



**VARIASI UKURAN TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU
KEAUSAN KOMPOSIT *EPOXY* ALUMINIUM-SERBUK
TEMPURUNG KELAPA UNTUK KAMPAS REM**

SKRIPSI

Oleh

Ario Kristian Iman Taka

NIM 111910101085

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**VARIASI UKURAN TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU
KEAUSAN KOMPOSIT *EPOXY* ALUMINIUM-SERBUK
TEMPURUNG KELAPA UNTUK KAMPAS REM**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Ario Kristian Iman Taka

NIM 111910101085

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan karunia-Nya sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan. Karya yang sederhana ini saya persembahkan kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, Tuhan semesta alam yang senantiasa mengaruniakan kasih-Nya dan hikmat serta pertolongan yang begitu besar dalam segala hal termasuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua terkasih, Ayahanda Imam Supriyadi dan Ibunda Lilin Rianti, serta adik tersayang, Cindy Charista E, yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, doa, semangat, dan bantuan, selama masa perkuliahan termasuk dalam menyelesaikan skripsi ini,
3. Bapak Dosen Pembimbing Skripsi; Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. dan Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. yang selalu memberikan bantuan, bimbingan, semangat, serta dukungan dalam mengerjakan skripsi ini.
4. Bapak Dosen Penguji; Bapak Dr. Salahudin Junus, S.T.,M.T. dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Bapak Dosen Pembimbing Akademik; Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. yang telah membimbing mulai dari awal hingga akhir semester.
6. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan kasih sayang kepada seluruh mahasiswa Progam Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik.
7. Seseorang terkasih, Leni Ofta Agustina, yang selalu menemani berjuang, menolong, mengorbankan waktu dan tenaga, mendukung, memberikan bantuan, doa, serta semangat dalam mengerjakan skripsi ini.

MOTTO

“Apapun juga yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu, seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia”

(Kolose 3:23)

“Dan apa saja yang kamu minta dalam doa dengan penuh kepercayaan, kamu akan menerimanya”

(Matius 21:22)

“Pencobaan-pencobaan yang kamu alami ialah pencobaan-pencobaan biasa, yang tidak melebihi kekuatan manusia. Sebab Allah setia dan karena itu Ia tidak akan membiarkan kamu dicobai melampaui kekuatanmu. Pada waktu kamu dicobai Ia akan memberikan kepadamu jalan ke luar, sehingga kamu dapat menanggungnya”

(1 Korintus 10:13)

Ora et labora (berdoxa dan bekerja)

(Santo Benediktus)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ario Kristian Iman Taka

NIM : 111910101085

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**Variasi Ukuran Terhadap Kekerasan Dan Laju Keausan Komposit Epoxy Aluminium-Serbuk Tempurung Kelapa Untuk Kampas Rem**” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Juli 2017

Yang menyatakan

Ario Kristian I T

NIM. 111910101085

SKRIPSI

**VARIASI UKURAN TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU KEAUSAN
KOMPOSIT EPOXY ALUMINIUM-SERBUK TEMPURUNG KELAPA
UNTUK KAMPAS REM**

Oleh

**Ario Kristian I. T.
NIM 111910101085**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir.F.X. Kristianta M.Eng

Dosen Pembimbing Anggota : Imam Sholahuddin S.T.,M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul **“Variasi Ukuran Terhadap Kekerasan Dan Laju Keausan Komposit Epoxy Aluminium-Serbuk Tempurung Kelapa Untuk Kampas Rem”** telah diuji dan disahkan pada:

Hari :Senin

Tanggal :10 Juli 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Ir.F.X. Kristianta M.Eng
NIP. 19650120 200112 1 001

Imam Sholahuddin S.T.,M.T
NIP. 19811029 200812 1 003

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Salahuddin Junus S.T., M.T
NIP. 19751006 200212 1 002

Ir. Ahmad Syuhri M.T
NIP. 19670123 199702 1 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Perkembangan industri otomotif meliputi komponen-komponen sepeda motor dengan berbagai macam produk dan merek menyebabkan persaingan antar produsen, baik dalam persaingan harga, mutu dan kualitas produk. Komponen sepeda motor yang sering diganti adalah kampas rem. Rem berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan gerakan dari roda. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dan merupakan penelitian deskriptif yaitu memaparkan secara jelas hasil eksperimen di laboratorium terhadap sejumlah benda uji. Penelitian dilakukan di laboratorium desain dan las Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Agustus 2015 sampai dengan bulan April 2017. Dalam penelitian ini menggunakan tiga variabel, yaitu : variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Variabel bebas pada penelitian ini meliputi ukuran serbuk kelapa.

Variabel terikat pada penelitian ini meliputi nilai laju keausan dan nilai kekerasan bahan. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah spesimen dikompaksi sebesar 10 kg selama 15 menit, Spesimen di panaskan dengan suhu 150° C selama 30 menit, Kecepatan *sliding* pada saat pengujian laju keausan sebesar 500 RPM dan pembebanan sebesar 1,5 kg. Menurut Muhammad Syahid, dkk, bahwa nilai standart kekerasan kampas rem komposit yaitu 68 – 105 BHN. Kampas rem komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa ukuran 600 µm dan 425 µm, memenuhi nilai standar kekerasan kampas rem komposit dengan nilai kekerasan 61,67 BHN untuk kampas rem serbuk tempurung kelapa ukuran 425 µm dan 63,66 BHN untuk kampas rem serbuk tempurung kelapa ukuran 300 µm.

Serbuk tempurung kelapa ukuran 300 μm mempunyai nilai kekerasan rata-rata 63,66 BHN, serbuk tempurung kelapa ukuran 425 μm mempunyai nilai kekerasan rata-rata 61,67 BHN, dan serbuk tempurung kelapa ukuran 600 μm mempunyai nilai kekerasan rata-rata 41,66 BHN, sedangkan untuk kekerasan dari kampas rem komersial sebesar 22,33 BHN. Dari hasil data kekerasan kampas rem komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin kecil ukuran serbuk dari serbuk tempurung kelapa, maka semakin besar pula nilai kekerasannya. Hal ini sesuai dengan hipotesis yaitu semakin kecil ukuran serbuk dari bahan penyusun, maka semakin besar nilai kekerasan. Serbuk tempurung kelapa ukuran 300 μm mempunyai nilai laju keausan rata-rata $1,17 \times 10^{-6}$ gram/s.mm², serbuk tempurung kelapa ukuran 425 μm mempunyai nilai laju keausan rata-rata $1,35 \times 10^{-6}$ gram/s.mm², dan serbuk tempurung kelapa ukuran 600 μm mempunyai nilai laju keausan rata-rata $8,70 \times 10^{-6}$ gram/s.mm², sedangkan untuk laju keausan dari kampas rem komersial sebesar $6,40 \times 10^{-5}$ gram/s.mm². Dari hasil penelitian kampas rem komposit dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran dari bahan penyusun maka semakin besar nilai laju keausannya dan semakin baik struktur mikronya. Hal ini relevan dengan pernyataan Bambang Hari Priyambodo,dkk, Semakin keras suatu bahan semakin baik struktur mikronya serta semakin kecil nilai laju keausannya.

Pada pengujian mikro dapat dilihat bahwa kampas rem komposit aluminium tempurung kelapa ukuran 300 μm , serbuk tempurung kelapanya tersebar merata

PRAKATA

Puji Tuhan, segala pujian, hormat, dan kemuliaan hanya bagi Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan karunian-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Variasi Ukuran Terhadap Kekerasan Dan Laju Keausan Komposit *Epoxy* Aluminium-Serbuk Tempurung Kelapa Untuk Kampas Rem”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Progam Studi Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dosen Pembimbing Skripsi; Bapak Ir.F.X. Kristianta M.Eng dan Bapak Imam Sholahuddin S.T.,M.T. yang selalu memberikan bantuan, bimbingan, semangat, serta dukungan dalam mengerjakan skripsi ini.
2. Bapak Dosen Pembimbing Akademik; Bapak Ir.F.X. Kristianta M.Eng yang telah membimbing mulai dari awal hingga akhir semester.
3. Keluarga terkasih, Ayahanda Imam Supriyadi, Ibunda Lilin Rianti, dan adik Cindy Charista E.
4. Seorang terkasih Leni Ofta Agustina.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan saru per satu.

Penulis menerima kritik dan saran dari semua pihak demi perbaikan skripsi ini. Semoga bermanfaat.

Jember, 10 Juli 2017

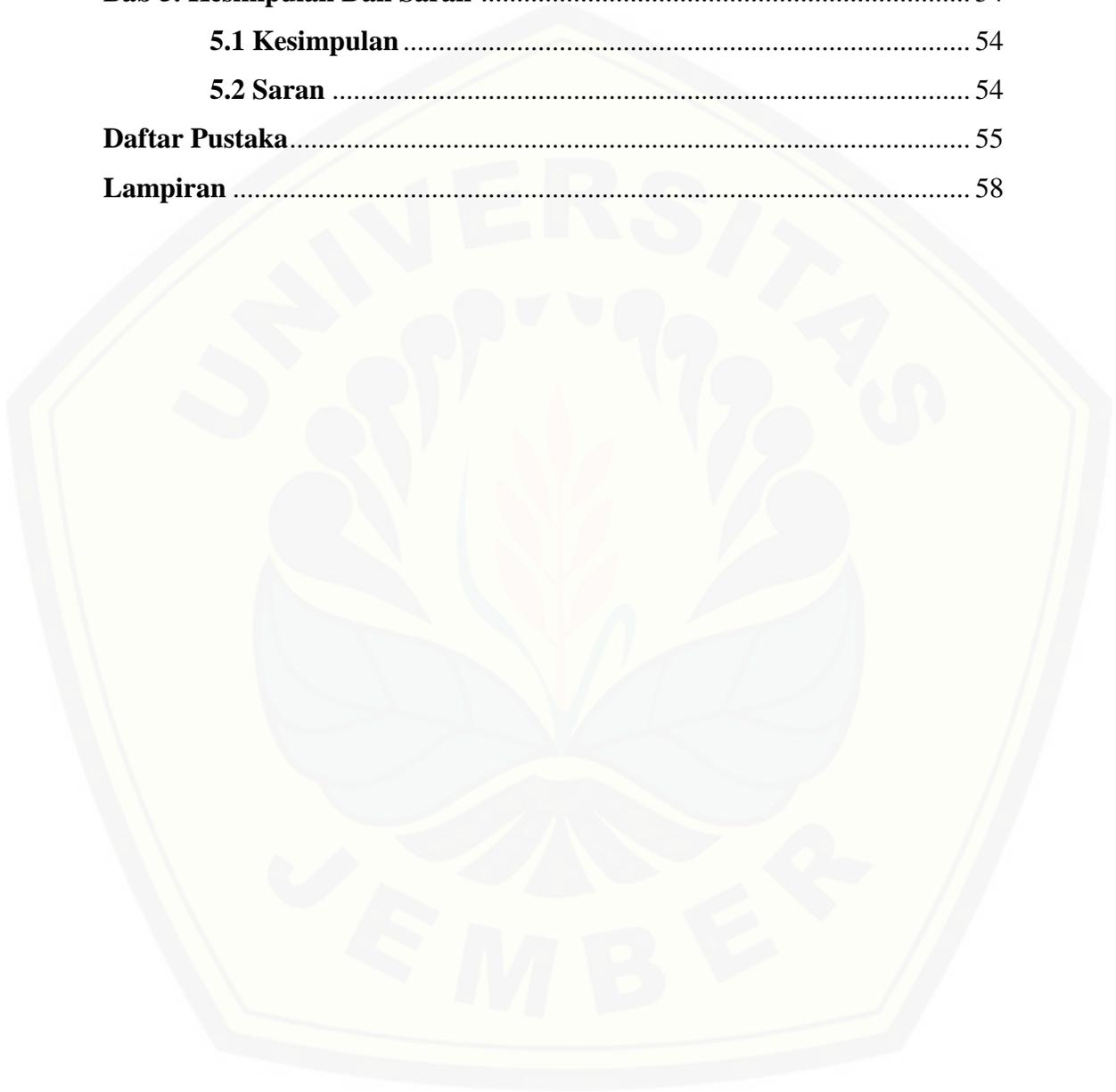
Ario Kristian Iman Taka

Daftar Isi

	Halaman
Halaman Sampul	i
Persembahan	ii
Motto	iii
Pernyataan	iv
Halaman Pengesahan	vi
Ringkasan	vii
Prakata	ix
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xiv
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat.....	4
Bab 2. Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kampas Rem	5
2.1.1 Komposisi Bahan Kampas Rem	6
2.1.2 Persyaratan Bahan Kampas Rem	6
2.1.3 Kampas Rem Dari Polimer Matrik Komposit.....	9
2.2 Rem Cakram	9
2.2.1 Mekanisme Kerja Pengereman Pada Sepeda Motor	10
2.2.2 Komponen Rem Cakram.....	10
2.3 Material Komposit	16

2.3.1 Material Penyusun Komposit.....	16
2.3.2 Bahan – Bahan Pembentuk Komposit	17
2.3.3 Klasifikasi Bahan Komposit.....	18
2.3.4 Jenis Komposit Ditinjau Dari Penguat	19
2.3.5 Jenis Komposit Ditinjau Dari Matrik	20
2.3.6 Faktor Yang Mempengaruhi Sifat Mekanik Komposit ...	21
2.4 Serbuk Tempurung Kelapa.....	21
2.5 Aluminium	23
2.6 Resin Epoksi	25
2.7 Metalurgi Serbuk	27
2.7.1 <i>Sintering</i>	28
2.7.2 Karakterisasi Serbuk.....	29
2.7.3 Pencampuran Serbuk	29
2.7.4 Proses Penekanan	30
Bab 3. Metodologi Penelitian	32
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	32
3.2 Bahan Dan Alat	32
3.2.1 Bahan	32
3.2.2 Alat.....	33
3.3 Variabel Pengukuran.....	33
3.3.1 Variabel Bebas	33
3.3.2 Variabel Terikat	34
3.3.3 Variabel Kontrol.....	34
3.4 Prosedur Penelitian.....	34
3.4.1 Langkah – Langkah Pembuatan Sampel.....	34
3.4.2 Langkah – Langkah Pengujian Sampel.....	35
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	38
Bab 4. Hasil Penelitian Dan Pembahasan	41
4.1 Pengujian Kekerasan.....	41

4.2 Pengujian Laju Keausan	45
4.3 Pengujian Mikro	48
Bab 5. Kesimpulan Dan Saran	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
Daftar Pustaka.....	55
Lampiran	58



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kampas Rem	5
2.2 Kampas Rem Asbestos Dan Non Asbestos.....	9
2.3 Gaya Pengereman.....	10
2.4 <i>Solid Disk</i>	11
2.5 <i>Ventilated Disk</i>	12
2.6 <i>Floating Caliper</i>	13
2.7 <i>Fixed Caliper</i>	13
2.8 Piston	14
2.9 <i>Brake Pad</i>	15
2.10 Tempurung	22
2.11 Tga, Dsc, Dan Tma <i>Epoxy</i>	26
2.12 Mekanisme Pencampuran Dan Pengadukan Serbuk	30
2.13 Jenis-Jenis Kompaksi	30
3.1 Penentuan Titik Indentasi.....	36
3.2 Skema Prosedur Penelitian.....	40
4.1 Nilai Kekerasan Kampas Rem Komposit	43
4.2 Nilai Laju Keausan Kampas Rem Komposit	46
4.3 Pengamatan Struktur Mikro 600 μm , 425 μm , & 300 μm	49
4.4 Hasil Foto Permukaan Sampel Komposisi 10% - 50%	51
4.5 Optikal Mikroskop Kampas Rem Serbuk Tempurung Kelapa	52
4.6 Struktur Permukaan Aluminium	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Koefisien Gesek Dan Tekanan Rem	7
2.2 Persyaratan Teknik Kampas Rem Komposit	8
2.3 Komponen Dan Kandungan Tempurung Kelapa.....	22
2.4 Nilai Sifat Mekanik Tempurung Kelapa.....	23
2.5 Sifat Fisika Dan Berat Jenis Aluminium	24
2.6 Nilai Berat Jenis Untuk Serbuk Aluminium Hasil Proses Atomisasi ...	24
2.7 Kelebihan Dan Kekurangan Resin <i>Epoxy</i>	27
4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Kampas Rem Komposit	42
4.2 Hasil Pengujian Laju Keausan Kampas Rem Komposit.....	45

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri otomotif meliputi komponen-komponen sepeda motor dengan berbagai macam produk dan merek menyebabkan persaingan antar produsen, baik dalam persaingan harga, mutu dan kualitas produk. Komponen sepeda motor yang sering diganti adalah kampas rem. Rem berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan gerakan dari roda. Jika rem tidak berfungsi dengan baik, maka dapat mengakibatkan kecelakaan. Pada umumnya, kampas rem sepeda motor terbuat dari bahan asbes dan unsur-unsur tambahan lainnya seperti SiC, Mn atau CO. Berdasarkan proses pembuatannya, kampas rem sepeda motor termasuk pada *particulate composite*.

Kualitas kampas rem harus memenuhi standar, salah satunya tergantung dari kekerasannya. Kekerasan kampas rem berkaitan dengan umur kampas rem, umur drum atau piringan serta jenis kendaraan. Untuk mendapatkan hasil produksi optimal, maka akan dilakukan eksperimen dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan kampas rem dan menentukan *level* dari faktor-faktor tersebut (Wahyudi, Didik, dkk, 2002). Akan tetapi bahan kampas rem yang terbuat dari asbes sangat membahayakan kesehatan karena mengganggu pencermaran. Sehingga kampas rem non-asbes sekarang banyak dikembangkan dan dijadikan objek penelitian dengan ditambahkannya inovasi-inovasi pengganti asbes.

Kelapa merupakan komoditas yang berkembang di Kabupaten Jember (Regional Investment). Menurut Morshed dan Haseeb (2004) bahwa kelapa berpotensi sebagai alternatif serat penguat bahan gesek *non-asbes* karena tempurung kelapa memiliki kekerasan $50 - 80 \text{ kgf.mm}^{-2}$, keausan $5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kg}$ dan kerapatannya tinggi, serta serapan airnya rendah (Desi Kiswiranti, 2007). Dari uraian di atas menunjukkan bahwa ketersediaan dan potensi limbah tempurung kelapa sebagai bahan komposit untuk kampas rem kendaraan. Sebelum digunakan sebagai kampas rem, berbagai kajian sifat fisis-mekanis komposit berbahan dasar serbuk

tempurung kelapa bermatrik *epoxy* perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan kanvas dan keausan.

Aluminium merupakan logam ringan yang banyak terdapat di alam dan menduduki nomor dua tingkat produksinya setelah besi atau baja. Selain itu aluminium ini memiliki sifat-sifat yang baik, seperti lebih tahan korosi dibandingkan dengan besi, memiliki daya hantar listrik yang baik dan ringan. Aluminium dapat dijadikan bahan komposit pada kanvas rem karena memiliki bobot ringan, densitas $2,685 \text{ Kg/m}^3$, berat jenis $2,7 \text{ gr/cm}^3$, titik didih $4220,6^\circ\text{F}$ (2327°C), titik lebur 1220°F (660°C) dan kekuatan tarik 70 MPa serta tahan korosi (Telang, dkk, 2010).

Resin epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok *thermoset*, yang dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali ke keadaan sebelum mengalami pengeringan. Resin epoksi termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, kekuatan perekat epoksi terdegradasi pada suhu 350°F (177°C) yang memiliki sifat yang baik dalam hal reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi, kekuatan tarik dan kekuatan bending sangat baik berstruktur amorf, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali serta memiliki kelemahan pada sifat sensitif menyerap air dan getas (Fred, 1994).

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang terpisah dan berbeda tetapi membentuk komponen tunggal dengan tujuan untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. Menurut Handoyo, komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik - matrik) dan suatu jenis penguatan/resin (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus (Smallman & Bishop, 2000).

Santoso *et al* (2010) melakukan penelitian pemanfaatan campuran serbuk tempurung kelapa-aluminium sebagai material alternatif kampas rem sepeda motor *non-asbestos*. Dengan hasil penelitian pada komposisi serbuk tempurung kelapa 20%, serbuk aluminium 40%, resin 40% memiliki angka keausan sebesar $0,071 \cdot 10^{-7}$ mm/kg dan angka kekerasan sebesar $16,8 \text{ kgf/mm}^2$. Sampai saat ini sedikit kajian yang membahas pemanfaatan limbah serbuk tempurung kelapa untuk dijadikan bahan alternatif pengganti asbes untuk pembuatan kampas rem. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap ukuran serbuk tempurung kelapa pada komposit matrik *epoxy* berpenguat serbuk aluminium dan dilakukan pengujian kekerasan dan keausan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam Penelitian ini dapat diambil suatu rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi ukuran partikel aditif serbuk tempurung kelapa terhadap morfologi komposit aluminium epoksi?
2. Bagaimana pengaruh variasi ukuran partikel aditif serbuk tempurung kelapa terhadap nilai kekerasan komposit aluminium epoksi?
3. Bagaimana pengaruh variasi ukuran partikel aditif serbuk tempurung kelapa terhadap nilai laju keausan komposit aluminium epoksi?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai masalah-masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dititik beratkan pada pengujian morfologi, kekerasan dan laju keausan.
2. Variasi komposisi yang digunakan adalah fraksi volume dari 40% resin, 40% serbuk aluminium, dan 20% serbuk tempurung kelapa.
3. Variasi ukuran serbuk tempurung kelapa yang digunakan adalah $600 \mu\text{m}$, $425 \mu\text{m}$, dan $300 \mu\text{m}$.
4. Kompaksi yang digunakan sebesar 10 kg dan ditahan selama 15 menit.
5. Spesimen yang dihasilkan dari proses kompaksi dianggap homogen.

6. Sintering dengan suhu 150° C selama 30 menit
7. Membandingkan kampas rem hasil penelitian dengan kampas rem komersil merk indopart dan federal.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian pengaruh variasi ukuran serbuk tempurung kelapa – aluminium komposit epoksi terhadap nilai kekerasan dan laju keausan adalah sebagai berikut :

1.4.1 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel adiktif serbuk tempurung kelapa terhadap nilai kekerasan komposit aluminium epoksi.
2. Mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel adiktif serbuk tempurung kelapa terhadap nilai laju keausan komposit aluminium epoksi.

1.4.2 Manfaat

1. Dapat mengetahui variasi ukuran serbuk tempurung kelapa pada kampas rem dari campuran serbuk tempurung kelapa-aluminium dengan matriks resin *epoxy* yang memiliki nilai kekerasan tertinggi untuk digunakan sebagai material alternatif pada kampas rem.
2. Dapat mengetahui variasi ukuran serbuk tempurung kelapa pada kampas rem dari campuran serbuk tempurung kelapa-aluminium dengan matriks resin *epoxy* yang memiliki nilai laju keausan terendah untuk digunakan sebagai material alternatif pada kampas rem.
3. Dapat mengetahui apakah serbuk tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai material alternatif pada kampas rem.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kampas Rem

Kampas rem merupakan komponen yang berfungsi memperlambat dan menghentikan putaran poros, mengendalikan poros dan untuk keselamatan pengendara sendiri. Rem cakram (disc brake) terdiri dari cakram (disc rotor) dan disc pad. Daya pengereman dihasilkan karena gesekan antara disc pad dan disc rotor. Ketika kendaraan bergerak, maka drum berputar sesuai putaran roda. Gambar 2.1 adalah gambar kampas rem komersial.



Gambar 2.1 Kampas Rem (Sumber: Zikri, 2014)

Untuk memenuhi syarat dan menjaga keselamatan dalam mengemudikan kendaraan dan kompetisi di pasaran, bahan friksi membutuhkan performa friksi yang baik dan biaya rendah. Akan tetapi, biasanya bahan mentah dengan performa friksi yang baik mempunyai harga yang relatif tinggi. Untuk menghasilkan “*brake lining*” yang baru dengan nilai yang cukup pada koefisien gesek (μ) dan kecepatan *wear* yang rendah, faktor biaya kedua bahan mentah dan proses pembuatannya harus betul-betul dipertimbangkan. Agar didapatkan suatu bahan dengan koefisien gesek tinggi dan juga *wear* yang rendah. Karakterisasi yang perlu dilakukan dalam pembuatan kampas rem sepeda motor adalah kekerasan dan keausan (Muhammad Syahid, Hairul Arsyad & Pratama, 2011). Kampas rem yang terlalu keras menyebabkan umur drum atau cakram menjadi pendek, jika terlalu lunak maka umur kampas rem akan pendek. Temperatur kampas rem akan naik akibat gesekan yang terjadi selama pengereman.

2.1.1 Komposisi Bahan Kampas Rem

Secara garis besar serat yang digunakan untuk memfabrikasi bahan gesek kampas rem dapat diklasifikasikan menjadi serat asbes dan non asbes (Liu *et al.*, 2004). Keduanya memiliki perbedaan dalam ketahanan terhadap suhu yang terjadi dimana kampas rem masih mampu bekerja. Kampas rem *asbestos* tidak dapat bekerja pada suhu pengereman di atas 200°C. Sedangkan untuk kanvas rem yang terbuat dari *non-asbestos* lebih tahan panas dan tidak dapat bekerja pada suhu pengereman di atas 350°C hal ini karena serat selulosa dan serat lainnya dapat meredam panas lebih baik dibandingkan serat asbes (Wawan Kartiwa Haroen dan Arief Tri Waskito, 2009). Serat non asbes meliputi serat gelas, serat mineral, serat logam, wolastonit, potasium titatanat, dan serat organik (Bijwe, 1997).

Serat serat organik yang telah digunakan oleh beberapa peneliti terdahulu meliputi serat karbon, serat akrilik, aramid pulp, rockwool dan selulose (Mohanthly & Chugh 2007; Zhang & Wang, 2007). Beberapa serat seperti gelas, karbon, silika, aluminosilikat, dan silikon karbida merupakan hasil sintetis baik dari bahan organik maupun non organik. Serat asbes mulai ditinggalkan karena dapat menyebabkan penyakit kanker bagi pekerja di Industri (Kurt & Boz, 2005). Selain itu, biaya produksi serat sintetis cukup tinggi, sehingga harga bahan gesek kampas rem yang difabrikasi menjadi mahal. Bahan lain yang dapat digunakan sebagai pengganti serat asbes adalah bahan-bahan dari serat alam. Keunggulan dari serat alam diantaranya adalah biaya produksinya rendah (Silva *et al.*, 2006), ramah lingkungan, suplai terjamin, dan dapat diperbaharui. Keunggulan ini membuat serat alam dapat mengganti serat penguat sintetis untuk komposit matrik polimer (Yousif *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2010). Selain itu, serat alam juga digunakan sebagai penguatan di dalam membuat komponen-komponen struktur (Jain *et al.*, 1992).

2.1.2 Persyaratan Bahan Kampas Rem

Bahan rem harus memenuhi persyaratan keamanan, ketahanan, dan dapat mengerem dengan halus. Di samping itu juga harus mempunyai koefisien gesek yang

tinggi, keausan kecil, kuat, tidak melukai permukaan drum, dan dapat menyerap getaran. Daerah tekanan yang diizinkan pa (kg/mm²) untuk bahan-bahan yang bersangkutan diperlihatkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien gesek dan tekanan rem

Bahan drum	Bahan gesek	Koefisien gesek (μ)	Tekanan permukaan Pa (Kg/mm ²)	Keterangan
Besi cor, Baja cor, Besi cor khusus	Besi cor	0,10-0,20	0,09-0,17	Kering
		0,08-0,12		Dilumasi
	Perunggu	0,10-0,20	0,05-0,08	Kering-dilumasi
	Kayu	0,10-0,35	0,02-0,03	Dilumasi
	Tenunan	0,35-0,60	0,007-0,07	Kapas, asbes
	Cetakan (pasta)	0,30-0,60	0,30-0,60	Damar, asbes Setengah logam
	Paduan sinter	0,20-0,50	0,003-0,10	Logam

(Sumber: Sadri, 2009)

Kampas rem sepeda motor terbuat dari bahan *asbestos* dan unsur – unsur tambahan lainnya seperti SiC, Mn atau Co. Berdasarkan proses pembuatannya, kampas rem (*brakeshoes*) sepeda motor, termasuk pada “*particulate composite*”. Komposit jenis ini, memiliki bahan penguat (*reinforced*) terdiri atas partikel yang tersebar merata dalam matriks yang berfungsi sebagai pengikat, sehingga menghasilkan bentuk solid yang baik. Bahan pengikat dapat membentuk sebuah matriks pada suhu yang relatif stabil. Bahan pengikat terdiri dari berbagai jenis resin diantaranya *phenolic*, *epoxy*, *Polyester* dan *rubber*. Resin tersebut berfungsi untuk mengikat berbagai zat penyusun di dalam bahan friksi. Melalui proses penekanan sekaligus pemanasan pada saat pencetakan akan dihasilkan suatu sifat antara lain kekuatan, kekerasan serta gaya gesek yang semakin meningkat.

Hal tersebut dapat menyebabkan harga kampas rem cukup mahal. Oleh karena itu pemanfaatan serat alam perlu dilakukan dengan tujuan agar harga kampas rem lebih

murah dan ramah lingkungan serta menemukan bahan baru dalam pembuatan kampas rem (Dian Prasetyo, Yuyun Estriyanto, Budi Harjanto, 2005). Masmui (2003), Berdasarkan prosiding seminar teknologi untuk negeri menyatakan bahwa karakteristik dengan tingkat keausan rendah dan *Brinell Hardness Number (BHN)* tinggi diperoleh dengan memberikan tekanan pembentukan relatif lebih rendah dibanding spesimen lainnya. Hal ini disebabkan oleh dua kemungkinan:

1. Terpisahnya resin sebagai bahan pengikat (*binder*) dari campuran komposit.
2. Kekuatan ikat resin lebih kecil dari pada tekanan pembentukan yang diberikan pada spesimen pada waktu proses pembuatan spesimen.

Kampas rem komposit harus memenuhi standart agar dapat digunakan pada kendaraan. Beberapa persyaratan teknik kampas rem komposit tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan teknik kampas rem komposit

No	Standart	Nilai
1	Kekerasan	68 – 105 BHN
2	Ketahanan panas	360 ⁰ C
3	Keausan	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{kg}$
4	Koefisien gesek	0,14 – 0,27
5	Massa jenis	1,5 – 2,4 gr/cm ³
6	Konduktivitas thermal	0,12 – 0,8 W.m.°K
7	Tekanan Spesifik	0,17 – 0,98 joule/g.°C
8	Kekuatan geser	1300 – 3500 N/cm ²
9	Kekuatan perpatahan	480 – 1500 N/cm ²

(Sumber: Muhammad Syahid, Hairul Arsyad & Pratama, 2011)

Imam, Pramuko I.P (2009), melakukan penelitian tentang kampas rem gesek dengan memberikan peningkatan sintering. Dengan semakin tinggi suhu sintering berpengaruh pada tingkat keausan. Jika semakin tinggi suhu sinteringnya maka menyebabkan nilai keausan meningkat. Maka keausan semakin tinggi. Peningkatan suhu sintering juga berpengaruh pada kekerasan kampas.

2.1.3 Kampas Rem dari Polimer Matrik Komposit

Beberapa penelitian yang menunjukkan kampas rem dari material polimer matriks komposit memiliki sifat – sifat mekanik yang memenuhi standar sebagai kanvas rem dan memiliki beberapa keunggulan. Keunggulan tersebut antara lain, ramah lingkungan, mudah dipasang, tahan lama, memiliki tingkat keausan yang mudah dimodifikasi, ketahanan terhadap korosi dan pengaruh zat kimia serta memiliki tingkat kebisingan yang rendah (Muhammad Syahid, Hairul Arsvad & Pratama, 2011). Pada Gambar 2.2 adalah gambar kampas rem asbestos dan non asbestos, dimana yang berwarna biru adalah kampas rem asbestos dan yang berwarna coklat adalah kampas rem non asbestos.



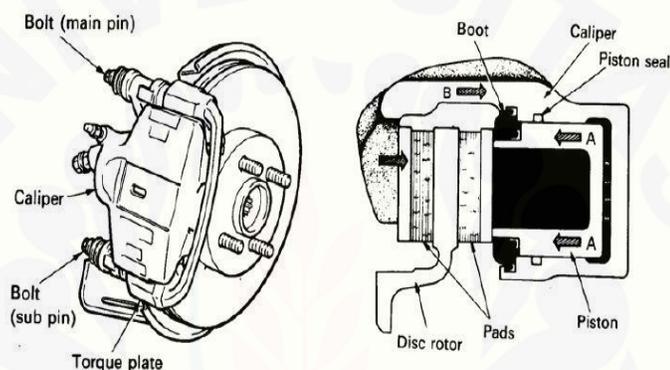
Gambar 2.2 Kampas Rem Asbestos dan Non Asbestos (Sumber: Zikri, 2014)

2.2 Rem Cakram

Rem cakram terdiri atas sebuah cakram dari baja yang di jepit oleh lapisan rem dari kedua sisinya pada waktu pengeraman. (Sukamto, 2012). Rem cakram mempunyai sebuah piringan (*disk*), untuk menjepit piringan ini diperlukan tenaga yang cukup kuat. Guna memenuhi kebutuhan ini, rem cakram dilengkapi dengan sistem *hidraulic*. (Sutranta dalam Sukamto, 2012).

2.2.1 Mekanisme Kerja Pengereman

Secara umum cara kerja rem adalah memanfaatkan gaya gesekan mekanik untuk memperlambat laju kendaraan dan akhirnya berhenti. Tekanan hidraulis dari master cylinder mendorong piston (A) dan selanjutnya menekan disc. Pada saat yang sama tekanan hidraulis menekan sisi pad (B) menyebabkan caliper bergerak ke kanan dan menjepit cakram dan terjadilah pengereman. Gambar mekanisme gaya pengereman dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gaya Pengereman (Sumber: Izuzu Training Center, 2014)

Waktu pengereman menentukan temperatur yang timbul pada kampas rem. (Susilo Adi Widyanto, 2008). Hal ini menyebabkan bahan asbes menjadi serbuk dan bercampur dengan udara yang dapat menyebabkan pencemaran udara yang berakibat pada penyakit kanker. Oleh karena itu dibutuhkan bahan pengganti untuk kampas rem yang ramah lingkungan.

2.2.2 Komponen Rem Cakram

Komponen rem cakram terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

1. *Disk* (piringan)

Disk (piringan) berbentuk bulat. Piringan rem berfungsi sebagai media yang akan bergesekan. Piringan rem berhubungan dengan roda sehingga saat roda berputar maka piringan rem juga ikut berputar. Piringan rem menjadi

komponen berputar yang akan bergesekan dengan kampas rem ketika terjadi pengereman. Piringan rem dibagi menjadi dua jenis menurut desainnya. Dua jenis piringan tersebut adalah :

A. *Solid disk*

Solid disk terbuat dari baja dengan ketebalan 2 cm. Piringan rem cakram ini sering di aplikasikan pada sistem rem cakram mobil. Berikut ini adalah gambar *solid disk* yang digunakan pada sistem rem cakram mobil yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



TIPE SOLID

Gambar 2.4 *Solid disk* (Sumber: Izuzu Training Center, 2014)

B. *Ventilated disk*

Ventilated disk memiliki ketebalan yang lebih kecil daripada *solid disk*, namun disekitar piringan terdapat banyak lubang yang berguna sebagai ventilasi. *Ventilated disk* di aplikasikan pada sistem rem cakram sepeda motor. Berikut ini adalah gambar *ventilated disk* yang digunakan pada

sistem rem cakram sepeda motor yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



TIPE VENTILASI

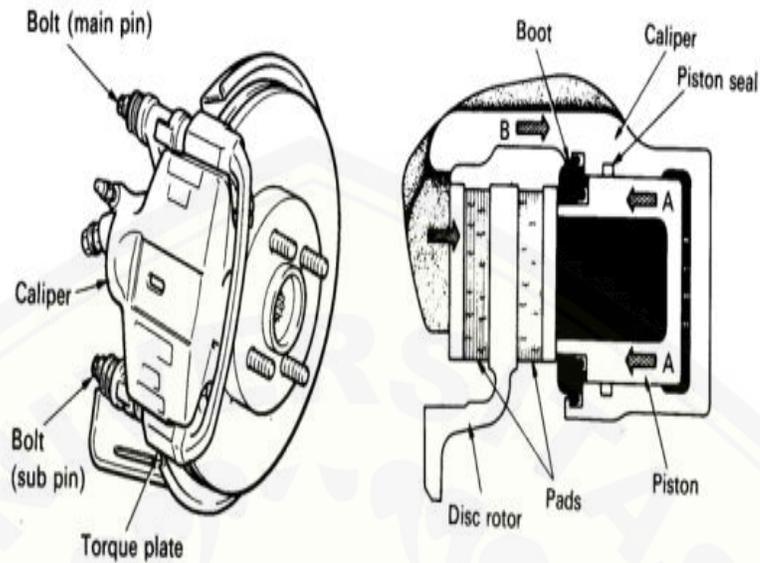
Gambar 2.5 *Ventilated disk* (Sumber: Izuzu Training Center, 2014)

2. *Brake caliper*

Brake caliper mempunyai fungsi yang hamper sama dengan mster silider pada rem tromol. *Brake caliper* mengubah tekanan hidrolik menjadi energy gerak berupa tekanan. *Brake caliper* terdiri dari dua jenis, yaitu :

A. *Floating caliper*

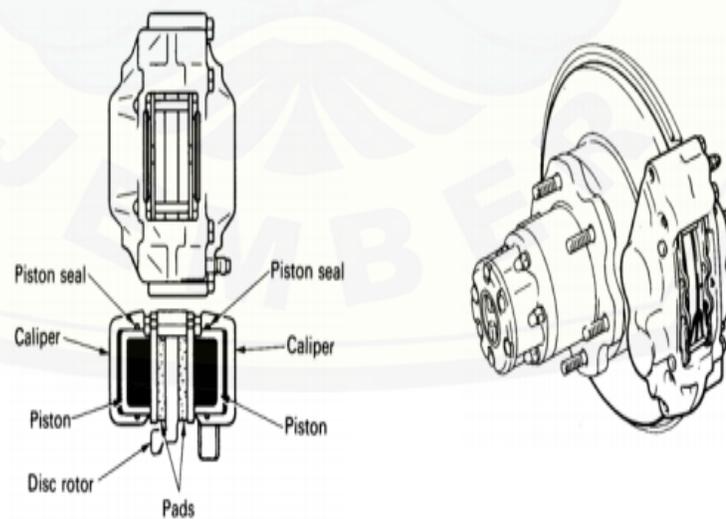
Floating caliper adalah kaliler yang melayang. Dikatakan kaliler yang melayang disebabkan kaliler ini dapat bergerak ke kanan dan kiri. kaliper yang bergerak ke kanan dan kiri disebabkan karena kaliper ini memiliki satu buah piston di salah satu sisi sehingga saat piston bergerak otomatis kaliper akan bergerak menyesuaikan. Pada Gambar 2.6, yaitu gambar *brake caliper* jenis *floating*.



Gambar 2.6 *Floating caliper* (Sumber: Izuzu Training Center, 2014)

B. *Fixed caliper*

Fixed caliper memiliki dua buah piston yang akan bergerak berlawanan saat mendapatkan tekanan hidrolis. Gerakan piston yang bergerak berlawanan berfungsi menjepit kampas rem diantara piston. Gambar 2.7 adalah gambar *brake caliper* jenis *fixed*.



Gambar 2.7 *Fixed caliper* (Sumber: Izuzu Training Center, 2014)

3. Piston

Piston berfungsi memberikan tekanan secara merata pada kampas rem. Untuk piston pada sistem rem sepeda motor memiliki ukuran yang lebih kecil dari piston pada sistem rem mobil. Pada Gambar 2.8 adalah gambar piston



Gambar 2.8 Piston (Sumber: cengage learning 2014)

4. Piston seal

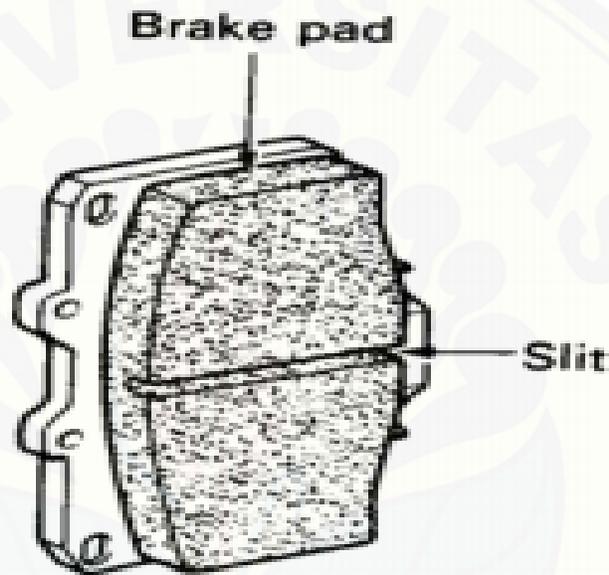
Piston seal adalah komponen yang berbahan karet yang memiliki kemampuan sealing untuk mencegah terjadinya kebocoran minyak rem *caliper*. Akan tetapi pada sistem cakram, seal berfungsi untuk mencegah debu masuk ke dalam sistem hidrolik rem saat bekerja.

5. Niple bleed

Fungsi *Niple bleed* pada sistem pengereman adalah untuk membuang kandungan udara didalam sistem hidrolik rem. Kandungan udara dibuang sebab akan dapat mempengaruhi tenaga pengereman. Dimana ketika pedal rem di tekan, maka tekanan itu akan terkompresi oleh udara didalam sistem hidrolik sehingga mengakibatkan rem bias blong.

6. *Brake pad*

Brake pad atau kampas rem adalah komponen yang diam didalam mekanisme sistem pengereman cakram. *Brake pad* atau kampas rem berfungsi sebagai media gesekan ketika terjadi pengereman. Kampas rem terdiri berbagai meterial yaitu bahan organik, metal dan keramik. Pada Gambar 2.10 adalah gambar *brake pad* yang digunakan didalam sistem pengereman cakram.



Gambar 2.9 *Brake pad* (Sumber: Izuzu Training Center, 2014)

7. *Caliper bracket*

Bracket berfungsi sebagai pemegang kaliper rem agar tidak bergerak. Pada mobil, kaliper akan dihubungkan ke *steering knuckle*. Akan tetapi pada sepeda motor *bracket* berfungsi sebagai pendukung agar kaliper mampu digunakan pada piringan yang memiliki diameter lebih besar.

2.3 Material Komposit

Menurut Matthews dkk. (1993), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik ini yang berbeda dari material pembentuknya. Adanya penggabungan dua atau lebih bahan yang berlainan, tujuannya adalah untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. Menurut Handoyo Kus, komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik -matrik) dan suatu jenis penguatan/resin (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus (Smallman & Bishop, 2000).

2.3.1 Material Penyusun Komposit

Material penyusun komposit terdiri dari dua jenis material yang berbeda, yaitu : penguat dan matriks. Penguat, diartikan sebagai komponen yang di masukkan kedalam matriks yang berfungsi sebagai penerima beban yang dialami oleh matriks. Sedangkan matriks, adalah bagian dari komposit yang mengelilingi partikel penyusun komposit, yang berfungsi sebagai bahan pengikat partikel dan ikut membentuk struktur fisik komposit (Arnold dkk, 1992).

Bentuk (dimensi) dan struktur penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit, begitu pula jika terjadi interaksi antara penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit (Pramono,2008). Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Dibanding dengan material konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya memiliki kekuatan yang dapat diatur, berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan tahan keausan (Bishop dan Smallman, 2000).

Material komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanik, fisik dan biaya. Dari Sifat Mekanik dan Fisik, Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Selain itu faktor biaya juga memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, proses pembuatan, upah tenaga kerja, dan sebagainya. Selain kelebihan yang dimiliki, komposit juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain : tidak tahan terhadap beban *shock* (kejut) dan *crash* (tabrak) jika dibandingkan logam, kurang elastis, dan lebih sulit dibentuk secara plastis.

2.3.2 Bahan - Bahan Pembentuk Komposit

Bahan pembuat komposit pada umumnya terdiri dari 10 macam bahan, 5 macam sebagai bahan utama dan 5 macam sebagai bahan *finishing*. Sebagai bahan utama yaitu *aerosil*, *pigment*, *resin*, katalis, dan *talk*. *Aerosil* adalah bahan yang berbentuk bubuk sangat halus. Berfungsi sebagai perekat mat agar komposit menjadi kuat dan tidak mudah patah atau pecah. *Pigment* adalah zat pewarna sebagai pencampur saat bahan komposit dicampur. Pemilihan warna disesuaikan dengan selera pembuatnya. Pada umumnya pemilihan warna untuk mempermudah proses akhir saat pengecatan. Resin yaitu bahan yang berwujud cairan kental seperti lem, berkelir hitam atau bening. Berfungsi untuk melarutkan sekaligus juga mengeringkan semua bahan yang akan dicampur. Katalis biasanya berwarna bening dan berfungsi sebagai pengencer. Perbandingan pencampuran adalah resin 1 liter dan katalisnya 1/40 liter. *Talk* berupa bubuk berwarna putih seperti sagu.

Berfungsi sebagai campuran adonan komposit agar keras dan agak lentur.

Bahan *finishing* antara lain : *aseton*, PVA, *mirror*, *cobalt*, dan dempul. *Aseton* pada umumnya cairan ini berwarna bening, fungsinya seperti katalis yaitu mencairkan resin. Zat ini digunakan apabila adonan terlalu kental yang akan mengakibatkan pembentukan komposit menjadi sulit dan lama keringnya. PVA (*Polivinyll Alcohol*), bahan ini berupa cairan kimia berwarna biru berfungsi untuk melapis antara cetakan dengan bahan komposit. Sehingga kedua bahan tersebut tidak saling menempel, sehingga komposit hasil cetakan dapat dilepas dengan mudah dari cetakannya. *Cobalt Compound* berwarna kebiru-biruan. Berfungsi sebagai bahan aktif pencampur katalis agar cepat kering, terutama apabila kualitas katalisnya kurang baik dan terlalu encer. Bahan ini dapat dikategorikan sebagai bahan penyempurna, sebab tidak semua bengkel menggunakannya. Hal ini tergantung pada kebutuhan pembuat dan kualitas resin yang digunakannya. Perbandingannya adalah 1 tetes *cobalt* dicampur dengan 3 liter katalis. Apabila perbandingan *cobalt* terlalu banyak, dapat menimbulkan api. Dempul Komposit digunakan setelah hasil cetakan terbentuk dan dilakukan pengamplasan, permukaan yang tidak rata dan berpori-pori perlu didempul. Tujuannya agar permukaan komposit menjadi lebih halus dan rata sehingga siap dilakukan pengerjaan lebih lanjut.

2.3.3 Klasifikasi Bahan Komposit

Komposit dibedakan menjadi 5 kelompok menurut bentuk struktur dari penyusunnya, yaitu (Schwartz, 1984) Komposit Serpih (*Flake Composites*) adalah komposit dengan penambahan material berupa serpih kedalam matriksnya. Komposit Partikel (*Particulate Composites*) adalah salah satu jenis komposit dimana dalam matriksnya ditambahkan material lain berupa serbuk/butir. *Filled (skeletal) Composites* adalah komposit dengan penambahan material ke dalam matriks dengan struktur tiga dimensi dan bisaanya *filler* juga dalam bentuk tiga dimensi. *Laminate Composites* adalah komposit dengan susunan dua atau lebih *layer*, dimana masing-masing layer dapat berbeda-beda dalam hal material, bentuk, dan orientasi

penguatannya. Komposit serat (*Fibre Composites*) Merupakan komposit yang hanya terdiri dari satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat. Serat yang digunakan dapat berupa serat gelas, serat karbon, dan lain sebagainya. Serat ini disusun secara acak maupun secara orientasi tertentu bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

Komposit serat dapat dibagi berdasarkan penempatannya, yaitu : [Gibson,1994] *Continous Fibre Composite* dimana tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya, tetapi tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan. *Woven Fibre Composites (bi-directional)*, komposit ini tidak mudah dipengaruhi pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya mengikat antar lapisan. *Hybrid fibre composites* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak dan tipe ini digunakan supaya dapat mengganti kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya. *Discontinous Fibre Composites* adalah tipe komposit dengan serat pendek. Tipe ini dibedakan lagi menjadi 3, yaitu : *Aligned discontinuous fibre, Off-axis aligned discontinuous fibre, Randomly oriented discontinuous fibre.*

2.3.4 Jenis Komposit Ditinjau Dari Penguat

Jenis material komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3 (Schwanrtz Mel, 1996) yaitu: Komposit Serat yaitu jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat/*fiber*. Komposit laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

2.3.5 Jenis Komposit Ditinjau Dari Matrik

Material komposit dapat ditinjau dari matriknya (Schwanrtz Mel, 1996) yaitu : Komposit matrik logam merupakan gabungan dari dua jenis material, dimana salah satunya adalah logam sebagai material induk (matrik) dan material kedua sebagai pengikat. Biasanya matrik dari logam paduan yang diperkuat dengan serat kontinu, *whisker* (serat-seratnya pendek yang berbentuk kristal tunggal), atau pertikel, keramik oksida, karbida dan nitrida karena komposit ini menggunakan metal sebagai matrik, maka komposit jenis ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap temperatur, tetapi memiliki berat yang tinggi. Komposit matrik keramik merupakan gabungan material dua fasa dengan satu fasa dimana material dua fasa berfungsi sebagai penguat dan material satu fasa bertindak sebagai matrik. Pada umumnya serat penguatnya dapat berupa serat kontinyu, diskontinyu, ataupun berbentuk partikel yang tersusun dari bahan keramik ataupun grafit. Komposit ini memiliki ketahanan temperatur 16 - 45 °C. Komposit matriks polimer merupakan komposit yang paling banyak digunakan sebagai pengganti logam, terdiri dari polimer (*epoxy, polyester, urethane*) kemudian diperkuat dengan fiber yang berdiameter kecil (*grafit, aramids, boron* serta serat alam).

Material komposit dengan matriks polimer memiliki rasio berat berbanding kekuatan yang tinggi. Sebagai contoh, komposit epoksi dengan fiber grafit memiliki kekuatan lima kali lebih besar dibandingkan baja dengan berat yang sama serta biaya rendah proses yang tidak rumit dan material yang memiliki ketahanan temperatur yang tinggi disebut dengan resin termoset (Junus, 2011). Metode pencampuran yang digunakan pada resin termoset relatif lebih sederhana, resin seperti *Polyester* cukup didiamkan pada temperatur ruang material akan mengeras. Tipe Resin termoset yang sering digunakan dalam industri material komposit adalah Epoksi, *Vinil Ester* dan *Polyester* (Bramantyo dalam Sentosa, 2015).

2.3.6 Faktor Yang Mempengaruhi Sifat – Sifat Mekanik Komposit

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi performa komposit, baik dari faktor serat penyusunnya, maupun faktor matriksnya, yaitu : faktor serat, faktor matriks dan katalis. Dari faktor serat dapat dibagi menjadi letak serat, panjang serat dan bentuk serat. Menurut letak seratnya dibagi menjadi 3, yaitu : *One dimensional reinforcement*, mempunyai kekuatan pada arah axis serat. *Two dimensional reinforcement (planar)*, mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat. Dan *three dimensional reinforcement*, mempunyai sifat *isotropic*, kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Dari faktor matriks, Matriks sangat berpengaruh dalam mempengaruhi performa komposit. Tergantung dari matriks jenis apa yang dipakainya, dan untuk tujuan apa dalam pemakaian matriks tersebut. Selain dari pada itu katalis juga berpengaruh, dimana katalis digunakan untuk membantu proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit. Penggunaan katalis yang berlebihan akan semakin mempercepat proses laju pengeringan, tetapi akan menyebabkan bahan komposit yang dihasilkan semakin getas.

2.4 Serbuk Tempurung Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah anggota tunggal dalam marga *Cocos* dari suku aren-arenan atau Arecaceae. Kelapa juga adalah sebutan untuk buah yang dihasilkan tumbuhan ini. Berat tempurung kelapa sekitar 15-19% dari keseluruhan berat kelapa (Putra dan Karolina). Tumbuhan ini diperkirakan berasal dari pesisir Samudera Hindia di sisi Asia, namun kini telah menyebar luas di seluruh pantai tropika dunia. Pada Gambar 2.11 adalah gambar tempurung kelapa yang sudah dipecah-pecahkan.



Gambar 2.10 Tempurung Kelapa (Sumber: Animhosnan, 2014)

Kelapa adalah pohon serba guna bagi masyarakat tropika. Tumbuhan ini dimanfaatkan hampir semua bagiannya oleh manusia sehingga dianggap sebagai tumbuhan serbaguna, terutama bagi masyarakat pesisir. Hampir semua bagiannya dapat dimanfaatkan orang. Komponen dan kandungan dari kelapa yang dimiliki tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komponen dan kandungan tempurung kelapa

Bahan	Komponen	Kandungan (%)
Tempurung Kelapa	Moisture	10,46
	Volatile	67,67
	Karbon	18,29
	Abu	3,58

(Sumber: Cahyadi Hendra, 2015)

Kelapa merupakan komoditas yang berkembang di Kabupaten Jember. Berdasarkan data BKPM (Indonesia Investment Coordinating Board) yang dilakukan pada seluruh wilayah Kabupaten Jember, pada tahun 2013 terdapat sekitar 12.745 ton kelapa serta hampir merata tersebar disemua kecamatan, (Regional Investment). Menurut simpulan Morshed dan Haseeb (2004) bahwa potensi lain pemanfaatan tempurung kelapa adalah sebagai alternative serat penguat bahan gesek *non-asbes*

karena tempurung kelapa tersebut memiliki karakter fisik dan mekanik yang baik yaitu kekerasan dan kerapatannya tinggi, serta serapan airnya rendah (Sutikno, 2009).

Selain itu limbah dari tempurung kelapa banyak sekali dijumpai dan masih sedikit dalam pengolahan untuk dimanfaatkan lebih luas lagi. Sehingga uraian di atas menunjukkan bahwa ketersediaan limbah tempurung kelapa dalam jumlah banyak perlu dikembangkan penggunaannya menjadi produk rekayasa yang lebih bermanfaat, seperti sebagai bahan komposit untuk kampas rem kendaraan. Sebelum digunakan sebagai kampas rem, berbagai kajian sifat fisis-mekanis komposit berbahan dasar serbuk tempurung kelapa bermatrik *epoxy* perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan kampas dan keausan. Nilai dari sifat mekanik tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai sifat mekanik tempurung kelapa

Sifat	Nilai
Kekerasan	50 - 80 kgf.mm ⁻²
Keausan	5x10 ⁻⁴ - 5x10 ⁻³ mm ² /kg

(Sumber: Desi Kiswiranti, 2007)

2.5 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh sir Humphrey davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C. Oersted pada tahun 1825 merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya sebagai logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya secara satu persatu atau bersama-sama. Penambahan unsur tersebut juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus dan koefisien pemuaian rendah. Aluminium merupakan logam ringan yang banyak terdapat di alam dan menduduki nomor dua tingkat produksinya setelah besi atau baja. Selain itu Logam aluminium memiliki bobot yang ringan, tahan terhadap korosi,

dan mudah dibentuk (Zhongliang Shi, 2001). Sifat fisik dan berat jenis dari aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Sifat fisik dan berat jenis Aluminium

Keterangan	Nilai
Densitas	2,685 Kg/m ³
Titik Didih	4220,6°F (2327°C)
Titik Lebur	1220°F (660°C)
Berat Jenis	2,7 gr/cm ³

(Sumber: *ASM Specialty Hand Book*, 1990).

Aluminium memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dari baja. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium, lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam, oleh karena itu aluminium banyak digunakan pada konstruksi yang memiliki sifat ringan, seperti alat transportasi dan pesawat terbang (Pranata, 2009). Serbuk Aluminium yang biasanya dihasilkan dari proses atomisasi memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai berat jenis untuk serbuk Aluminium hasil proses atomisasi

Sifat	Nilai
<i>Apparent Density</i>	0,8 - 1,3 g/cm ³
<i>Tap Density</i>	1,2 - 1,5 g/cm ³
Kandungan Oksigen	0,1 - 1,0 Wt%

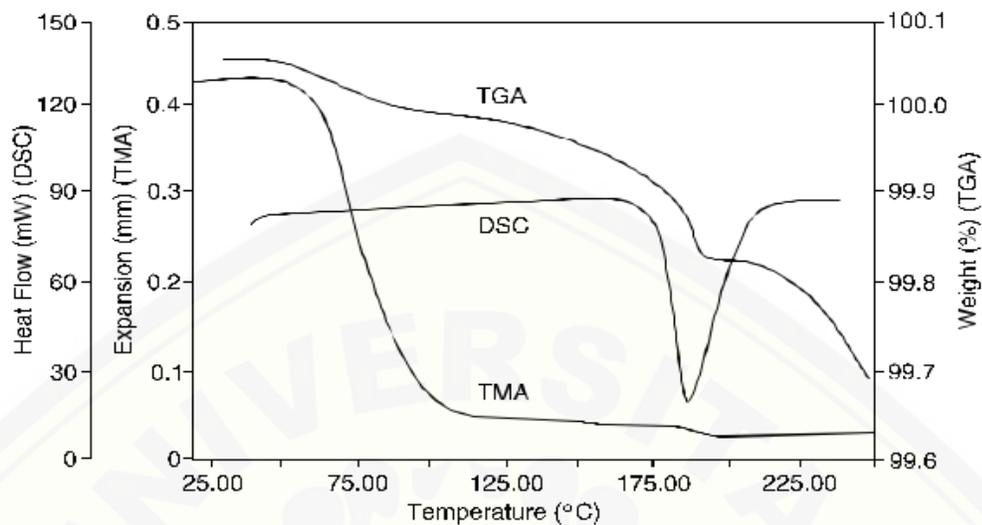
(Sumber: *ASM Handbook Volume 7*, 1990)

Berbeda dengan kekuatan baja yang rapuh pada suhu rendah, aluminium memiliki kekuatan yang tinggi pada suhu rendah. Aluminium memiliki sifat konduktivitas panas yang baik namun memiliki kekuatan mekanik yang rendah sehingga dibutuhkan material lain untuk menutupi kekurangan tersebut.

2.6 Resin Epoksi

Resin epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok thermoset, yang dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali ke keadaan sebelum mengalami pengeringan. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan untuk pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan hasil yang optimum. Resin epoksi dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan, perekat, automotif, aerospace, perkapalan, dan peralatan elektronik yang secara umum memiliki sifat yang baik dalam hal reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi, kekuatan tarik dan kekuatan bending sangat baik (Fred, 1994).

Resin epoksi mempunyai sifat-sifat: berstruktur amorf, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali. Resin epoksi memiliki sifat mekanik, listrik, kestabilan dimensi dan penahan panas yang baik, memiliki harga kekerasan $8,65 \text{ kg/mm}^2$ dan massa jenis $1,20 \text{ gr/cm}^3$ (Akinyede dkk, 2007). Resin epoksi mengandung struktur *oxirene*. Resin ini berbentuk cairan kental atau hampir padat, yang digunakan untuk material ketika hendak dikeraskan. Resin epoksi termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, kekuatan perekat epoksi terdegradasi pada suhu 350° F (177° C). Pada Gambar 2.12 dapat dilihat pada grafik TGA (Thermogravimetric Analysis) epoksi mulai terdegradasi pada suhu $\pm 200^\circ \text{ C}$ dan pada grafik TMA (Thermomechanical Analysis) suhu $\pm 125^\circ \text{ C}$ - $\pm 175^\circ \text{ C}$, epoksi tidak mengalami perubahan *ekspansi*/perubahan secara *signifikan* sehingga pada suhu tersebut epoksi sangat baik digunakan.



Gambar 2.11 TGA, DSC, dan TMA Epoxy (Sumber: Perkin Elmer, 2001)

Keunggulan yang dimiliki resin epoksi ini adalah ketahanannya terhadap panas dan kelembaban, sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan-bahan kimia, sifat insulator, sifat perekatnya yang baik terhadap berbagai bahan, dan resin ini mudah dalam modifikasi dan pembuatannya (Gamert dkk, 2004). Namun demikian epoksi juga mempunyai kelemahan pada sifat sensitif menyerap air dan getas. Resin epoksi termasuk ke dalam golongan *thermosetting*, sehingga dalam pencetakan perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu : mempunyai penyusutan yang kecil pada pengawetan, dapat diukur dalam temperatur kamar dalam waktu yang optimal, memiliki viskositas yang rendah disesuaikan dengan material penyangga, memiliki kelengketan yang baik dengan material penyangga. Resin jenis *epoxy* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan yang dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kelebihan dan kekurangan resin *Epoxy*

Kelebihan	Kekurangan
Ringan, sehingga dapat menurunkan biaya instalasi	Mudah mengalami proses penuaan (<i>aging</i>) dan degradasi pada permukaan akibat adanya <i>stress</i> listrik dan termal.
Tahan polusi	Proses pembuatan lebih mahal dibandingkan dengan isolator keramik dan gelas
Bersifat hidrofobik	Bersifat getas

(Sumber: Yandri, 2010)

2.7 Metalurgi Serbuk

Jones (1960) menyatakan bahwa metalurgi serbuk merupakan proses pembuatan benda komersial dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip dalam pembentukan serbuk adalah memadatkan serbuk logam menjadi serbuk yang diinginkan kemudian memanaskannya di bawah temperatur lelehnya. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transformasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Pemanasan dalam pembuatan serbuk dikenal dengan *sinter* yang menghasilkan ikatan partikel yang halus, sehingga kekuatan dan sifat fisisnya meningkat. Produk hasil dari metalurgi serbuk terdiri dari campuran serbuk berbagai macam logam atau non logam. Teknik pemrosesan dengan metalurgi serbuk memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan pada produk yang ingin dihasilkan, antara lain sebagai berikut (Ekawati, 2008).

Beberapa kelebihan metalurgi serbuk, yaitu: *part* (bagian-bagian) yang memiliki titik lebur tinggi dan permesinan yang sulit, kemampuan untuk membuat komponen dengan tingkat kerumitan yang tinggi dan toleransi dimensi yang baik dengan kualitas tinggi, material dengan struktur butir yang halus, *alloy* dan komposit yang mempersyaratkan susunan partikel-partikel berukuran kecil, penggunaan bahan baku yang efisien, mengurangi biaya permesinan, dapat mengontrol besarnya densitas dan porositas sesuai dengan yang diinginkan, dan

dapat meminimalkan terjadinya reaksi-reaksi antarmuka yang tidak diinginkan karena preparasi sampel dilakukan pada kondisi temperatur rendah.

Beberapa kekurangan metalurgi serbuk, yaitu: sulit untuk menghasilkan produk secara massal, sulit untuk mendapatkan distribusi partikel yang merata pada produk, membutuhkan proses dengan tingkat sangat tinggi, terbentuknya inklusi didalam produk yang dapat memberikan efek beracun, dan disain komponen harus dibuat sedemikian serupa sehingga dapat dengan mudah dikeluarkan dari cetakannya. Beberapa tahapan dalam proses metalurgi serbuk yaitu: Karakterisasi serbuk, *mixing* atau *blending* (pencampuran serbuk), pemberian beban, *sintering* (pemanasan).

2.7.1 *Sintering*

Sintering adalah Pemanasan pada temperatur di bawah titik leleh material komposit. Selama *sintering* terdapat dua fenomena utama yaitu pertama adalah penyusutan (*shrinkage*) yaitu proses eliminasi porositas dan yang kedua adalah pertumbuhan butiran. Fenomena yang pertama dominan selama pemadatan belum mencapai kejenuhan, sedang kedua akan dominan setelah pemadatan mencapai kejenuhan. Parameter *sintering* diantaranya adalah temperatur, waktu penahanan, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan dan atmosfer.

Dari segi cairan, *sintering* dapat menjadi dua yaitu *sintering* fasa padat dan *sintering* fasa cair. *Sintering* dengan fasa padat adalah *sintering* yang dilaksanakan pada suatu temperatur yang telah ditentukan, dimana dalam bahan semuanya tetap dalam fasa padat. Meningkatnya ikatan setelah proses *sintering* disebabkan timbulnya *liquid bridge (necking)* sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih kompak. Dalam hal ini ukuran serbuk juga berpengaruh terhadap kompaktibilitas bahan, semakin kecil ukuran serbuk maka porositas kecil dan luas kontak permukaan antar butir semakin luas.

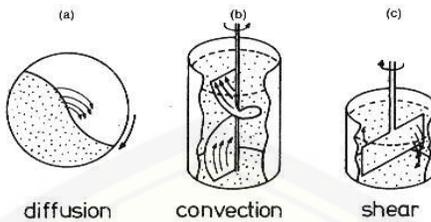
2.7.2 Karakterisasi Serbuk

Karakteristik serbuk dapat mempengaruhi sifat dan tingkah laku serbuk logam yang dihasilkan selama pemrosesan. Karakteristik dasar serbuk tersebut meliputi ukuran serbuk, distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir (*flowability*), dan mampu tekan (*compressibility*). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses metalurgi serbuk sebagai berikut: ukuran dan distribusi partikel serbuk, bentuk partikel serbuk, mampu alir serbuk (*flowability*), mampu tekan serbuk (*compressibility*), dan berat jenis serbuk.

2.7.3 Pencampuran Serbuk

Pencampuran dan pengadukan partikel serbuk didefinisikan sebagai proses bercampurnya serbuk secara sempurna dengan masing-masing besaran komposisi guna menghasilkan serbuk yang homogen. Ada 2 macam pencampuran, yaitu: pencampuran basah adalah proses pencampuran dimana serbuk matrik dan filler dicampur terlebih dahulu dengan pelarut polar dengan tujuan pemberian pelarut polar yaitu untuk mempermudah proses pencampuran material yang digunakan dan untuk melapisi permukaan material supaya tidak berhubungan dengan udara luar, dan pencampuran kering yaitu proses pencampuran yang dilakukan tanpa menggunakan pelarut untuk membantu melarutkan dan dilakukan di udara luar. Semakin besar kecepatan pencampuran, semakin lama waktu pencampuran, dan semakin kecil ukuran partikel yang dicampur, maka distribusi partikel semakin homogen.

Mekanisme yang terjadi selama proses pencampuran serbuk tergantung dari metode pencampuran (*mixing*) yang digunakan, yaitu : difusi dimana terjadinya pencampuran karena gerak antar partikel serbuk yang dihasilkan oleh perputaran drum, konveksi yang terjadi dengan adanya pencampuran karena ulir didalam kontainer berputar pada porosnya, geser yaitu pencampuran karena menggunakan suatu media pengaduk. Pada Gambar 2.13, dapat dilihat gambar mekanisme dalam pencampuran dan pengadukan serbuk.

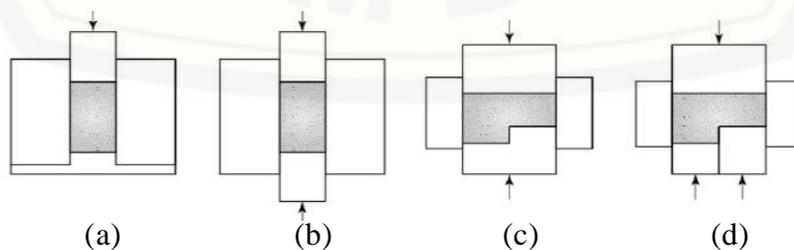


Gambar 2.13 Mekanisme pencampuran dan pengadukan serbuk (Sumber: German, 1984)

2.7.4 Proses Penekanan

Kompaksi merupakan proses pemadatan serbuk menjadi sampel dengan bentuk tertentu sesuai dengan cetaknya. Ada 2 macam metode kompaksi, yaitu: Penekanan dingin, yaitu penekanan dengan temperatur kamar. Metode ini dipakai apabila bahan yang digunakan mudah teroksidasi, seperti Al, dan Penekanan panas, yaitu penekanan dengan temperatur di atas temperatur kamar. Metode ini dipakai apabila material yang digunakan tidak mudah teroksidasi.

Pada proses kompaksi, gaya gesek yang terjadi antar partikel komposit dengan dinding cetakan akan mengakibatkan kerapatan pada daerah tepi dan bagian tengah tidak merata. Untuk menghindari terjadinya perbedaan kerapatan, maka pada saat kompaksi digunakan pelumas yang bertujuan untuk mengurangi gesekan antara partikel dengan dinding cetakan. Pada Gambar 2.13 terlihat berbagai jenis kompaksi yaitu (a) penekan tunggal, (b) penekan ganda dan (c) penekan beda ukuran dan (d) penekan banyak. Penekan bawah sekaligus berfungsi sebagai injektor untuk mengeluarkan benda yang telah dicetak.



Gambar 2.13 Jenis-Jenis Kompaksi (Sumber: Smallman ,dkk , 2000)

Dalam penggunaan bahan pelumas, dipilih bahan pelumas yang tidak reaktif terhadap campuran serbuk. Terkait dengan pemberian lubricant pada proses kompaksi, maka terdapat 2 metode kompaksi, yaitu: die-wall compressing → penekanan dengan memberikan pelumas pada dinding cetakan, dan internal lubricant compressing → penekanan dengan mencampurkan pelumas pada material yang akan ditekan.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dan merupakan penelitian deskriptif yaitu memaparkan secara jelas hasil eksperimen di laboratorium terhadap sejumlah benda uji. Desain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Penelitian ini diadakan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran serbuk tempurung kelapa berpenguat aluminium bermatriks epoksi pada kampas rem serta mengetahui nilai kekerasan dan nilai laju keausannya.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium desain dan las Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Agustus 2015 sampai dengan bulan April 2017.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan Alat dalam penelitian merupakan komponen yang menunjang didalam melakukan penelitian sehingga peneliti dapat mendapatkan hasil yang baik dalam penelitian tersebut. Alat dan bahan yang akan digunakan akan dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa untuk kampas rem, yaitu :

1. Serbuk Tempurung Kelapa
2. Serbuk Aluminium
3. Resin *epoxy*
4. *Hardener*

3.2.2 Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa untuk kampas rem, yaitu :

1. Mesin Flat And Disk
2. *Portable Hardness Tester TH120*
3. Furnace
4. Timbangan Digital
5. Ayakan ukuran 600 μm , 425 μm , dan 300 μm
6. Kamera HP Oppo Joy 3.0 MP
7. Kamera Canon 1200
8. Spidol/ Pen
9. Cetakan spesimen dengan diameter 25 mm dan tinggi 80 mm
10. Kertas Gosok/Amplas
11. Sendok
12. Masker
13. Penggaris
14. Buku Tulis
15. Optikal mikroskop merk Olympus merk BX41M

3.3 Variabel Pengukuran

Segala sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal yang diteliti. Didalam penelitian ini variabel pada pengukuran dibagi menjadi dua. Variabel yang akan digunakan akan dijelaskan sebagai berikut.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel Bebas yaitu variabel yang diduga sebagai penyebab timbulnya variabel lain dan biasanya variabel ini dimanipulasi, diamati dan diukur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel

bebas adalah Ukuran serbuk tempurung kelapa dengan mesh 30 atau 600 μm , 40 atau 425 μm dan 50 atau 300 μm .

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel prediktor, peneliti tidak dapat mengendalikan besar kecilnya variabel terikat. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah nilai laju keausan bahan dan nilai kekerasan bahan.

3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah:

1. Spesimen dikompaksi 10 kg selama 15 menit
2. Spesimen di panaskan dengan suhu 150° C selama 30 menit
3. Kecepatan *sliding* pada saat pengujian laju keausan sebesar 500 RPM dan pembebanan sebesar 1,5 kg

3.4 Prosedur Penelitian

Serangkaian kegiatan yang dilaksanakan oleh seorang peneliti secara teratur dan sistematis untuk mencapai tujuan-tujuan penelitian. Prosedur dalam penelitian komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa untuk kampas rem dibagi menjadi beberapa. Prosedur dalam penelitian yang akan digunakan akan dijelaskan sebagai berikut.

3.4.1 Langkah-Langkah Pembuatan Spesimen

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pembuatan komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa untuk kampas rem, yaitu :

1. Mempersiapkan cetakan, serta alat pendukung untuk membuat spesimen.
2. Serbuk tempurung kelapa di ayak menggunakan ayakan ukuran 600 μm , 425 μm , dan 300 μm .

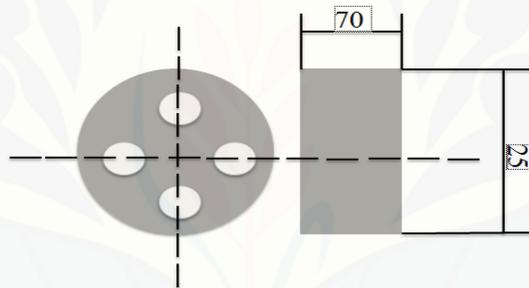
3. Mengukur dan menimbang resin *epoxy* dengan prosentase 39% dan menambahkan pengeras (*Hardener*) sebanyak 1 %, menimbang serbuk tempurung kelapa dengan prosentase 20 %, dan aluminium 40 %. Mengaduk secara perlahan dengan hitungan pengadukan 100 kali saat pencampuran resin dan katalis, lalu di aduk 60 kali saat pencampuran resin-katalis dengan serbuk tempurung kelapa dan aluminium. Campuran resin, serbuk tempurung kelapa dan aluminium selanjutnya disebut sebagai larutan campuran matriks.
4. Melapisi cetakan dengan margarin secukupnya pada pinggiran cetakan. Lalu menuangkan matrik kedalam cetakan.
5. Setelah spesimen didalam cetakan dianggap rata, spesimen dikompaksi dengan tekanan 10 kg selama 15 menit
6. Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan disintering dengan suhu 150 °C selama 30 menit per spesimen

3.4.2 Langkah-Langkah Pengujian Spesimen

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa untuk kampas rem, yaitu :

1. Penelitian dilakukan dengan mengamati foto spesimen dengan komposisi 39% dan menambahkan pengeras (*Hardener*) sebanyak 1 %, menimbang serbuk tempurung kelapa dengan prosentase 20 %, dan aluminium 40 %. Dimana terjadi variasi pada ukuran serbuk tempurung kelapa yaitu 600 μm , 425 μm , dan 300 μm .
2. Pengujian mikro menggunakan optikal mikroskop merk Olympus BX41M. Langkah-langkah pada pengujian mikro adalah sebagai berikut :
 - a. Menyiapkan spesimen yang akan diuji mikro
 - b. Spesimen yang akan diuji, terlebih dahulu di mounting dengan menggunakan resin.
 - c. Setelah spesimen yang dimounting mengeras, lalu diampelas dengan menggunakan kertas gosok dengan grit 600,1000,1500 dan 2000.

- d. Dilakukan pengujian mikro pada spesimen.
3. Pengujian kekerasan menggunakan *Portable Hardness Tester TH120*.
 Spesimen untuk uji kekerasan ini harus mempunyai permukaan yang rata dan halus agar pada pengujian bisa dengan mudah untuk diidentifikasi. Berikut ini adalah langkah – langkah dalam melakukan pengujian kekerasan dengan acuan ASTM E 10 – 01:
- Persiapan spesimen uji kekerasan
 - Spesimen di amplas dengan menggunakan kertas gosok dengan grit 80-2000 hingga rata halus.
 - Penentuan titik indentasi seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Penentuan titik indentasi

Setelah melakukan pengujian kekerasan, selanjutnya pengolahan data dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.1)$$

Dimana :

- BHN = Brinell Hardness Number
 P = Beban yang diberikan (kgf)
 D = Diameter indentor (mm)
 d = Diameter lekukan rata-rata hasil indentasi

4. Pengujian keausan menggunakan Mesin *Flat And Disk*. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk melakukan pengujian laju keausan menggunakan acuan ASTM G 99-04 :
- Menyiapkan spesimen sesuai dengan dimensi pin dengan ukuran diameter 25 mm dan tinggi 25 mm
 - Menimbang massa awal dari pin
 - Tempatkan spesimen pada kampas rem dan lem menggunakan lem besi
 - Jalankan mesin *flat and disk*
 - Taruh beban 1.5 kg pada handle rem
 - Tunggu selama 120 detik.
 - Timbang kembali massa spesimen kemudian catat pada lembar data

Setelah melakukan pengujian, selanjutnya pengolahan data dari pengujian laju keausan. Nilai laju keausan diperoleh dengan menggunakan rumus seperti persamaan 3.1 dibawah ini (Sukamto, 2012) :

$$W = \frac{w_0 - w_1}{A \cdot t}$$

Keterangan:

- W = Laju Keausan (gram/s.mm²)
- w_0 = Berat awal spesimen sebelum penghausan (gram) (3.2)
- w_1 = Berat akhir spesimen setelah penghausan (gram)
- A = Luas bidang kontak penghausan (mm²)
- t = Waktu/lama penghausan (detik)

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian adalah diagram yang menjelaskan semua prosedur dari penelitian yang bertujuan agar penelitian dapat berjalan lancar. Beberapa tahapan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Mulai

Pada tahap mulai yang dilakukan adalah menentukan permasalahan yang akan dijadikan sebagai objek penelitian. Selanjutnya yaitu menentukan objek penelitian yang akan dilaksanakan.

b. Komposit epoksi/ aluminium/ serbuk tempurung kelapa

Menyiapkan materi serta bahan-bahan yang akan dilakukan dalam pembuatan komposit. Hal ini bertujuan agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan lancar.

c. Komposisi

Pada tahap ini yang dilakukan adalah menentukan komposisi yang digunakan dalam penelitian. Dimana komposisi yang akan digunakan tersebut merupakan komposisi terbaik dari penelitian terdahulu.

d. Kompaksi dan Sintering

Tahap kompaksi dan sintering ini dilakukan dengan mengkompaksi kanvas rem komposit dengan tekanan 10 kg, selama 15 menit. Selanjutnya kanvas rem komposit tersebut di sintering dengan suhu 150° C, selama 30 menit.

e. Pengujian

Pada tahap pengujian, dilakukan tiga pengujian yaitu pengujian laju keausan, pengujian morfologi dan pengujian kekerasan. Pada pengujian laju keausan dilakukan menggunakan mesin pin on disk, pengujian morfologi pada komposit kanvas rem menggunakan alat uji mikro dan kamera, dan pada pengujian kekerasan menggunakan alat *portable hardness taster*.

f. Analisis Data dan Pembahasan

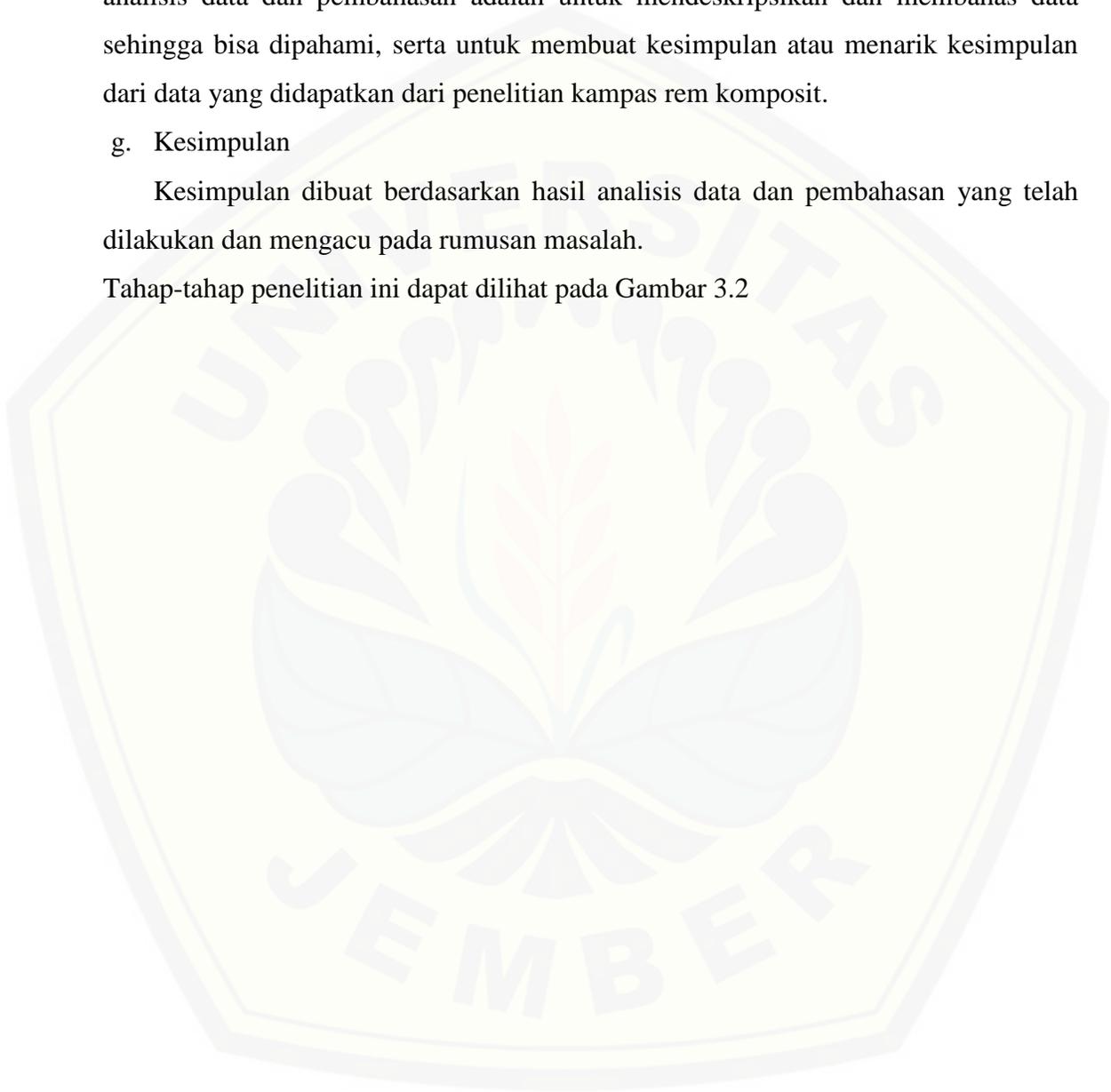
Analisis data dan pembahasan adalah cara untuk mengolah data menjadi informasi sehingga karakteristik data tersebut bisa dipahami dan bermanfaat untuk solusi

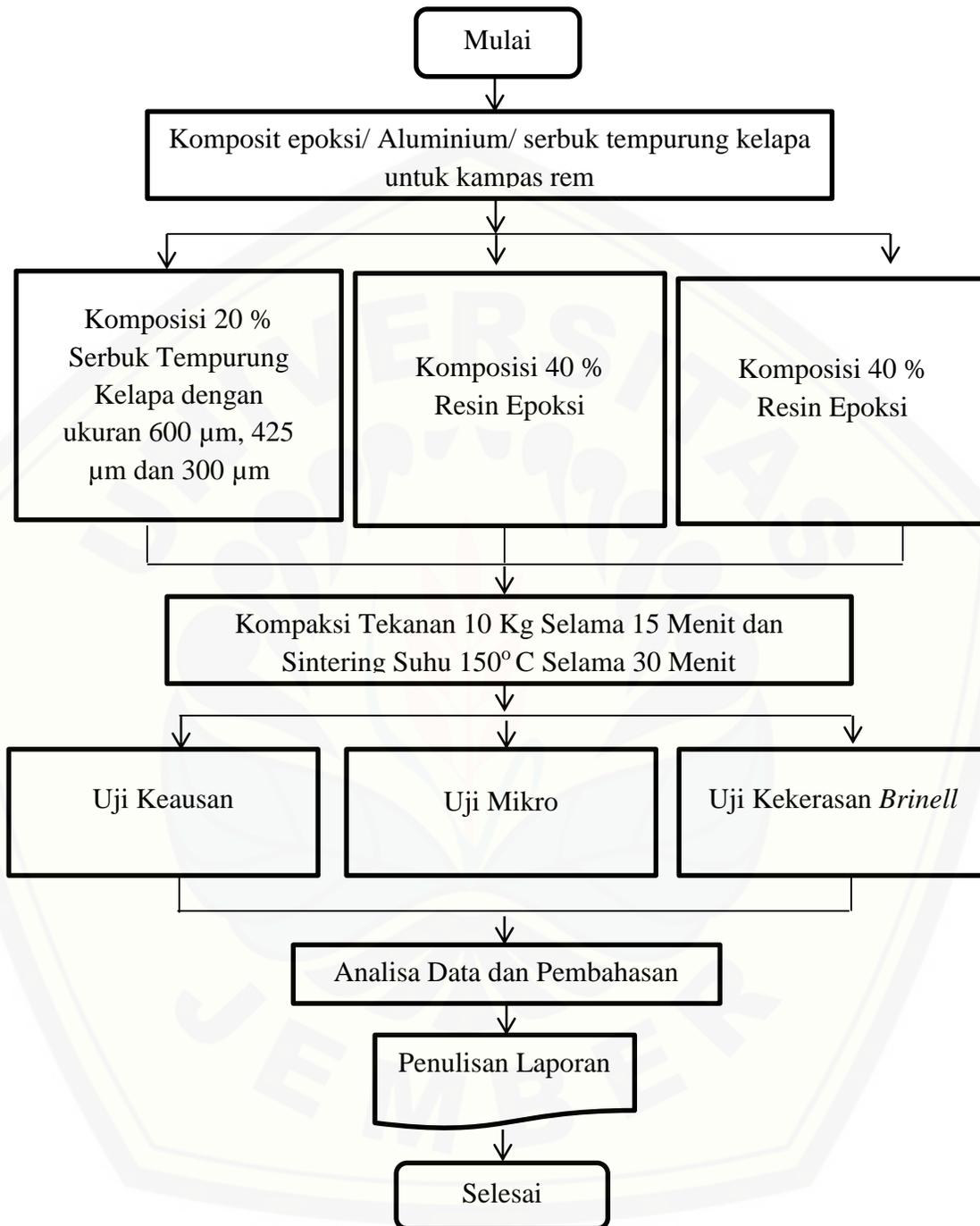
permasalahan, terutama untuk masalah yang berkaitan dengan penelitian. Data dari hasil penelitian nantinya dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Tujuan dari analisis data dan pembahasan adalah untuk mendeskripsikan dan membahas data sehingga bisa dipahami, serta untuk membuat kesimpulan atau menarik kesimpulan dari data yang didapatkan dari penelitian kampas rem komposit.

g. Kesimpulan

Kesimpulan dibuat berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan dan mengacu pada rumusan masalah.

Tahap-tahap penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2





Gambar 3.2. Skema Prosedur Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan terbesar yaitu pada ukuran serbuk tempurung kelapa ukuran 300 μm sebesar 63.67 BHN, dan nilai kekerasan terkecil yaitu serbuk tempurung kelapa dengan ukuran 600 μm sebesar 41.67 BHN.
2. Nilai laju keausan terbesar yaitu pada serbuk tempurung kelapa dengan ukuran 600 μm sebesar $8,70 \times 10^{-6}$ gram/s.mm², dan nilai laju keausan terkecil yaitu serbuk tempurung kelapa ukuran 300 μm sebesar $1,17 \times 10^{-6}$ gram/s.mm².
3. Dari pengamatan struktur mikro menunjukkan persebaran serbuk tempurung kelapa yang merata adalah komposit dengan serbuk tempurung kelapa dengan ukuran 300 μm .

5.2 Saran

1. Penelitian ini hanya terbatas pada pengujian kekerasan dan laju keausan, oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan pada pengujian tarik dan perhitungan aktual dan teoritis tentang energi serap pada pengereman.
2. Penelitian ini hanya menggunakan tiga variasi ukuran serbuk tempurung kelapa, perlu adanya penambahan variasi ukuran serbuk pada penelitian selanjutnya.
3. Penelitian selanjutnya dapat meneliti pengaruh dari suhu sintering dan kompaksi ketika pembuatan kanvas rem komposit *epoxy* aluminium-serbuk tempurung kelapa.
4. Untuk penelitian selanjutnya diusahakan agar dilakukan pada ruang tertutup rapat pada saat pembuatan bahan komposit, serbuk aluminium tidak berterbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Dendy. 2008. *Analisis Pengaruh Ukuran Serbuk Kayu Pada Kampas Rem*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- ASM Handbook Volume 7. 1990. *Powder Metallurgy Technologies and Applications*. USA: ASM International.
- Mahmudi, Arif M. 2013. *Penelitian Pembuatan Rem Komposit Kereta Api Menggunakan Serbuk Pasir Besi Ferro Dan Serat Kulit Kelapa*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Prasetyo, Dian. 2013. *Pemanfaatan Serat Ijuk Sebagai Bahan Gesek Alternative Kampas Rem Sepeda Motor*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Priyambodo, Bambang Hari, dan Palmiyanto, Martinus Heru. 2014. *Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Komposit Limbah Kulit Mete/Phenolic Dengan Penguat Skrap Aluminium Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sebagai Bahan Alternative Kampas Rem Non Asbestos*. Surakarta: Akademi Teknologi Warga Surakarta.
- Puja, I Gusti Ketut. 2010. *Studi Sifat Impak Ketahanan Aus dan Koefisien Gesek Bahan Komposit Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu Glugu Dengan Matrik Epoxy*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Purboputro, Pramuko Ilmu. 2014. *Pengembangan Ketahanan Keausan Pada Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Bogol Jagung*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Santoso, dkk. 2013. *Studi Pemanfaatan Campuran Serbuk Tempurung Kelapa-Aluminium Sebagai Material Alternatif Kampas Rem Sepeda Motor Non-Asbestos*. Surakarta: UNS.
- Sijabat, Falma Irawati, dkk. 2013. *Pengaruh Ukuran Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Pengisi Komposit Poliestertak Jenuh Terhadap Sifat Mekanik Dan Penyerapan Air*. Medan: Universitas Teknik Kimia.
- Siswanto, Beni. 2008. *Analisa Perbandingan Disk Brake Produk Asli Terhadap Disk Brake Imitasi Pada Motor GL Pro*. Jakarta: Universitas Mercu Buana.
- Sukamto, 2012. *Analisa Keausan Kampas Rem Pada Sepeda Motor*. Jurnal Teknik, Universitas Janabdra, Volume 2, Nomor 1, Yogyakarta.

- Sungkono, Djoko, dan Rizal, Feri Fatkur. 2001. *Perbandingan Distribusi Temperatur Pada Drum Brakes Standart dan Modifikasi*. Surabaya: ITS.
- Sutikno, dkk. 2012. *Sifat Mekanik Bahan Gesek Rem Komposit Diperkuat Serat Bambu*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Syahid, Muhammad, dkk. 2011. *Analisa Sifat Mekanik Polimer Matriks Komposit Berpenguat Fly Ash Batubara Sebagai Kampas Rem*. Makasar: Universitas Hasanuddin.
- Wahyudi, Didik, dkk. 2002. *Optimasi Kekerasan Kampas Rem dengan Metode Desain Eksperimen*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Wardana, Prisma Frendi, dkk. 2013. *Pemanfaatan Serbuk Bamboo Sebagai Alternatif Material Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Widhiarta, Indra. 2012. *Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Kopleng Plat Gesek*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Fawaid, Muhammad, dkk. 2013. *Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Bahan Alternatif Kampas Rem Berpenguat Serat Bambu*. Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Purboputro, Pramuko Ilmu, dkk. 2013. *Pengaruh Komposisi Serat Kelapa Terhadap Kekerasan, Keausan, Dan Koefisien Gesek Bahan Kopleng Gesek Kendaraan*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Liu, T., Tjiu, W. C., Tong, Y., Goh, S. S., dan Chung, T. S. 2004. Morphology and Fracture Behaviour of Intercalated Epoxy/Clay Nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*. 94.
- German, R.M., 1984. *Powder Metallurgy Science*. Metal Powder Industries Federation. Princeton, New Jersey.
- Gamert V. D., L. Czarnecki, P. Lukowski dan E. Knapen. 2004. *Cement Concrete and Concrete-Polymer Composites*. Katolik University Leuven. Belgium.

- D. Kiswiranti, Sugianto, N. Hindarto, Sutikno. 2009. *Pemanfaatan Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Alternatif Serat Penguat Bahan Friksi Non-Asbes Pada Kampas Rem Sepeda Motor*. Semarang: Universitas Negeri Semarang (Unnes).
- Jagannathan Sundara babu. 2015. *Natural Fiber Reinforced Composites with Moringa and Vinyl Ester Matrix*. Kaunas: Kaunas University Of Technology.
- Sefiu Adekunle Bello, Isiaka Ayobi Raheem, Nasir Kolawole Raji. 2017. *Study Of Tensile Properties, Fractography And Morphology Of Aluminium (Ixxx)/Coconut Shell Micro Particle Composites*. Lagos: University of Lagos.
- Mubarrok, Muh Husni. 2014. *Pengaruh Ujuran Serbuk Kuningan Terhadap Ketahanan Aus, Koefisien Gesek, dan Kekerasan Kampas Rem*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Irfan, Pramuko, 2009, *Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Ketahanan Kampas Rem Gesek Sepatu*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Lampiran

1. Bahan



Serbuk Aluminium



Lem Epoksi (Hardener)



Epoksi (Resin)



Serbuk Tempurung Kelapa



Tempurung Kelapa

2. Bahan



Timbangan Digital



Ampelas



Furnace



Electric Brinell Hardness



Mesin *Flat And Disk*



Saringan (600 μm , 425 μm Dan 300 μm)



Cetakan Spesimen

3. Proses Pembuatan



Pembuatan Serbuk Tempurung Kelapa



Mengayak Serbuk Tempurung Kelapa



Penimbangan Serbuk Aluminium



Penimbangan Serbuk Tempurung Kelapa



Penimbangan Resin Epoksi



Pencampuran Bahan Spesimen



Pengadukan Bahan Spesimen



Memasukan Bahan Ke Dalam Cetakan



Pengompresian Spesimen



Mengeluarkan Spesimen Dari Cetakan



Spesimen Hasil Cetakan



Memanaskan Spesimen menggunakan
Furnace



Kampas Rem Hasil *Furnace*



Kampas Rem Hasil Amplas



Serbuk Tempurung Kelapa Dengan
Ukuran 600 µm



Serbuk Tempurung Kelapa Dengan
Ukuran 425 µm



Serbuk Tempurung Kelapa
Dengan Ukuran 300 μm

4. Proses Pengujian Kekerasan



Meratakan Permukaan Spesimen
Sebelum Pengujian Kekerasan



Menguji Kekerasan Menggunakan
Portable Hardness TH120

5. Proses Pengujian Laju Keausan



Menimbang Spesimen



Menimbang Berat Awal Spesimen
Sebelum Pengujian Laju Keausan



Menimbang Berat Beban Untuk
Handle Rem



Proses Pengujian Laju Keausan



Menimbang Berat Akhir Spesimen
Setelah Pengujian Laju Keausan



Kampas Rem Sebelum Uji Keausan



Kampas Rem Setelah Uji
Keausan

5 Proses Pengujian Mikro



Optikal Mikroskop Merk Olympus
BX41M



Kampas Rem Dengan Ukuran Serbuk
Tempurung Kelapa 600 µm



Kampas Rem Dengan Ukuran Serbuk
Tempurung Kelapa 425 µm



Kampas Rem Dengan Ukuran Serbuk
Tempurung Kelapa 300 µm

6. Tabel Perhitungan Keausan Serbuk Tempurung Kelapa Dengan Ukuran 600 μm

600 μm				
1 oz = N	W0(N)	oz	1 oz = g	W0(gram)
0.278	0.064	0.23	28.35	6.55
0.278	0.071	0.25	28.35	7.23
0.278	0.000	0.00	28.35	0.00

Pengu- langan	A(mm ²)	600 μm						
		t(s)	g (ms ²)	m0 (kg)	W0 (gram)	m1 (kg)	W1 (gram)	N (gram/s.mm ²)
1	1,962.5	120	9.8	0.0072	7.21	0.00500	5.00	9.38×10^{-6}
2	1,962.5	120	9.8	0.0066	6.55	0.00479	4.79	7.47×10^{-6}
3	1,962.5	120	9.8	0.0072	7.23	0.00505	5.05	9.26×10^{-6}
Rata - Rata								8.70×10^{-6}

7. Tabel Perhitungan Keausan Serbuk Tempurung Kelapa Dengan Ukuran 425 μm

425 μm				
1 oz = N	W0(N)	oz	1 oz = g	W0(gram)
0.278	0.070	0.25	28.35	7.18
0.278	0.068	0.25	28.35	6.95
0.278	0.073	0.26	28.35	7.49

Pengu- langan	A (mm ²)	425 μm						
		t(s)	g (ms ²)	m0 (kg)	W0 (gram)	m1 (kg)	W1 (gram)	N (gram/s.mm ²)
1	1,962.5	120	9.8	0.0072	7.18	0.00658	6.58	2.56×10^{-6}
2	1,962.5	120	9.8	0.0070	6.95	0.00664	6.64	1.33×10^{-6}
3	1,962.5	120	9.8	0.0075	7.49	0.00746	7.46	1.47×10^{-7}
Rata - Rata								1.35×10^{-6}

8. Tabel Perhitungan Keausan Serbuk Tempurung Kelapa Dengan Ukuran 300 μm

300 μm				
1 oz = N	W0(N)	oz	1 oz = g	W0(gram)
0.278	0.065	0.23	28.35	6.61
0.278	0.073	0.26	28.35	7.42
0.278	0.068	0.25	28.35	6.97

Pengu langan	A(mm ²)	300 μm						
		t(s)	g (ms ²)	m0 (kg)	W0 (gram)	M1 (kg)	W1 (gram)	N (gram/s.mm ²)
1	1,962.5	120	9.8	0.0066	6.61	0.0063	6.31	1.27×10^{-6}
2	1,962.5	120	9.8	0.0074	7.42	0.0073	7.34	3.40×10^{-7}
3	1,962.5	120	9.8	0.0069	6.97	0.0065	6.52	1.91×10^{-6}
Rata – Rata								1.17×10^{-6}

9. Tabel Keausan Kanvas Rem Komersial

No	Jenis Kanvas	W (gram/s.mm ²)
1	Kanvas Rem Cakram Chemco	6.51×10^{-6}
2	Kanvas Rem Cakram Aspira	4.34×10^{-7}
3	Kanvas Rem Cakram TM	3.47×10^{-6}
4	Kanvas Rem Cakram Federal	2.31×10^{-6}

(Sumber: Gatot Soebiyakto, 2012)

10. Tabel Komponen Penyusun Tempurung Kelapa

Komponen	Persentase
Selulosa	26.60%
Hemiselulosa	27.70%
Lignin	29.40%
Abu	0.60%
Komponen Ekstraktif	4.20%
Uronat Anhidrat	3.50%
Nitrogen	0.10%
Air	8.00%

11. Tabel Komponen Penyusun Tempurung Kelapa

Keterangan	Nilai
Massa Jenis	2,70 gram/cm ³
Masa Jenis Wujud Cair	2,375 gram/cm ³
Titik Lebur	933,47 K, 660,32 °C, 1220,58 °F
Titik Didih	2792 K, , 2519 °C 4566 °F
Kalor Jenis	24,2 J/mol K
Resistansi Listrik	28,2 nΩ m
Konduktivitas Termal	237 W/m K
Pemuain Termal	23,1 μm/m K
Modulus Young	70 Gpa
Modulus Gesr	26 Gpa
Poisson Ratio	0,35
Kekerasan Skala Mohs	2,75
Kekerasan Skala Vickers	167 Mpa
Kekerasan Skala Brinell	245 Mpa

12. Perhitungan Fraksi Volume Bahan Pengujian

Aluminium : Epoksi : Tempurung Kelapa = 40: 40 : 20

$$\rho_{Aluminium} = 40 \times 2,70 = 108 \text{ g}$$

$$\rho_{Epoksi} = 40 \times 1,20 = 48 \text{ g}$$

$$\rho_{Serbuk Tempurung Kelapa} = 20 \times 0,71 = 14,2 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Spesimen} &= \pi \cdot r^2 \cdot t \\ &= 3,14 \times (2,5)^2 \times 0,5 \\ &= 9,81 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volume Bahan Spesimen

$$\text{Volume Aluminium} = 108 \times \frac{9,81}{100} = 10,6 \text{ g}$$

$$\text{Volume Epoksi} = 48 \times \frac{9,81}{100} = 4,7 \text{ g}$$

$$\text{Volume Aluminium} = 14,2 \times \frac{9,81}{100} = 1,4 \text{ g}$$