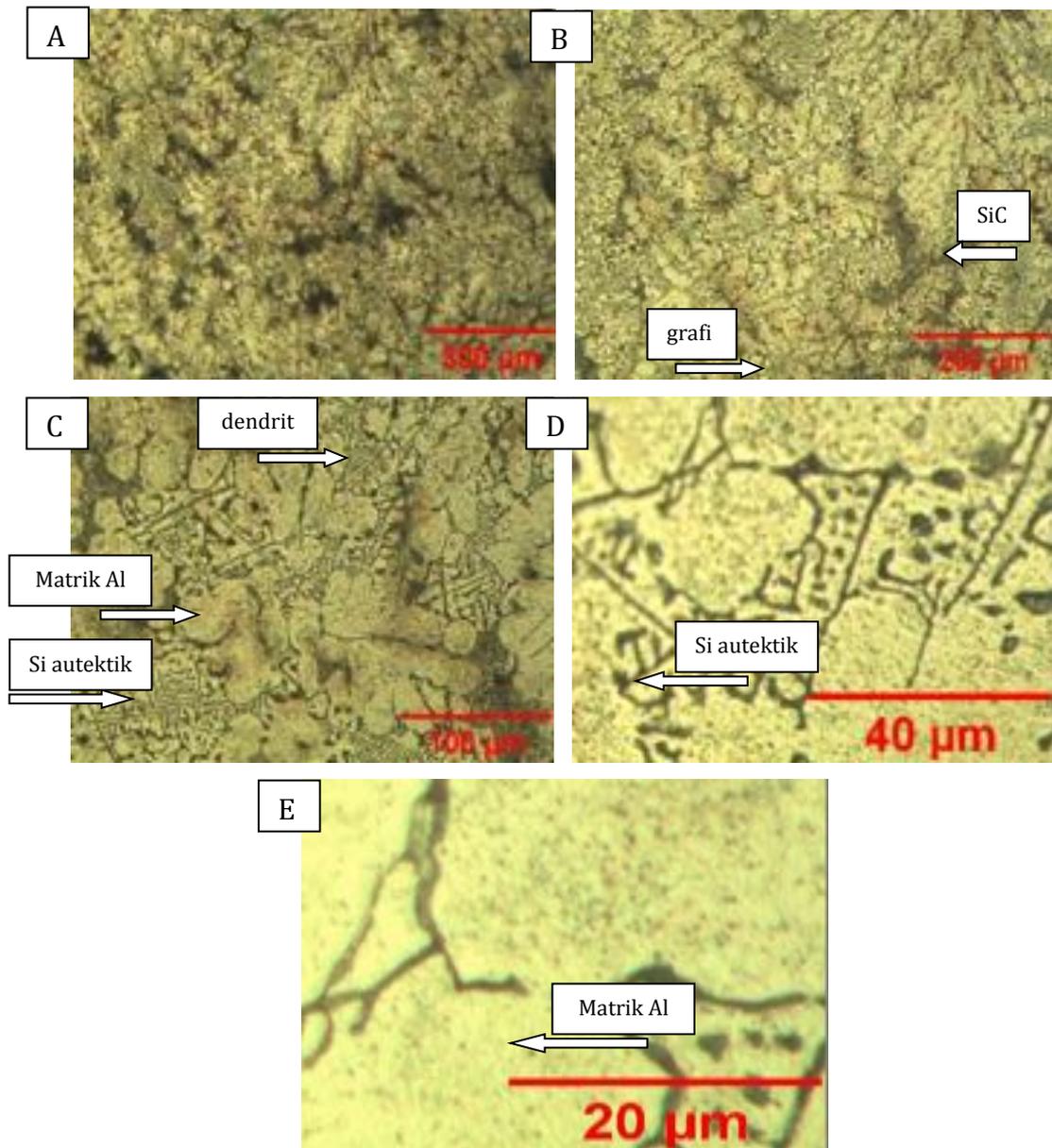
Pengujian metalografi untuk mendapatkan gambaran struktur permukaan dari material komposit hibrid ( Al-7Si-6Mg-5Zn ) dengan penguat 5% SiC dan 5% grafit. Pengujian metalografi menggunakan standart ASTM E7. Untuk melihat gambaran dari struktur permukaan, maka dilakukan pembesaran 50 x, 100 x, 200 x, 500x dan 1000x. Hasil dari pembesaran pengujian metalografi dapat dilihat pada gambar 5.3.

Berdasarkan hasil pengamatan metalografi dengan pembesaran 100 x terlihat adanya SiC dan grafit pada permukaan sampel. Penguat ini akan meningkat kekerasan pada material. Pada pembesaran 200 x terlihat adanya matrik Al (Al+Mg+Zn) yang menyatu pada proses pengecoran dan Si autektik merupakan unsur tunggal yang mengeras pada suhu rendah. Si autektik memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian matrik. Struktur dendrit merupakan struktur yang terbentuk karena penurunan suhu yang tidak seragam. Dendritik terjadi akibat proses pembekuan yang tidak seragam.



Gambar 5.2 Hasil Pengujian SEM

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



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Metalografi Dengan Pembesaran (A) 50 x (B) 100x (C) 200x (D) 500x (E) 1000x

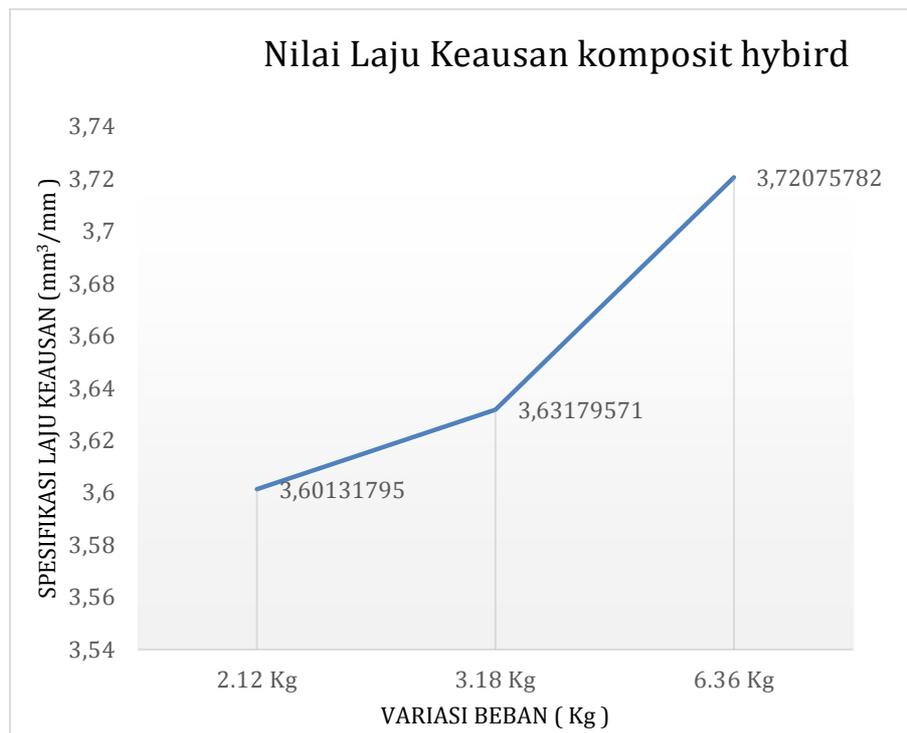
## 5.2 Pengaruh Beban Uji Keausan terhadap Tribologi

Pengujian keausan ini dilakukan dengan metode pengujian keausan Ogoshi standarisasi ASTM G99. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat laju keausan dengan diberikan beban bervariasi pada material komposit hibrid untuk pengaplikasian *disc brake* dengan komposisi materialnya Al - 7 wt.% Si - 6 wt.% Mg - 5 wt.% Zn berpenguat Grafit 5% fraksi volume dan SiC 5% fraksi volume. Variasi beban yang digunakan adalah 2.12 Kg, 3.18 Kg, 6.36 Kg dengan jarak luncur 100 m dan Kecepatan 2.38 m/s. Berikut tabel variasi beban beserta laju keausan.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Keausan dengan material komposit hibrid Al – 7 wt.% Si – 6 wt.% Mg – 5 wt.% Zn, dengan penguat Grafit 5% fraksi volume dan SiC 5% fraksi volume

No	Beban (P) (Kg)	Jarak Luncur (x) (m)	Kecepatan (v) (m/s)	Tebal Cincin (B) (mm)	Lebar jejak terabrasi (b <sup>3</sup> ) (mm)	Jari – jari cincin (r) (mm)	Spesifik Abrasi (mm <sup>3</sup> )	laju keausan (mm / mm)
A	2.12	100	2.38	4	3.72	14	0.360131795 mm <sup>3</sup>	3.60131795 x 10 <sup>-6</sup> mm /mm
B	3.18	100	2.38	4	4.09	14	0.363179571 mm <sup>3</sup>	3.63179571 x 10 <sup>-6</sup> mm /mm
C	6.36	100	2.38	4	5.17	14	0.372075782 mm <sup>3</sup>	3.72075782 x 10 <sup>-6</sup> mm /mm

Setelah dilakukan proses pengujian keausan dengan metode ogoshi untuk sampel C, hasil terbesar yang terdapat pada sampel C menggunakan beban 6.36 Kg dan kecepatan 2.38 m/s dengan laju keausan yang didapat adalah 3.72075782 x 10<sup>-6</sup> mm /mm

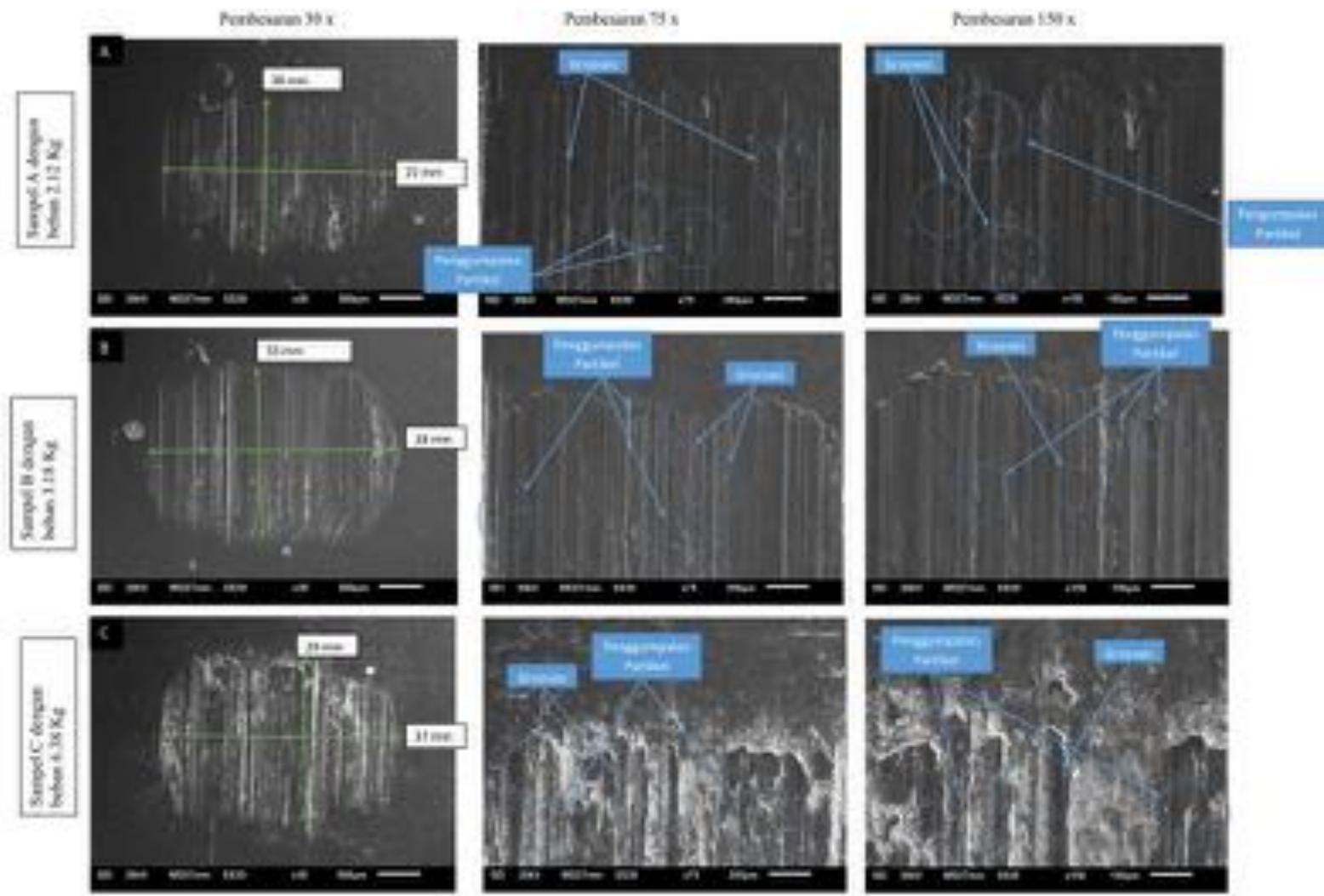


Gambar 5.4 Grafik Laju keausan material komposit hibrid

### Pengamatan SEM

Pengujian SEM dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur permukaan sampel pada material komposit hibrid Al - 7 wt.% Si - 6 wt.% Mg - 5 wt.% Zn dengan berpenguat SiC 5% fraksi volume dan Grafit 5% fraksi volume yang telah mengalami pengujian keausan, pengujian SEM ini dilakukan pada permukaan yang mengalami aus akibat dari pengujian keausan

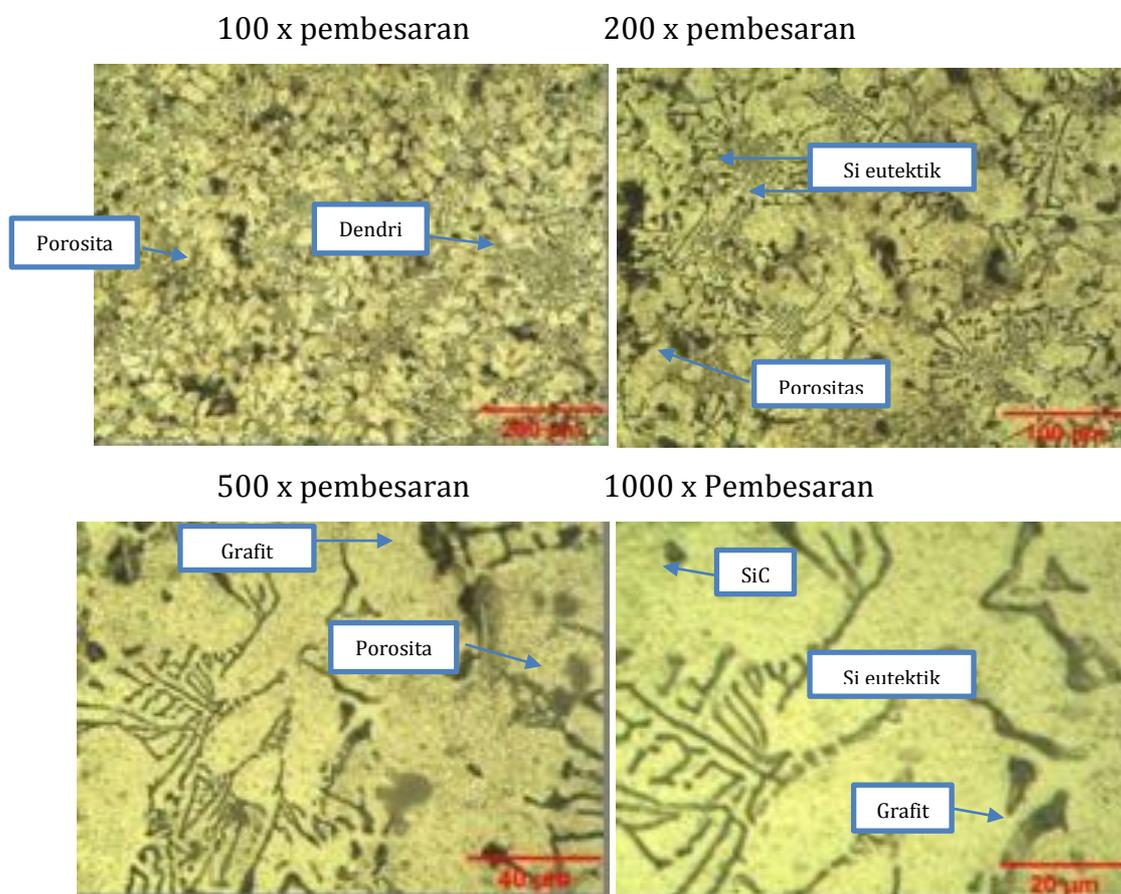
Berdasarkan dari hasil pengamatan SEM ( *Scanning Elektron Mikroskope* ) pada sampel A dengan beban yang diberikan yakni 2.12 Kg dengan kecepatan 2.38 m/s dan jarak luncur 100 m dengan laju keausan  $3.60131795 \times 10^6$  mm /mm. Pada material komposit hibrid Al-7 wt.% Si-6 wt.% Mg-5 wt.% Zn dengan berpenguat SiC 5% fraksi volume dan Grafit 5% fraksi volume. Medapatkan hasil bahwa struktur permukaan yang telah dilakukan pengujian keausan pada pembesaran 75 x dan 150 x terlihat adanya *groove*/alur garis yang terbentuk karena adanya penggumpalan partikel penguat dan karena adanya beban semakin meningkat maka jumlah alur garis akan meningkat.



Gambar 5.5 Hasil pengamatan SEM pada sampel A,B dan C dengan variasi beban 2.12 Kg, 3.18 Kg, 6.38 Kg pada pembesaran 30x, 75x dan 150x

## Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran struktur micro permukaan dari material komposit hibrid Al - 7 wt.% Si - 6 wt.% Mg - 5 wt.% Zn dengan berpenguat SiC 5% fraksi volume dan Grafit 5% fraksi volume. dengan menggunakan cairan etsa HF 0.5 % dan dicelupkan selama 5 detik agar struktur detail yang akan diamati akan terlihat jelas. Pengamatan ini dilakukan pembesaran mulai dari 100 x pembesaran sampai dengan 1000 x pembesaran agar mendapatkan hasil yang baik dan akurat. Hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil pengamatan Microstruktur pada material komposit hibrid dengan etsa HF 0.5 % selama 5 detik

Dari hasil pengamatan micro struktur dengan pembesaran mulai dari 100 x sampai dengan 1000 x, terlihat adanya penguat Grafit dan SiC pada permukaan sampel terdapat adanya Si eutektik dan dendritik pada permukaan sampel terlihat banyak dan menyebar, dendritik terjadi akibat proses pembekuan yang tidak seragam dan lambat pada proses

pengecoran. Sedangkan pada permukaan material terjadi porositas. Hal ini terjadi akibat pada proses penuangan logam cair menuju ke cetakan adanya udara yang masuk pada cetakan saat proses penuangan logam cair menuju cetakan.

### 5.3 Pengaruh Kecepatan Luncur terhadap Tribologi

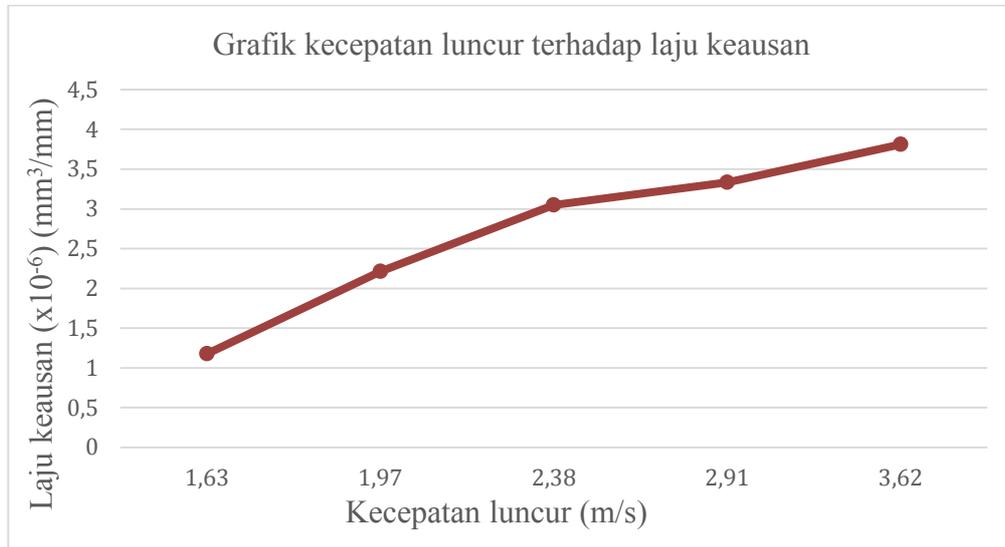
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan pada matriks aluminium Al-7Si-6Mg-5Zn berpenguat 5% fraksi volume SiC + 5% fraksi volume Grafit. Pengujian menggunakan metode *Ogoshi* dengan standar ASTM G 99-04, pengujian dilakukan pada kondisi kering, menggunakan tebal cincin untuk penggesek sebesar 4 mm, diameter cincin sebesar 28 mm, pemberian beban seberat 3.18 kg, dengan jarak luncur sejauh 100 m, dan diputar dengan variasi kecepatan sebesar 1.63 m/s, 1.97 m/s, 2.38 m/s, 2.91 m/s, dan 3.62 m/s, sehingga didapatkan hasil jejak keausan pada spesimen yang diuji.

Tabel 5.7 Hasil pengujian keausan matriks aluminium dengan komposisi, Al-7Si-6Mg-5Zn berpenguat 5 % fraksi volume SiC + 5 % fraksi volume Grafit, pada kondisi kering.

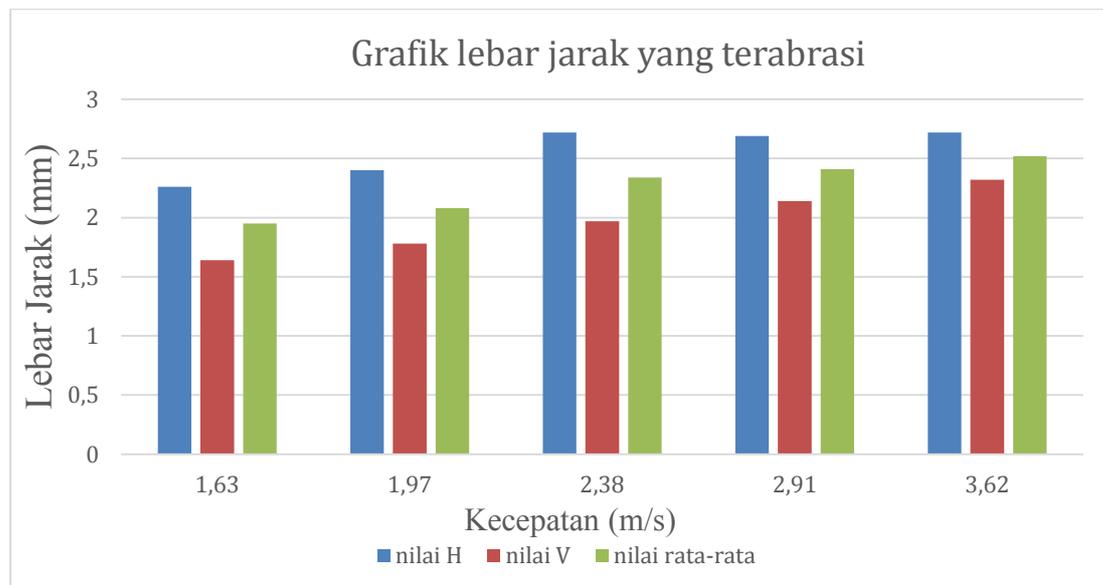
Kecepatan (m/s)	Tebal Cincin (B) (mm)	Diameter Cincin (d) (mm)	Beban (P) (Kg)	Lebar Jejak Rata-rata (b) (mm)	Volume Abrasi (W) (mm <sup>3</sup> )	Jarak Luncur (x) (m)	Laju keausan (V) (mm <sup>3</sup> /mm)
1.63	4	28	3.18	1.95	0.1992	100	1.176 x10 <sup>-6</sup>
1.97	4	28	3.18	2.08	0.2205	100	2.214 x10 <sup>-6</sup>
2.38	4	28	3.18	2.34	0.2364	100	3.050 x10 <sup>-6</sup>
2.91	4	28	3.18	2.41	0.2467	100	3.332 x10 <sup>-6</sup>
3.62	4	28	3.18	2.52	0.2569	100	3.810 x10 <sup>-6</sup>

Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dimaksudkan untuk mengamati permukaan struktur material matriks aluminium dari hasil pengujian aus. Hasil pengamatan SEM material matriks aluminium Al-7Si-6Mg-5Zn dengan sampel dari hasil pengujian aus menunjukkan adanya jejak alur yang terlihat pada gambar disebabkan adanya partikel SiC yang timbul kepermukaan material, hal tersebut menyebabkan

material matriks aluminium terabrasi dan meninggalkan jejak garis pada permukaannya dan membuat permukaan menjadi kasar.



Gambar 5.7 Grafik kecepatan luncur terhadap laju keausan matriks Al-7Si-6Mg-5Zn berpenguat 5 % fraksi volume SiC + 5 % fraksi volume Grafit.



Gambar 5.8 Nilai Horizontal, Vertikal, dan Rata-rata lebar jejak terabrasi matriks aluminium Al-7Si-6Mg-5Zn.

#### 5.4 Analisis Statis Tribologi pada *Disc Brake* Komposit Hibrid

Metode analisis menggunakan metode perancangan *Finite Element Analysis* (FEA), sehingga dapat menghasilkan model komputer dari bahan dan desain yang difokuskan dan dianalisis untuk hasil yang spesifik. Analisis statis dilakukan bertujuan untuk mengetahui titik tumpu tetap dan searah yang dipengaruhi oleh beban terhadap waktu pada kondisi beban statis. Pada proses ini, secara otomatis didapatkan *output* dan parameter apa saja yang dihasilkan dari simulasi analisis statis tersebut, diantaranya :

1. Tegangan ( *Stress* )

Pada *disc brake* tegangan yang terjadi akibat adanya gaya yang berputar dan juga beban yang diberikan pada kampas rem yang ditekan pada *disc brake*, ditentukan juga besaran kecepatan putar dan waktu putaran berlangsung yang dimasukkan pada *tool bar simulation setup* pada proses simulasi, hasil yang didapatkan yaitu berupa nilai tegangan.

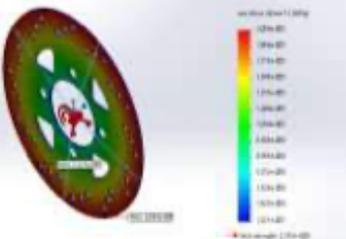
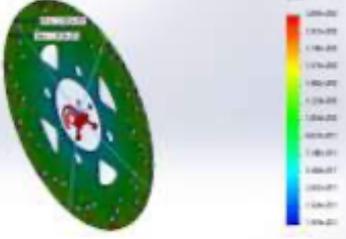
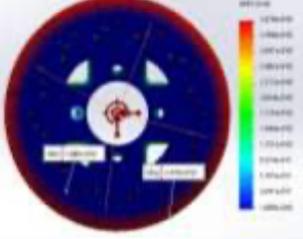
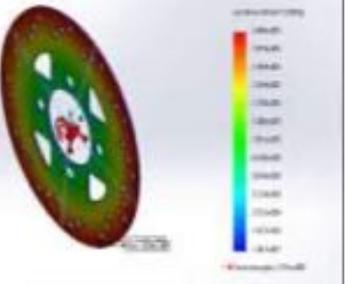
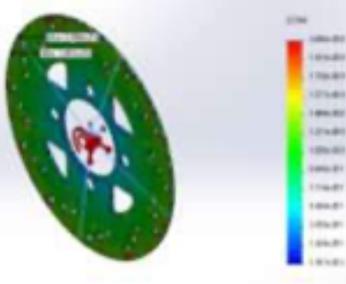
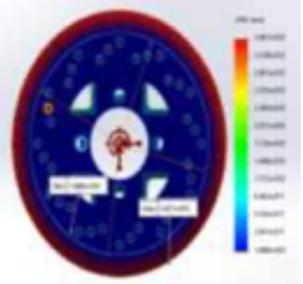
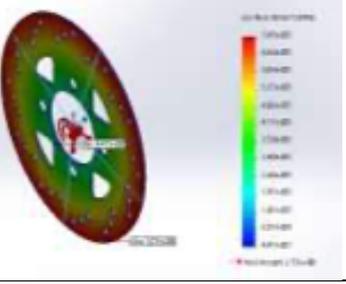
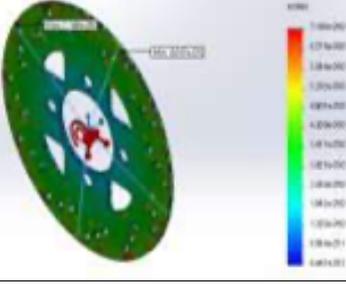
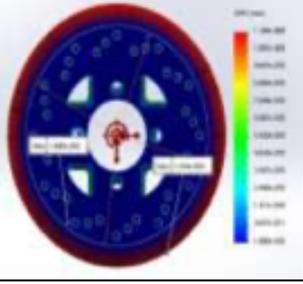
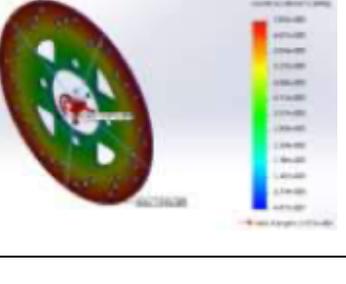
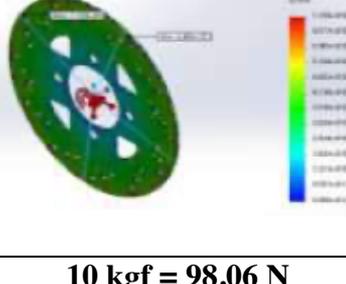
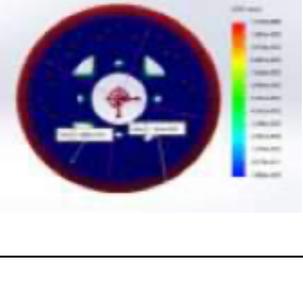
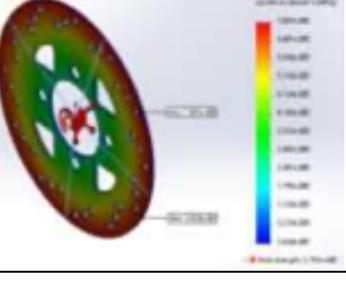
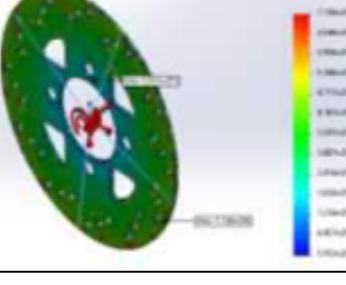
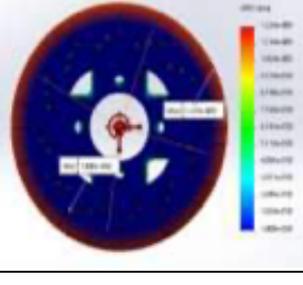
2. *Deformation*

Pada tahapan ini selama proses simulasi berlangsung, *disc brake* berputar dan diberikan beban pada kampas rem lalu ditekan pada *disc brake*, selama proses ini *disc brake* akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran akibat dari adanya gaya putar dan beban tekan oleh kampas rem dan juga dari adanya tegangan – regangan yang terjadi terhadap *disc brake*.

3. Regangan ( *Strain* )

Analisis statis dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik pada material yang digunakan yang dihasilkan dari pembebanan dan kecepatan putar. Besaran beban yang diberikan pada simulasi analisis statis yaitu 2 kgf, 4 kgf, 6 kgf, 8 kgf dan 10 kgf dan kecepatan putar sebesar 60 km/h. Sebelum dilakukan analisis statis pada *software SolidWorks*, dilakukan perubahan pada besaran satuan beban yang digunakan dari kilogram-force ( kgf ) menjadi *Newton* ( N ) dan besaran kecepatan dari km/h menjadi radius per menit ( rpm ).

Tabel 5.8 Hasil Analisis Statis Komposit Hibrid

Tegangan ( N/mm <sup>2</sup> ) MPa	Regangan ( N/mm <sup>2</sup> ) MPa	Deformasi ( mm )
<b>Beban</b>		
<b>2 kgf = 19.61 N</b>		
		
<b>4 kgf = 39.23 N</b>		
		
<b>6 kgf = 58.84 N</b>		
		
<b>8 kgf = 78.45 N</b>		
		
<b>10 kgf = 98.06 N</b>		
		

Tabel 5.9 Nilai Tegangan, Regangan, Deformasi Hasil Analisis Statis

Beban		Nilai		
		Tegangan N/mm <sup>2</sup> ( MPa )	Regangan N/mm <sup>2</sup> ( MPa )	Deformasi ( mm )
2 kgf	19.61 N	2.056e-005	2.093e-010	3.470e-010
4 kgf	39.23 N	2.048e-005	2.096e-010	3.457e-010
6 kgf	58.84 N	7.015e-005	7.168e-010	1.184e-009
8 kgf	78.45 N	7.018e-005	7.169e-010	1.184e-009
10 kgf	98.06 N	7.067e-005	7.138e-010	1.229e-009

Tabel 5.10 Nilai Tegangan, Regangan, Deformasi Hasil Analisis Statis dibandingkan dengan Nilai Teoritis

Beban	Nilai Tegangan N/mm <sup>2</sup> ( MPa )	
	Hasil Simulasi	Hasil Perhitungan
2 Kgf	2.056e-005	2.468e-004
4 Kgf	2.048e-005	4.938e-004
6 Kgf	7.015e-005	7.407e-004
8 Kgf	7.018e-005	9.875e-004
10 Kgf	7.067e-005	1.234e-003

## BAB VI. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan pada material komposit hibrid, maka kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut.

1. Unsur kimia yang terkandung pada material benda uji yaitu Al-7Si-6Mg-5Zn. Material dengan matrik Al-7Si-6Mg-5Zn memiliki sifat ketahanan korosi dan kekuatan yang baik. Kekerasan yang dimiliki pada Al-7Si-6Mg-5Zn yaitu 41.2 HRA.
2. Nilai dari pengukuran kekasaran permukaan tertinggi yaitu dari proses pengecoran mencapai 5.384  $\mu\text{m}$ . Dan kekasaran terendah terdapat pada proses finishing (pengamplasan) dengan nilai rata-ratanya 0.17  $\mu\text{m}$ . Kekasaran permukaan mempengaruhi tingkat keausan yang terjadi pada pengujian keausan. Dimana hasil dari proses pengecoran mengalami nilai spesifikasi abrasi tertinggi sebesar  $1.426 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kg}$ . Dan nilai spesifikasi abrasi terendah dari proses pengamplasan sebesar  $1.969 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{kg}$ .
3. Pada pengujian keausan nilai laju keausan tertinggi terdapat pada pembebanan 6.36 Kg dengan kecepatan 2.38 m/s dan jarak luncur 100 m. dengan nilai spesifik laju keausan  $3.72075782 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . sedangkan nilai laju keausan terendah terjadi pada pembebanan 2.12 Kg dengan kecepatan 2.38 m/s dan jarak luncur 100 m, dengan nilai spesifik laju keausannya  $3.60131795 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ .
4. Pada hasil pengujian metalografi dapat disimpulkan dari hasil yang sudah dilakukan bahwa pada struktur permukaan material harus menghindari adanya porositas yang tinggi, penambahan unsur penguat dapat mengurangi atau meminimalisir adanya porositas
5. Hasil dari pengujian SEM ( *Scanning Elektron Mikroskope* ) dapat disimpulkan dari hasil pengamatan pada sampel yang sudah mengalami keausan bahwa pada sampel C dengan beban 6.36 Kg mengalami abrasi tertinggi pada struktur permukaan akibat permukaan material terdapat penggumpalan partikel dan tidak mampu menahan adanya beban yang tinggi dan terjadi deformasi. Sedangkan pada sampel A dan B struktur permukaannya tidak terlalu tinggi terabrasi saat diberikan beban 2.12 Kg dan 3.18 Kg.
6. Hasil dari pengujian aus yang dilakukan pada material matriks aluminium Al-7Si-6Mg-5Zn dengan berpenguat 5 % fraksi volume SiC + 5 % fraksi volume

Grafit.dengan variasi kecepatan sebesar 1.63 m/s, 1.97 m/s, 2.38 m/s, 2.91 m/s, dan 3.62 m/s dengan beban konstan sebesar 3.18 kg dan jarak luncur sejauh 100 m, didapatkan nilai laju keausan terkecil sebesar  $1.176 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm dan terbesar sebesar  $3.810 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm. Laju keausan akan semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan luncur.

7. Hasil dari pengamatan SEM didapatkan foto jejak alur pada permukaan matriks aluminium. Alur muncul karena adanya partikel SiC yang muncul dipermukaan. Jejak alur dan daerah yang terabrasi akan semakin banyak apabila kecepatan semakin meningkat.
8. Hasil dari pengujian metalografi memperlihatkan adanya,  $\alpha$  matriks aluminium, Si autektik, Grafit serta terdapat porositas pada perbesaran 50 kali.
9. Pada analisis statis nilai tegangan, regangan dengan nilai terendah didapat pada pembebanan 19.61 N dan nilai tegangan, regangan terbesar pada pembebanan 98.06 N.
10. Berdasarkan simulasi analisis statis yang telah dilakukan maka penggunaan material aluminium pada *disc brake* dan tembaga pada kampas rem aman digunakan dikarenakan dari hasil nilai yang didapat bahan material tersebut aman digunakan karena tidak melebihi dari batas nilai *yield strength* sebesar  $2.757 \times 10^1$  N/mm<sup>2</sup>.

## REFERENSI

- [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.

- [14] Dwi Rahmalina, Bondan T.Sofyan, Nararia Askarningsih, Sigma Rizkyardiani, *Effect of Treatment Process on Hardness of Al7Si-Mg-Zn Matrix Composite Reinforced with Silicon Carbide Particulate*, *Advanced Materials Research Journal*, Vol. 875-877 (2014), pp. 1511-1515.
- [15] Dwi Rahmalina, Hendri Sukma, I.Geda E. Lesmana, Asrin Halim, *Effect of Solution Treatment Process on Hardness of Alumina Reinforced Al-9Zn Composite Produced by Squeeze Casting*, *International Journal on Smart Material and Mechatronics*, Vol 1 No.1 (2014), pp. 25-28.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Rodríguez-Reyes, M. Pech-Canul, M. I. Rendón-Angeles, J. C., López-Cuevas, J., *Limiting the Development of Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> to Prevent Degradation of Al/SiCP Composites Processed by Pressureless Infiltratio*. *Composites Science and Technology*. 66, 7-8, (2006), 1056-1062, ISSN 0266-3538
- [19] Lin, Timothy, Chucu Tan, Bob Liu, and Adolphus McDonald, *Microstructure of AA2024-SiC Nanostructured Metal Matrix Composite*. *Journal of Materials Science*, 45, (2008), 7507-7512
- [20] Bhat, K. Udaya dan Surappa, M.K., *Microstructural Studies in Low Specific Energy Laser Surface Treated Al(A356)-SiCp Composites*. *Journal of Materials Science*, 39, (2004), 2795-2799
- [21] Thimmarayan, Raja dan Thanigaiyarasu, G., *Effect of Particle Size, Forging and Ageing on the Mechanical Fatigue Characteristics of Al6082/SiCp Metal Matrix Composites*, *International Journal of Advanced Manufacture Technology*, 48, (2010), 625–632
- [22] Rajput, V. Mondal, S.P. Das, S. Ramakrishnan, N. Jha, A.K, *Effect of SiCp Addition on Age-hardening of Aluminium Composite and Closed Cell Aluminium Composite Foam*, *Journal of Materials Science*, 42, (2007), 7408-7414
- [23] Abarghouie, S.M.R.M. and Reihani, S.M.S, *Aging Behavior of A 2024 Al Alloy – SiCp Composite*. *Materials and Design*, 31, (2010), 2368-2374
- [24] P. Ravindran, K. Manisekar, P. Narayanasamy, N. Selvakumar, R. Narayanasamy, *Application Of Factorial Techniques To Study The Wear Behaviour Of Al Hybrid Composites With Graphite Addition*, *Mater. Des.* 39 (2012) 42–54.
- [25] P. Ravindran, K. Manisekar, P. Narayanasamy, P. Rathika, *Tribological Properties Of Powder Metallurgy-Processed Aluminium Self Lubricating Hybrid Composites With Sic Additions*, *Mater. Des.* 45 (2013) 561–570.

- [26] P. Ravindran, K. Manisekar, S. Vinoth Kumar, P. Rathika, *Investigation Of Microstructure And Mechanical Properties Of Hybrid Aluminum Nano Composites With The Additions Of Solid Lubricants*, Mater. Des. 51 (2013) 448–456.
- [27] Devaraju A, Kumar A, Kotiveerachari B., *Influence of addition of Grp/Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> p with SiCp on wear properties of aluminum alloy 6061-T6 hybrid composites via friction stir processing*, Trans Nonferrous Met Soc China 2013;23(5):1275–80.
- [28] Devaraju A, Kumar A, Kotiveerachari B, *Influence of rotational speed and reinforcements on wear and mechanical properties of aluminum hybrid composites via friction stir processing*, Mater Des 2013;45:576–85.
- [29] \_\_, *ASM Metals Handbook (Vol. 15): Casting*. 1988. ASM International Handbook Committee.
- [30] Vinarcik, Edward J., *High Velocity Die Casting Process*, John Wiley & Sons Inc., New York, 2003.
- [31] N. Souissi, S. Souissi, C.L. Nivinen, M.B. Amar, C. Bradai, F. Elhalouani, *Optimization of Squeeze Casting Parameters for 2017 A Wrought Al Alloy using Taguchi Method*, Metals 4 (2014), pp 141-154.
- [32] T.R. Vijarayam, et.al., *Fabrication of Fiber Reinforced Metal Matrix Composite by Squeeze Casting Technology*. Journal of Materials Processing Technology 178, (2006), 34-38.
- [33] H. Dieringa, Norbert Hort and Karl Ulrich Kainer, *Magnesium Based MMCs Reinforced with C-Fibers*, The Azo Journal of Materials Online, (September 2005).
- [34] O. Beffort, S.Long, C. Cayron, J. Kuebler, P. Buffat, *Alloying Effects on Microstructure and Mechanical Properties of High Volume Fraction SiC-Particle Reinforced Al-MMCs Made by Squeeze Casting Infiltration*, Composite Science and Technology 67, (2007), pp. 737-745.
- [35] Jared Feist, *Tribological Investigation on Automotive Disc Brake*, MANE- 6960 Friction And Lubrication, 12-09-2013
- [36] Buckley H Donald, *Surface Effects In Adhesion, Friction, Wear, And Lubrication*, Tribologi Series 5, Lewis Reserch Center, Cleveland, USA, Chapter 7
- [37] Standart ASTM G99 - 95a, *Standart Test Method For Wear Testing With a Pin On Disc Apparatus*, 2000
- [38] Herry S, *Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Proses Milling Pada Baja Karbon S45C Dengan Metode Desain Faktorial*, Politeknik Manufaktur Astra, Volume 6, Nomor 2, Desember 2016
- [39] Chang-Xue, *Surface Roughness Predictive Modeling: Neural Networks versus Regression*. Department of Industrial & Manufacturing Engineering, College of Engineering and Technology Bradley University: Illinois USA, 2002
- [40] DIN 4763 : 1981 *Progressie Ratio of Number Values of Surface Roughness Parameters*.