



**KARAKTERISTIK KOMPOSIT PARTIKEL ARANG
KAYU AKASIA BERMATRIK *EPOXY* SEBAGAI
SALAH SATU ALTERNATIF KAMPAS REM *NON-
ASBESTOS***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

Oleh

Nur' Iman

NIM.5202415026

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

NAMA : Nur' Iman

NIM : 5202415026

Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Judul : Karakteristik Komposit Partikel Arang Kayu Akasia Bermatrik
Epoxy Sebagai Salah Satu Alternatif Kampas Rem *Non-Asbestos*

Proposal skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke seminar proposal Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 28 Agustus 2019

Dosen Pembimbing



Dr. Dwi Widjanarko S.Pd., ST., MT.
NIP. 196901061994031003

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Karakteristik Komposit Partikel Arang Kayu Akasia Bermatrik *Epoxy* Sebagai Salah Satu Alternatif Kampas Rem *Non-Asbestos*.” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 24 bulan September tahun 2019.

Oleh

Nama : Nur' Iman
NIM : 5202415026
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Panitia:

Ketua




Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, ST., MT. IPP.
NIP. 197509272006041002

Penguji I



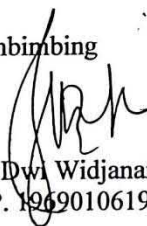
Dr. M. Burhan Rubai W, M.Pd.
NIP. 196302131988031001

Penguji II



Adhetya Kurniawan, S.Pd., M.Pd.
NIP. 198505172015041001

Pembimbing



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT.
NIP. 196901061994031003

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Proposal skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 9 Agustus 2019
Yang membuat pernyataan,



Nur' Iman
NIM 5202415026

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Hablumminallah Hablumminannas
2. Sabarlah. Semua orang yang akan berhasil memang melalui kesulitan dan kekecewaan.
3. Jangan menyerah pada kondisi, malas bukan tradisi.

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak Mudiyono dan Ibu Sunarti orangtuaku yang selalu memberikan semangat, doa, dan kasih sayang.
2. Kakak saya Siti A'isah dan Adek saya M. Muchtar Lutfi yang selalu membuat saya resah gelisah.
3. Teman-teman seperjuangan PTO 2015, PPL, KKN dan keluarga kedua saya UKM REMO.
4. Terakhir buat calon masa depan saya yang masih dirahasiakan oleh ALLAH SWT.

SARI/RINGKASAN

Iman, N. 2019. Karakteristik Komposit Partikel Arang Kayu Akasia Bermatrik *Epoxy* Sebagai Salah Satu Alternatif Kampas Rem *Non-Asbestos*. Skripsi. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Dwi Widjanarko S.Pd., ST., MT.

Kata Kunci: Kampas rem, Komposit, Partikel arang kayu akasia, Keausan, Impak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik keausan dan dampak komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui akibat yang akan terjadi setelah diberikan perlakuan. Variasi yang digunakan adalah 20%, 30% dan 40% partikel arang kayu akasia serta 100% resin *epoxy*. Bahan yang digunakan adalah resin *epoxy* dan partikel arang kayu akasia dengan suhu pengarangannya 300⁰C. Pengujian keausan dilakukan dengan metode *Ogoshi* dengan alat *Tokyo Testing Machine*, pengujian kekerasan dengan metode *Charpy* dengan alat *Gotech Impact Tester GT-7045-MD*. Analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, hasil penelitian disajikan dengan tabel dan grafik agar mudah dianalisis

Hasil penelitian dapat mengetahui karakteristik keausan dan dampak komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos* pada tiap fraksi volume. Hasil nilai keausan terbaik diperoleh dengan fraksi volume partikel arang kayu akasia sebesar 20% dengan nilai keausan $2,98 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Hasil harga dampak terbaik pada fraksi volume 30% dengan harga dampak sebesar 0.0080 joule/mm². Hasil penelitian menunjukkan kampas rem komposit yang paling mendekati dengan kampas rem yang ada di pasaran adalah komposit fraksi volume partikel 20%.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Karakteristik Komposit Partikel Arang Kayu Akasia Bermatrik *Epoxy* Sebagai Salah Satu Alternatif Kampas Rem *Non-Asbestos*”. Proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian proposal skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Dwi Widjanarko S.Pd., ST., MT., Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
4. Dosen penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Bapak, ibu, kakak, adik tercinta, serta keluarga yang selalu menyayangi, memberi nasihat, semangat, doa, dan mendukung penulis sampai saat ini.

7. Teman-teman Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2015 yang telah menemani, mendukung, menginspirasi, dan memotivasi penulis untuk terus maju dan semangat.
8. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Kritik dan saran penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Semarang,

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI/RINGKASAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Komposit.....	8
2.2.2 Arang Kayu Akasia.....	11
2.2.3 Matrik <i>Epoxy</i>	15
2.2.4 Sistem Rem	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	28
3.1.1 Waktu Penelitian	28
3.1.2 Tempat Pelaksanaan	28
3.2 Desain Penelitian.....	28
3.2.1 Skema penelitian	28

3.2.2	Prosedur Penelitian	31
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	39
3.3.1	Alat Penelitian	39
3.3.2	Bahan Penelitian	45
3.4	Parameter Penelitian.....	47
3.4.1	Variabel Bebas.....	47
3.4.2	Variabel Terikat	47
3.4.3	Variabel Kontrol	47
3.5	Teknik Pengumpulan Data	48
3.5.1	Pengujian keausan	48
3.5.2	Pengujian dampak	49
3.6	Kalibrasi Instrumen	51
3.7	Teknik Analisis Data	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Deskripsi Data	53
4.1.1	Uji Keausan.....	53
4.1.2	Uji Dampak	55
4.2	Analisis Data	56
4.2.1	Uji Keausan.....	56
4.2.1	Uji Dampak	57
4.3	Pembahasan	58
4.3.1	Karakteristik keausan komposit partikel arang kayu akasia	58
4.3.2	Karakteristik dampak komposit partikel arang kayu akasia.....	60
4.3.3	Perbandingan pada setiap pengujian.....	63
4.3.4	Keterbatasan Penelitian.....	65
BAB V PENUTUP.....		67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		72

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

E_p	= Energi Potensial
E_m	= Energi Mekanik
m	= Berat Pendulum (kg)
g	= Gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$
h_1	= Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)
h_2	= Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)
λ	= Jarak lengan pengayun (m)
$\cos \alpha$	= Sudut posisi awal pendulum
$\cos \beta$	= Sudut posisi akhir pendulum
H	= Harga <i>impact</i> (joule/mm ²)
E	= Energi yang diserap material (joule)
A	= Luas penampang dibawah takikan (mm ²)
P_o	= Beban (kg).
h	= Kedalaman bekas injakan (mm).
r	= Jari- jari (mm).
b	= Lebar bekas injakan (mm).
B	= Tebal (mm).
ω	= Kecepatan putar (1430 rpm).

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Produksi Kayu Olahan di Indonesia Menurut Jenisnya.....	12
Tabel 2.2 Koefisien gesek dan tekanan rem.....	17
Tabel 3.1 Standar pengujian impak ASTM D256.....	29
Tabel 3.2 Lembar Pengambilan Data Uji Keausan.....	48
Tabel 3.3 Lembar hasil perhitungan uji keausan spesifik.....	49
Tabel 3.4 Data Uji Impak Spesimen 1.....	49
Tabel 3.5 Data Uji Impak Spesimen 2.....	50
Tabel 3.6 Data Uji Impak Spesimen 3.....	50
Tabel 3.7 Data uji impak rata-rata.....	51
Tabel 4.1 Data Uji Keausan.....	54
Tabel 4.2 Data Uji Impak rata-rata.....	55
Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai uji keausan spesifik.....	56
Tabel 4.4 Data perhitungan harga impak rata-rata.....	57
Tabel 4.5 Perbandingan hasil pada setiap pengujian.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen kimia kayu	13
Gambar 2.2 Kadar air OSB	14
Gambar 2.3 Resin <i>epoxy</i> dan hardener.....	16
Gambar 2.4 Macam-macam rem blok tunggal.....	17
Gambar 2.5 Rem blok ganda.....	18
Gambar 2.6 Rem drum (tromol).....	18
Gambar 2.7 Rem cakram.....	19
Gambar 2.8 Notasi untuk rem cakram.....	19
Gambar 2.9 Rem pita (tunggal).....	20
Gambar 2.10 Ilustrasi skematis pengujian impact	22
Gambar 2.11 Metode pengujian keausan dengan metode ogoshi	25
Gambar 3.1 Dimensi spesimen uji keausan dengan metode ogoshi	29
Gambar 3.2 Dimensi spesimen uji impact	30
Gambar 3.3 Skema pengujian impact dengan metode charpy	30
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 3.5 Oven	39
Gambar 3.6 Timbangan digital	40
Gambar 3.7 Gelas ukur plastik.....	40
Gambar 3.8 Jangka sorong.....	41
Gambar 3.9 Tembikar dari tanah liat	41
Gambar 3.10 Gergaji besi	42
Gambar 3.11 Kuas.....	42
Gambar 3.12 Saringan.....	43
Gambar 3.13 Alat Pemotong Kaca.....	43
Gambar 3.14 Alat uji impact.....	43
Gambar 3.15 Alat uji keausan	44
Gambar 3.16 Mikroskop	44
Gambar 3.17 Partikel Arang Kayu Akasia.....	45
Gambar 3.18 Resin <i>epoxy</i> dan hardener.....	46

Gambar 3.19 Release agent.....	46
Gambar 4.1 Goresan berupa titik hitam pada benda uji.....	53
Gambar 4.2 Goresan terlihat pada mikroskop.....	54
Gambar 4.3 Perbandingan nilai keausan spesifik kampas rem, resin <i>epoxy</i> , dan komposit partikel arang kayu akasia	58
Gambar 4.4 Perbandingan harga dampak resin <i>epoxy</i> dan komposit partikel arang kayu akasia	61
Gambar 4.5 Bentuk patahan spesimen setelah uji dampak.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Penetapan Dosen Pembimbing	72
Lampiran 2 Persetujuan Seminar Proposal Skripsi	73
Lampiran 3 Daftar Hadir Peserta Seminar Proposal Skripsi.....	74
Lampiran 4 Surat Tugas Dosen Penguji.....	75
Lampiran 5 Undangan Seminar Proposal Skripsi	76
Lampiran 6 Presensi Seminar Proposal Skripsi	77
Lampiran 7 Berita Acara Seminar Proposal Skripsi	78
Lampiran 8 Surat Izin Penelitian di UNNES	79
Lampiran 9 Surat Izin Penelitian di UGM	80
Lampiran 10 Surat Keterangan Penelitian	81
Lampiran 11 Data Hasil Uji Keausan	82
Lampiran 12 Data Hasil Uji Impak	83
Lampiran 13 Perhitungan Nilai Keausan Spesifik	84
Lampiran 14 Perhitungan Harga Impak	86
Lampiran 15 Dokumentasi Kegiatan	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif telah berkembang dengan berbagai macam produk dan merk menyebabkan persaingan antar produsen untuk menghasilkan mutu produk yang baik dan berkualitas. Semakin beragamnya tipe, merk, dan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia kebutuhan material otomotif juga semakin besar. Namun produk yang dihasilkan masih menggunakan bahan-bahan yang kurang ramah lingkungan. Sebagian besar bahan yang digunakan merupakan bahan-bahan yang cenderung merusak lingkungan dan mempengaruhi kesehatan manusia.

Penggunaan bahan *asbestos* terutama dalam pembuatan kampas rem merupakan komponen yang kurang ramah lingkungan serta bersifat karsinogenik bagi kesehatan manusia. Abu-Allaban, *et al* (2003:5291), Kontribusi keausan rem untuk PM₁₀ (*Particulate Matter* dengan diameter lebih kecil dari 10µm) dan PM_{2.5} (*Particulate Matter* dengan diameter <2,5 µm) per kendaraan ringan masing-masing dapat berkisar antara 0-80 mg /km dan 0-5 mg/km). Ini menunjukkan bahwa kampas rem menyumbang partikulat cukup tinggi mengingat pertumbuhan kendaraan saat ini yang terus meningkat. Fitrianto, dkk (2013:1) menyatakan bahwa, “Penggunaan bahan baku bukan asbes yang bersifat lebih ramah lingkungan, memiliki daya cengkram kuat pada suhu pengereman di atas 300⁰ C dan faktor keamanan yang lebih baik”.

Bahan friksi pada komponen kampas rem merupakan bahan habis setelah dipakai. Maka dari itu dalam pembuatan kampas rem, bahan yang digunakan harus selalu tersedia secara terus menerus dan tidak akan punah. Kita tahu negara Indonesia merupakan negara agraris dengan banyak berbagai tanaman, salah satunya pohon akasia. Berdasarkan BPS, (2016), Data Kehutanan Triwulan tahun 2016, jumlah produksi kayu bulat di Indonesia adalah sebesar 42,25 juta m³, dengan produksi terbesar kayu bulat adalah Akasia/*Acacia* sebanyak 54,72% dan lainnya 45,28%, produksi kayu gergajian sebanyak 2,35 juta m³. Pada umumnya pemanfaatan limbah serbuk kayu ini hanya untuk pembuatan arang briket oleh produsen rumahan. Oleh karena itu melalui penelitian ini diharapkan akan memberikan pengetahuan lebih dalam memaksimalkan pemanfaatan limbah serbuk kayu selain digunakan untuk membuat briket.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mencoba menjadikan limbah serbuk kayu sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit, sebagai pertimbangan menjadikan serbuk kayu akasia sebagai bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit adalah ketersediaan limbah kayu akasia masih cukup banyak berasal dari pengrajin kayu dan penggergajian. Limbah serbuk gergajian berpeluang sebagai bahan kampas rem, meskipun hanya untuk kendaraan ringan. Sebelum digunakan sebagai *filler*/penguat, serbuk gergaji kayu perlu dilakukan pengarangan terlebih dahulu, karena arang tidak dapat terurai dan aman dari hewan pemakan kayu. Menurut Puja, (2011:321) "Matrik yang cocok sebagai pengikat pada kampas rem harus memiliki keuletan yang baik agar kampas rem yang dihasilkan tidak mudah

pecah. Jenis *polimer termoset* yang banyak tersedia di pasaran dan memiliki keuletan yang tinggi adalah resin *epoxy*”.

Penelitian ini bertujuan untuk mencoba menjadikan komposit sebagai salah satu alternatif kampas rem kendaraan yang ramah lingkungan. Kukutschova, *et al* (2009:2) menyatakan bahwa, “Bahan komposit mewakili elemen yang relevan dalam keselamatan transportasi dan, terlepas dari penggantian asbes, juga dalam pemuatan lingkungan karena pertumbuhan kendaraan yang semakin meningkat serta aktifitas masyarakat yang semakin padat dengan menggunakan kendaraan”. Kampas rem sebagai salah satu komponen penting dalam kendaraan maka perlu alternatif lain sebagai bahan pembuatannya yang lebih ramah lingkungan. Bahan-bahan yang digunakan dalam komposit ini terjangkau dan cukup banyak di pasaran sehingga mudah didapatkan. Sebagai pertimbangan lain untuk mengurangi penggunaan *asbestos* dalam pembuatan kampas rem.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah, diantaranya:

1. Penggunaan *asbestos* dalam kampas rem berbahaya bagi kesehatan sehingga perlu adanya alternatif lain untuk pembuatan kampas rem *non-asbestos*.
2. Banyaknya limbah serbuk kayu yang tidak terpakai dari tempat penggergajian dan pabrik mebel sehingga perlu dimanfaatkan selain digunakan untuk membuat briket.

3. Bahan friksi pada komponen kampas rem sepeda motor merupakan bahan habis setelah dipakai sehingga bahan yang digunakan harus selalu tersedia secara terus menerus dan tidak akan punah.
4. Matrik atau bahan pengikat pada kampas rem harus memiliki keuletan yang baik agar kampas rem yang dihasilkan tidak mudah pecah
5. Kampas rem harus memiliki daya cengkram kuat pada suhu pengereman di atas 300°C .

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka dalam penelitian tentang karakteristik komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos* ini memiliki batasan masalah yaitu menggunakan limbah serbuk kayu yang tidak terpakai dari tempat penggergajian dan pabrik mebel sebagai komposit alami. Dalam hal ini serbuk kayu yang akan digunakan adalah jenis kayu akasia yang mudah ditemui di tempat pengrajin kayu atau tempat penggergajian. Resin yang digunakan adalah jenis *epoxy* karena memiliki keuletan yang tinggi.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka dapat diambil rumusan masalah yaitu bagaimana karakteristik keausan dan impak kampas rem berbahan komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos* ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji karakteristik keausan dan dampak kampas rem berbahan komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik keausan dan dampak kampas rem berbahan komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Syawaluddin dan Setiawan, (2008), telah melakukan penelitian dengan judul Perbandingan Pengujian Mekanis Terhadap Kampas Rem Asbes dan Non-Asbestos dengan melakukan Uji Komposisi, Uji Kekerasan, dan Uji Keausan. Pada pengujian kekerasan telah didapatkan nilai hasil rata-rata kekerasan dari tiap sampel dengan nilai 16 HRb untuk *asbestos* dan 23 HRb untuk *non-asbestos*, dari hasil nilai telah membuktikan nilai yang paling baik dimiliki pada sampel *non-asbestos*. Pada pengujian keausan telah didapatkan nilai hasil rata-rata spesifik abrasi dari tiap sampel dengan nilai 0.0018 mm³/mm untuk *asbestos* dan 0.002 mm³/mm untuk *non-asbestos*, dari hasil membuktikan nilai yang baik dimiliki pada sampel *asbestos* dan sebaliknya pada *non-asbestos*, tetapi sebaliknya pada pengereman jika nilai abrasi yang rendah membuktikan bahwa pada kampas rem *asbestos* akan terjadi *fading* yang membuktikan tingkat pengereman yang rendah dan sebaliknya pada *non-asbestos* mempunyai tingkat pengereman yang baik.

Gapsari dan Setyarini, (2012), melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit resin serbuk kayu ini cukup memadai untuk digunakan sebagai topeng komposit. Untuk itu diperlukan kekuatan yang tinggi dan kekakuan tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa komposisi terbaik dari komposit resin serbuk kayu ini adalah fraksi volume 30%

dengan *filler* kayu mahoni. Pada komposisi ini diperoleh kekuatan tarik 2.081916 kg/mm² modulus elastisitas paling tinggi yaitu sebesar 635.464 kg/mm².

Fitrianto, dkk., (2013), telah melakukan penelitian dengan judul Pemanfaatan Serbuk Tongkol Jagung Sebagai Alternatif Bahan Friksi Kampas Rem *Non-Asbestos* Sepeda Motor. Berdasarkan hasil penelitian semakin besar persentase komposisi serbuk tongkol jagung dan semakin kecil persentase serbuk kuningan maka semakin kecil nilai kekerasannya dan semakin besar nilai keausannya. Variasi komposisi bahan penyusun berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan nilai keausan. Komposisi yang paling optimal yang mendekati tingkat kekerasan dan keausan kampas rem *non-asbestos* merk Indopart dengan nilai kekerasan *Brinell* (HB) 18,5 kg/mm² dan nilai keausanya $0,87 \times 10^{-8}$ mm²/kg yaitu pada komposisi 30% serbuk tongkol jagung, 30% serbuk kuningan dan 20% MgO dan resin. Pada komposisi tersebut nilai kekerasannya sebesar 17,1 kg/mm² dan nilai keausannya sebesar $0,80 \times 10^{-8}$ mm²/kg.

Diharjo, dkk., (2014), telah melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Fraksi Volume *Filler* terhadap Kekuatan *Bending* dan Ketangguhan Impak Komposit Nanosilika – *Phenolic*. Hasil penelitian menunjukkan ketangguhan impact dipengaruhi oleh variasi fraksi volume nanosilika. Fraksi volume nanosilika 10% sampai 30% mengalami peningkatan ketangguhan impact yang disebabkan partikel nanosilika dapat terikat secara menyeluruh oleh matriks *phenolic*. Fraksi volume nanosilika 40% sampai 60% mengalami penurunan ketangguhan impact pada komposit.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Komposit

Sailesh dan Prakash (2013:2523) menyatakan bahwa “Komposit adalah bahan yang dibuat dari dua bahan konstituen atau lebih yang berbeda secara fisik dan sifat kimia, bahwa ketika dikombinasikan, menghasilkan material dengan karakteristik berbeda dari komponen individu”. Maryanti, dkk (2011:124) mendefinisikan komposit sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Secara umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu matrik dan *reinforcement*.

Prakteknya komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik-matrik) dan suatu jenis penguatan (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat (*fibre, fiber*). Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Menurut Suhardiman dan Syahputra (2017:211) “Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus. Dan bahan rangka (penguat) yang sering digunakan adalah serat alam selulosa dan serat sintesis”.

Bentuknya yang paling dasar, material komposit adalah salah satu yang terdiri dari setidaknya dua elemen yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-

sifat material yang berbeda dengan sifat-sifat elemen-elemen itu sendiri. Dalam praktiknya, sebagian besar komposit terdiri dari bahan curah (matriks), dan penguat dari beberapa jenis, ditambahkan terutama untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matriks. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat.

Menurut Cripps, (2019), saat ini komposit buatan manusia yang paling umum dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama :

1. *Polymer Matrix Composites* (PMC) adalah yang paling umum dan akan menjadi area diskusi utama dalam panduan ini. Juga dikenal sebagai FRP - Serat *Reinforced* Polimer atau Plastik) - bahan ini menggunakan resin berbasis polimer sebagai matriks, dan berbagai serat seperti kaca, karbon dan aramid sebagai penguat (Cripps, 2019).

Österle dan Urban, (2004:215) menyatakan sekitar lebih dari 90% dari sistem ini adalah tipe kampas rem polimer matriks komposit (PMC) terhadap cor rotor besi. Bahan gesekan yang sering digunakan untuk pad mengandung lebih dari 10 bahan berbeda, seperti logam, pengisi keramik, serat aramid, karet, pelumas padat dan resin fenolik, yang diharapkan memenuhi spesifik fungsi. Karena hubungan komposisi-properti tidak cukup dikenal, tugas formulasi didasarkan pada percobaan dan kesalahan dan karenanya mahal dan memakan waktu.

2. *Metal Matrix Composites* (MMC) semakin banyak ditemukan di industri otomotif, bahan-bahan ini menggunakan logam seperti aluminium sebagai matriks, dan memperkuatnya dengan serat seperti silikon karbida (Cripps, 2019).

3. *Ceramic Matrix Composites* (CMC) digunakan di lingkungan bersuhu sangat tinggi, material ini menggunakan keramik sebagai matrik dan menguatkannya dengan serat pendek, atau kumis seperti yang terbuat dari silikon karbida dan boron nitride (Cripps, 2019).

Menurut Kopeliovich, (2012), Berdasarkan strukturnya komposit dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Komposit partikel (*Particulate Composites*)

Particulate Composites terdiri dari matriks yang diperkuat dengan fase terdispersi dalam bentuk partikel. Efek partikel terdispersi pada sifat komposit tergantung pada dimensi partikel. Partikel fase terdispersi besar memiliki efek penguatan rendah tetapi mereka mampu berbagi beban yang diterapkan pada material, menghasilkan peningkatan kekakuan dan penurunan keuletan (Kopeliovich, 2012).

Partikel keras yang terdispersi dalam matriks yang lebih lunak meningkatkan ketahanan aus dan abrasi. Partikel terdispersi dalam matriks yang lebih keras meningkatkan kemampuan mesin (partikel timbal dalam matriks baja atau tembaga) dan mengurangi koefisien gesekan (timah dalam matriks aluminium atau timah dalam matriks tembaga). Komposit dengan matriks konduktivitas listrik tinggi (tembaga, perak) dan dengan fase dispersi tahan api (tungsten, molibdenum) bekerja dalam aplikasi listrik suhu tinggi. (Kopeliovich, 2012).

2. Komposit Berserat (*Fibrous Composites*)

Fase terdispersi dalam bentuk serat meningkatkan kekuatan, kekakuan dan ketangguhan fraktur material, menghambat pertumbuhan retak dalam arah normal ke serat. Pengaruh peningkatan kekuatan menjadi jauh lebih signifikan ketika serat diatur dalam arah tertentu (orientasi yang disukai) dan tekanan diterapkan sepanjang arah yang sama. (Kopeliovich, 2012).

Efek penguatan lebih tinggi pada komposit yang diperkuat serat-panjang (serat-berkelanjutan) daripada komposit yang diperkuat serat-pendek (serat-terputus-putus) (Kopeliovich, 2012).

3. Komposit Laminasi (*Laminate Composites*)

Komposit laminasi terdiri dari lapisan dengan orientasi anisotropik yang berbeda atau dari matriks yang diperkuat dengan fase terdispersi dalam bentuk lembaran. Komposit laminasi memberikan peningkatan kekuatan mekanik dalam dua arah dan hanya dalam satu arah, tegak lurus dengan orientasi yang disukai dari serat atau lembaran, sifat mekanik material rendah (Kopeliovich, 2012).

2.2.2 Arang Kayu Akasia

Pohon akasia merupakan salah satu tanaman yang sering dijumpai di Indonesia. Kayu akasia berasal dari Kalimantan dan jenis tanaman ini merupakan salah satu bahan yang biasa digunakan dalam industri *pulp* dan kertas. Xie dan Hong (2001:167) menyatakan “Pada tahun 1996 sudah 123.000 hektar lahan sudah ditanami dengan *A. mangium*, menunjukkan nilai ekonomi dari spesies ini”. Berdasarkan BPS, (2016), hasil pengumpulan Data Kehutanan Triwulanan Tahun

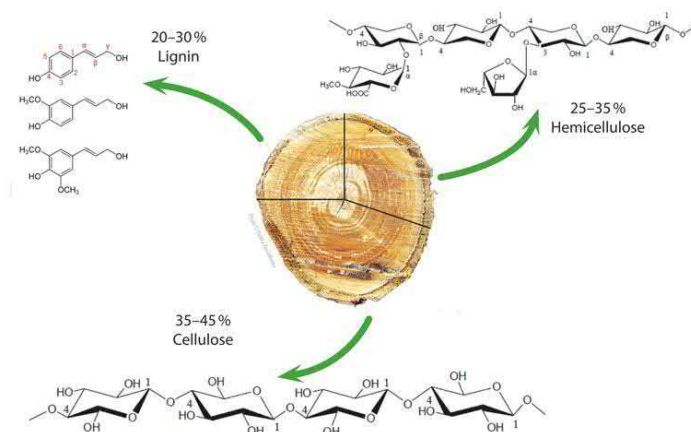
2016, jumlah produksi kayu bulat di Indonesia adalah sebesar 42,25 juta m³ dengan produksi terbesar adalah kayu akasia sebanyak 54,72% dan jenis lainnya 45,28%. Dapat dilihat bahwa jenis kayu olahan yang diproduksi pada tahun 2016 adalah chip & partikel sebesar 23,57 juta m³, diikuti oleh bubur kayu sebesar 5,99 juta m³, lalu kayu gergajian 2,35 juta m³ dan yang terendah adalah furnitur kayu.

Tabel 2.1 Produksi Kayu Olahan di Indonesia Menurut Jenisnya (DKT2016)

Jenis Kayu Olahan / Type of Processed Timber	Satua / Unit	Tahun 2016/ Year 2016				Jumlah/ Total
		Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Chip & Partikel/ Chip & Particle	m ³	8 422 868,48	8 089 805,57	3 594 916,78	3 463 049,65	23,570 640,48
Bubur Kayu/ Pulp	Ton	1 630 357,60	1 378 286,20	1 559 949,11	1 421 876,55	5 990 469,46
Kayu Gergajian/ Sawn timber	m ³	500 144,06	690 980,02	790 817,04	367 314,69	2 349 255,79
Kayu lapis/ Plywood	m ³	307 253,51	260 121,82	249 023,57	165 752,59	982 151,50
Veneer	m ³	206 259,63	138 929,80	225 499,19	110 072,24	680 760,87
Barecore	m ³	74 045,31	57 550,08	46 882,86	34 770,38	213 248,63
Papan Serat/ Fibreboard	m ³	21 138,66	13 146,80	40 294,33	39 117,65	113 697,43
Flooring/Parquet	m ³	5 930,57	5 930,57	94 807,08	59 30,57	112 598,80
Moulding/Dowel	m ³	19 730,14	1 087,19	14 517,55	4 022,62	60 357,50
Furnitur Kayu/ Wooden Furniture	m ³	8 698,97	2 978,71	39 429,43	149,53	51 256,64

<i>Others</i>	m ³	865 087,24	1 377 529,92	896 624,88	1 001 700,57	4 140 922,73
<i>Others</i>	Ton	26 616,57	35 452,23	36 839,17	27 944,82	126 852,79

Maulana, (2017), Serbuk kayu memiliki kelebihan sebagai *filler* dibandingkan dengan *filler* mineral seperti mika, kalsium karbonat, dan talk yaitu temperatur proses lebih rendah (kurang dari 400⁰F) dengan demikian mengurangi biaya energi, dapat terdegradasi secara alami, berat jenisnya jauh lebih rendah, sehingga biaya per volume lebih murah dan berasal dari sumber yang dapat diperbarui. Sehingga menunjukkan serbuk kayu dapat digunakan sebagai *filler* bahan komposit .

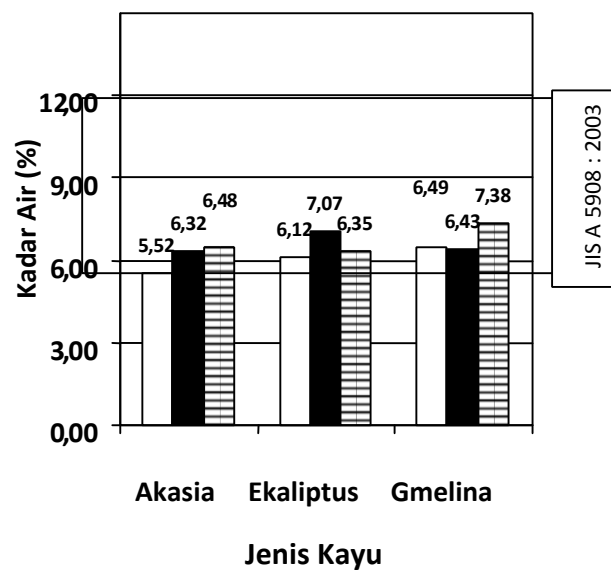


Gambar 2.1 Komponen kimia kayu
(Sumber : Briggs, 2018)

Aza, (2014:9) menyatakan bahwa, “Penggunaan serat alami seperti sisal, rami, rami kenaf, goni, kelapa, cangkang, kulit pisang atau serat inti sawit sebagai penguat memiliki sifat mekanik yang tinggi, gesekan stabil, resistensi aus yang tinggi, ringan, dampak lingkungan yang rendah, biaya dan dapat dipakai dari berbagai kondisi lingkungan”.

Bethony, (2014), Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan serbuk kayu sebagai *filler* dalam pembuatan komposit adalah jenis kayu, ukuran serbuk, fraksi volume / berat, dan kandungan air. Material kayu merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, dan tetap akan memegang peranan penting dalam material teknik pada umumnya. Oleh karena itu ketersediaan serbuk kayu gergaji akan tetap tersedia, jika ingin mengembangkan komposit partikel dalam penelitian ini

Nuryawan, dkk, (2014:62), *Oriented Strands Board* (OSB) merupakan produk panel kayu struktural yang diproduksi dari partikel kayu berbentuk strands dan perekat thermosetting tahan air (*waterproof*). Nilai rerata OSB yang dihasilkan memenuhi JIS A 5908 : 2003, dengan standar kadar air OSB berkisar 5-13 %. Umumnya kadar air papan partikel lebih rendah daripada kadar air bahan bakunya/kayu. Kadar air kayu akasia dibanding dengan kayu lain dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.2 Kadar air OSB
(Sumber : Nuryawan, 2014)

Dari grafik dapat diketahui bahwa kadar air kayu akasia lebih rendah dibanding kayu ekaliptus dan kayu gmelina sehingga memungkinkan serbuk kayu akasia digunakan untuk komposit alami dengan pengurangan yang lebih cepat.

2.2.3 Matrik Epoxy

Menurut Fitrianto, dkk., (2013:2) “Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai beberapa fungsi yaitu mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren, permukaan matriks/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan dan tetap stabil setelah proses manufaktur”. Selanjutnya Wardana dan Estriyanto, (2013:2) menyatakan bahwa “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”.

Epoksi salah satu *thermosetting* plastik yaitu bahan plastik yang telah mengalami reaksi kimia oleh aksi panas atau katalis. Plastik ini tidak dapat dicairkan kembali dan diproses kembali jika dipanasi pada suhu tinggi akan terurai dan rusak. Bethony, (2014:5), “Keuntungan plastik termoset ini adalah kekakuan tinggi, kestabilan suhu tinggi, kestabilan dimensi tinggi, resistensi terhadap mulur dan deformasi di bawah pembebanan, ringan dan sifat isolasi termal dan listrik yang tinggi”.

Surdia, (2000 : 258) menyatakan bahwa “Resin *epoxy* mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listrik, mekanik dan sipil sebagai perekat, cat pelapis, percetakan cor dan benda-benda cetakan”. Surdia, (2000 : 259), Resin

epoksi bereaksi dengan pengeras dan menjadi unggul dalam kekuatan mekanik dan ketahanan kimia. Sifatnya bervariasi bergantung pada jenis, kondisi dan pencampuran dengan pengerasnya. Melihat keunggulannya, Resin epoksi akan digunakan sebagai matrik yang dipadukan dengan partikel arang kayu akasia sebagai kampas rem komposit.



Gambar 2.3 Resin epoxy dan hardener

2.2.4 Sistem Rem

Menurut Halderman, (2017 : 54), “Rem adalah mekanisme penyerap energi yang mengubah gerakan kendaraan menjadi panas sambil menghentikan rotasi roda. Semua sistem pengereman dirancang untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan yang bergerak dan mencegahnya bergerak jika kendaraan itu diam”.

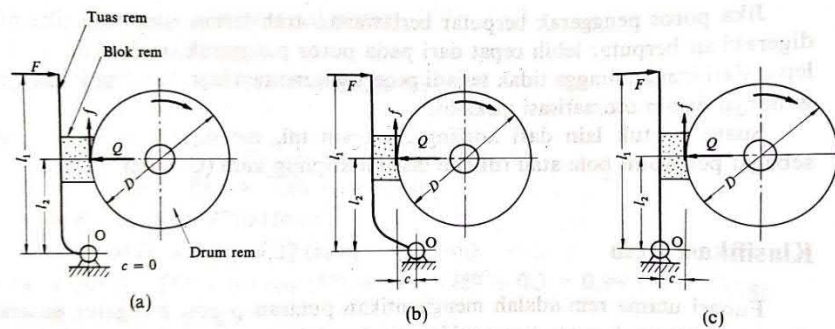
Menurut Sularso (1997), Rem gesekan dapat diklasifikan sebagai berikut

1. Rem blok

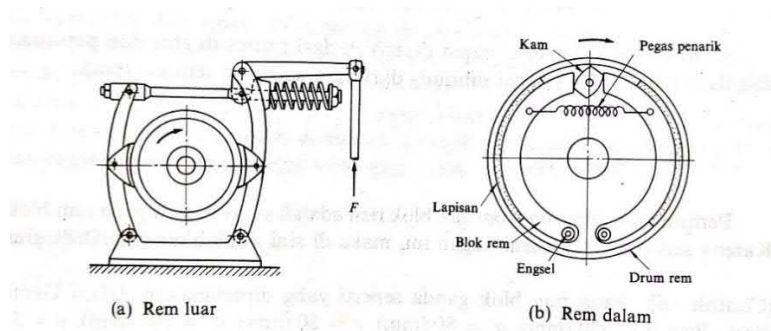
Rem blok yang paling sederhana terdiri dari satu blok rem yang ditekan terhadap drum rem. Biasanya pada blok rem tersebut pada permukaan geseknya dipasang lapisan rem atau bahan gesek yang dapat diganti bila telah aus (Sularso, 1997:77).

Tabel 2.2 Koefisien gesek dan tekanan rem (Sularso, 1997:80)

Bahan drum	Bahan gesek	Koefisien gesek μ	Tekanan permukaan P_a (kg/mm ²)	Keterangan
Besi cor, baja cor, besi cor khusus	Besi cor	0,10-0,20 0,08-0,12	0,09-0,17	Kering 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	0,003-0,18	Damar, asbes, setengah logam
	Paduan sinter	0,20-0,50	0,003-0,10	Logam

Gambar 2.4 Macam-macam rem blok tunggal
(Sumber : Sularso, 1997:78)

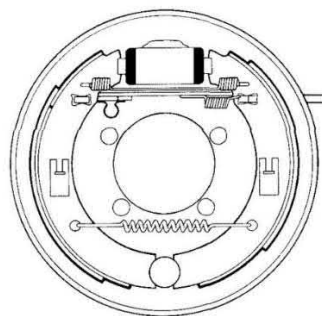
Rem blok tunggal agak kurang menguntungkan karena drum mendapat gaya tekan hanya dalam satu arah hingga menimbulkan momen lentur yang besar pada poros serta gaya tambahan pada bantalan. Kekurangan tersebut dapat diatasi jika dipakai dua blok rem yang menekan drum dari dua arah yang berlawanan, baik dari sebelah dalam atau dari arah sebelah luar drum. Rem semacam ini disebut rem blok ganda (Sularso, 1997:83). Rem dengan blok yang menekan dari luar dipergunakan untuk mesin-mesin industri dan rel kereta yang pada umumnya digerakkan secara numatik, sedangkan yang menekan dari dalam dipakai pada kendaraan jalan raya yang digerakkan secara hidrolik (Sularso, 1997:83).



Gambar 2.5 Rem blok ganda
(Sumber : Sularso, 1997:83)

2. Rem drum

Rem untuk otomobil umumnya berbentuk rem drum (macam ekspansi) dan rem cakram (*disk*). Rem drum mempunyai ciri lapisan rem yang terlindung, dapat menghasilkan gaya rem yang besar untuk ukuran rem yang kecil, dan umur lapisan rem cukup panjang. Kelemahan rem ini adalah pemancaran panasnya buruk. Blok rem dari rem ini disebut sepatu rem karena bentuknya yang mirip sepatu. Gaya rem tergantung pada letak engsel sepatu rem dan silinder hidrolik serta arah putaran roda (Sularso, 1997:84).

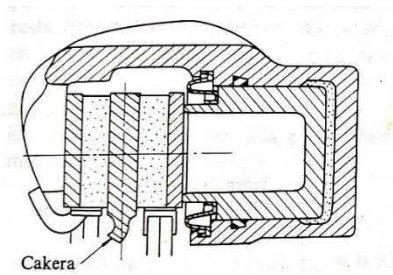


Gambar 2.6 Rem drum (tromol)
(Sumber : Muchta, 2017)

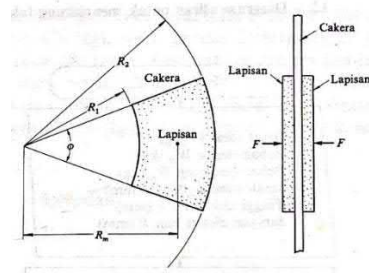
3. Rem cakram

Rem cakram terdiri atas sebuah cakram dari baja yang dijepit oleh lapisan rem dari kedua sisinya pada waktu pengereman. Rem ini mempunyai sifat-sifat

yang baik seperti mudah dikendalikan, pengereman yang stabil, radiasi panas yang baik, sehingga sangat banyak dipakai untuk roda depan. Adapun kelemahannya adalah umur lapisan yang pendek, serta ukuran silinder rem yang besar pada roda (Sularso, 1997:90).



Gambar 2.7 Rem cakera (Sumber : Sularso, 1997:91).



Gambar 2.8 Notasi untuk rem cakera (Sularso, 1997:91)

Dimana μ adalah koefisien gesek lapisan, F (kg) adalah hasil perkalian antara luas piston atau selinder roda A_w (cm²) dan tekanan minyak P_w (kg/cm²), sedangkan K_I dan R_m dihitung dari rumus berikut (Sularso, 1997:91) :

$$K_I = \frac{2\phi}{3 \sin (\phi/2)} \left[1 - \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

$$R_m = \frac{R_1 + R_2}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Perhitungan ini dilakukan untuk membuat keausan lapisan yang seragam baik didekat poros maupun diluar, dengan jalan mengusahakan tekanan kontak yang merata. Jika $R_2 = 1,5 R_1$, maka

$$K_I = 1,021 \text{ untuk } \phi = 25^\circ \dots\dots\dots (2.3)$$

$$K_I = 1,04 \text{ untuk } \phi = 45^\circ \dots\dots\dots (2.4)$$

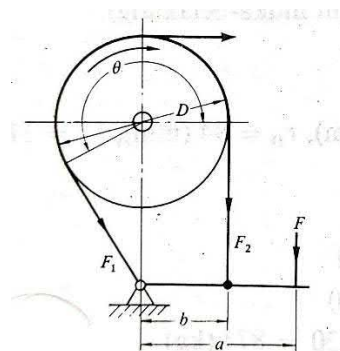
Satu cakera ditekan oleh gaya P (kg) x 2 dari kedua sisinya. Jika pusat tekanan ada di $K_I R_m = r$, maka faktor efektifitas rem (FER) adalah

$$(FER) = 2T / Fr = 2\mu \dots\dots\dots (2.5)$$

4. Rem pita

Rem pita pada dasarnya terdiri dari sebuah pita baja yang disebelah dalamnya dilapisi dengan bahan gesek, drum rem, dan tuas, seperti diperlihatkan pada gambar 2.11. Gaya rem akan timbul bila pita diikatkan pada drum dengan gaya tarik pada kedua ujung pita tersebut. Jika gaya tarik pada kedua ujung pita adalah F_1 dan F_2 (kg), maka besarnya gaya gesek adalah sama dengan $(F_1 - F_2)$ (Sularso, 1997:94). Jika D_R (m) adalah diameter drum rem, maka besarnya momen rem adalah

$$T = (F_1 - F_2) D_R / 2 \text{ (kg)} \dots\dots\dots (2.6)$$



Gambar 2.9 Rem pita (tunggal)
(Sumber : Sularso, 1997:94)

Komposisi struktur bahan kampas rem ada dua macam yaitu asbestos dan non asbestos. Keduanya memiliki perbedaan dalam ketahanan terhadap suhu yang terjadi dimana kampas rem masih mampu bekerja sebagai berikut :

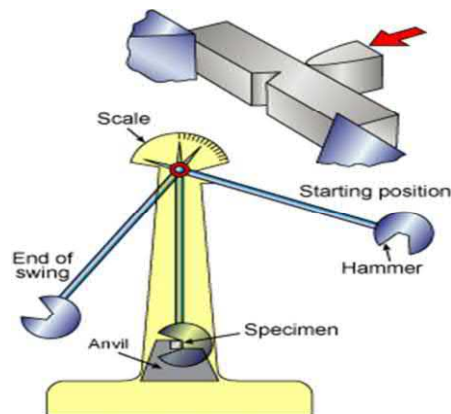
Kampas rem asbestos akan terjadi blong atau tidak bekerja pada suhu pengereman 250° C yang berakibat tingkat kecelakaan akan mudah terjadi. Sedangkan untuk kampas rem yang terbuat dari non asbestos lebih tahan panas dan terjadi rem blong pada saat suhu pengereman di atas 360° C hal ini karena serat selulosa dan serat lainnya dapat meredam panas lebih baik dibandingkan dengan serat asbes (Haroen, dan Waskito 2008:3).

Kampas rem asbestos dan kampas rem non-asbestos memiliki bahan baku yang berbeda. Syawaluddin dan Setiawan (2008:4), Bahan baku kampas rem asbestos yaitu *asbestos 40 s/d 60 %, resin 12 s/d 15%, BaSO4 14 s/d 15%, sisanya karet ban bekas, tembaga sisa kerajinan, frict dust dan metal*. Kampas rem non asbestos biasanya terbuat dari serat *Kevlar/aramid, rockwool, fiberglass, steel fiber, carbon, potasiumtitanate, graphite, cellulose, vemiculate, BaSO4, resin, dan Nitrile butadine rubber*.

Adapun persyaratan teknik dari kampas rem komposit (Subyakto, 2011:5) yaitu :

- (1) Nilai kekerasan sesuai standar keamanan 68 – 105 (Rockwell R).
- (2) Ketahanan panas 360⁰C, untuk pemakaian terus menerus sampai dengan 250⁰C.
- (3) Nilai keausan kampas rem adalah $(5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2 / \text{kg})$.
- (4) Koefisien gesek 0,14 – 0,27.
- (5) Massa jenis kanvas rem adalah 1,5 – 2,4 gr/cm³.
- (6) Konduktivitas thermal 0,12 – 0,8 W.m.⁰K.
- (7) Kekuatan geser 1300 – 3500 N/cm².
- (8) Kekuatan perpatahan 480 – 1500 N/cm².

Material mungkin mempunyai kekuatan tarik tinggi tetapi tidak tahan akan beban kejut. Untuk itu perlu dilakukan uji ketahanan impak dengan ketahanan impak biasanya diukur dengan uji impak Izod atau charpy terhadap benda uji bertakik atau tanpa takik. Pengujian impak Charpy (juga dikenal sebagai tes Charpy *v-notch*) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Handoyo, (2013:46) menyatakan bahwa, “Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas”.



Gambar 2.10 Ilustrasi skematis pengujian impact
(Sumber : Handoyo, 2013:46)

Bila pendulum pada kedudukan h_1 dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan fungsi akhir pada ketinggian h_2 yang juga hampir sama dengan tinggi semula h_1 dimana pendulum mengayun bebas. Menurut Handoyo, (2013:47) Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu:

$$\text{Energi yang Diserap (Joule)} = E_p - E_m \dots\dots\dots (2.7)$$

$$= m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$= m \cdot g (h_1 - h_2) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$= m \cdot g (\lambda (1 - \cos \alpha) - \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Energi yang diserap} = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

E_p = Energi Potensial

E_m = Energi Mekanik

m = Berat Pendulum (Kg)

g = Gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$

h_1 = Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

h_2 = Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

λ = Jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$ = Sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$ = Sudut posisi akhir pendulum

dari persamaan rumus diatas didapatkan besarnya harga impak yaitu

$$K = \frac{W}{A} \text{ (Kg m/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Handoyo, (2013:47), Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau usaha yang diserap benda uji sampai patah yaitu

$$W_1 = G \times h_1 \text{ (kg m)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dan dapat juga dengan menggunakan persamaan berikut:

Dimana :

W_1 = Usaha yang dilakukan (kg m).

G = Berat pendulum (kg).

h_1 = Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m).

Λ = Jarak lengan pengayun (m).

$\cos \alpha$ = Sudut posisi awal pendulum.

Sedangkan sisa usaha setelah mematahkan benda uji adalah sebagai berikut.

dan dapat juga dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W_2 = G \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (kg m)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

W_2 = Sisa usaha setelah mematahkan benda uji (kg m).

G = Berat pendulum (kg).

h_2 = Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m).

λ = Jarak lengan pengayun (m).

$\cos \beta$ = Sudut posisi akhir pendulum.

Besarnya usaha yang diperlukan untuk memukul patah benda uji adalah :

$$W = W_1 - W_2 \text{ (Kg m) (2.16)}$$

dan dapat juga dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = G \times \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (Kg m) (2.17)}$$

Dimana :

W = Usaha yang diperlukan mematahkan benda uji (kg m).

G = Berat pendulum (kg).

λ = Jarak lengan pengayun (m).

$\cos \alpha$ = Sudut posisi awal pendulum.

$\cos \beta$ = Sudut posisi akhir pendulum.

dan besarnya harga impak dapat digunakan persamaan berikut (Hariyanto, 2015):

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (joule/mm}^2\text{)(2.18)}$$

Dimana :

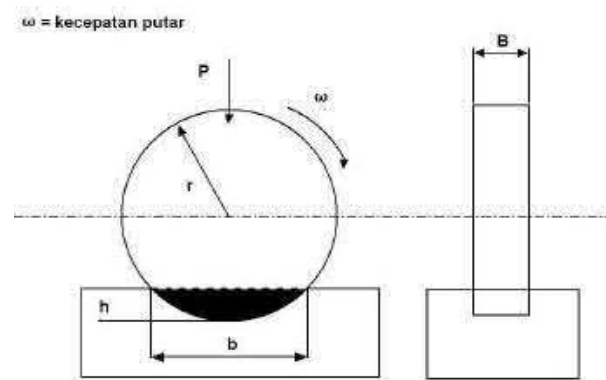
HI = Harga *impact* (joule/mm²)

E = Energi yang diserap material (joule)

A = Luas penampang dibawah takikan (mm²)

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah 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 ada permukaan benda uji. Firdaus, (2014) menyatakan bahwa “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 terkelupas dari benda uji”. Pada pengujian ini skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji dapat diilustrasikan pada gambar 2.10 berikut :



Gambar 2.11 Metode pengujian keausan dengan metode *ogoshi*
(Sumber : Firdaus, 2014)

Dengan keterangan:

P_o : Beban (kg).

h : Kedalaman bekas injakan (mm).

r : jari- jari *revolving disc* (mm).

b : Lebar bekas injakan (mm).

B : Tebal *revolving disc* (mm).

ω : Kecepatan putar (1430 rpm).

Firdaus, (2014), Untuk mengetahui besarnya volume material yang terabrasi maka dapat diketahui dengan rumus berikut

$$V = \frac{W}{X} = \frac{B \cdot b^3}{12r x} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} (\text{mm}^3) \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan keterangan:

V = Laju keausan (m/sec).

W = Volume terabrasi (mm^3).

X = jarak luncur (mm).

B = tebal *revolving disc* (mm).

r = jari-jari *disc* (mm).

b = lebar celah material yang terabrasi (mm)

Firdaus, (2014) Untuk mengetahui nilai keausan spesifik dapat diketahui melalui rumus berikut:

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8r \cdot p_o \cdot l_o} (\text{mm}^2/\text{kg}) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan keterangan:

B = lebar piringan pengaus (mm).

b = lebar keausan pada benda uji (mm).

r = jari-jari piringan pengaus (mm).

p_o = gaya tekan pada proses keausan berlangsung (kg).

l_o = jarak tempuh pada proses pengausan (mm).

W_s = harga keausan spesifik (mm^2/kg).

Grigoratos, (2015), Kontak gesekan antara *disc* dan *pad* menghasilkan partikel dengan berbagai ukuran. Selama acara pengereman, kaliper bertindak secara mekanis pada bantalan, yang meluncur pada cakram dan mengubah energi

kinetik kendaraan menjadi energi termal. Terlepas dari abrasi mekanis, rem kendaraan menjadi subjek untuk menghasilkan panas gesekan yang besar dengan pemakaian lapisan dan rotor yang selanjutnya. Ini menghasilkan sebagian besar partikel berukuran mikron.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada penelitian tentang karakteristik komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos* dapat disimpulkan bahwa :

1. Karakteristik keausan komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos* masih dibawah kampas rem mobil standar. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa penambahan serbuk arang kayu akasia membuat material lebih cepat aus dan yang paling tahan aus adalah dengan fraksi volume sebesar 20% dengan nilai keausan sebesar $2,98 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Hal ini terjadi setelah menambahkan serbuk arang kayu akasia berperan dalam meningkatnya kekuatan mekanis komposit yang salah satunya meningkatkan kekerasan yang berdampak pada meningkatnya ketahanan aus pada benda uji.

2. Karakteristik dampak komposit partikel arang kayu akasia bermatrik *epoxy* sebagai salah satu alternatif kampas rem *non-asbestos* masih dibawah standar kampas rem komposit. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa penambahan serbuk arang kayu akasia dapat menaikkan harga dampak dan yang paling baik adalah dengan fraksi volume sebesar 30% dengan harga dampak sebesar 0.0080 joule/mm². Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah partikel arang kayu akasia yang ditambahkan maka ketangguhan bahan semakin tinggi. Namun pada tingkat penambahan yang terlalu banyak justru akan menurunkan ketangguhan dampak

bahan komposit. Penurunan ketangguhan impak pada komposit dikarenakan matrik kurang sempurna dalam mengikat partikel arang kayu akasia yang menjadikan ketangguhan impak menurun.

3. Hasil paling optimal didapat pada fraksi volume partikel arang kayu akasia 20%. Hasil pengujian yang didapatkan adalah nilai keausan sebesar $2,98 \times 10^{-7}$ mm²/kg dan harga impak 0,0079 joule/mm².

5.2 Saran

1. Penggunaan partikel kayu sebagai penguat komposit menggunakan partikel kayu akasia dengan diberikan tambahan bahan lain seperti serbuk logam agar memiliki kekerasan yg lebih tinggi dan memiliki ketahanan aus yang baik sehingga hasil nilai keausan yang diperoleh bisa lebih mendekati atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan kampas rem mobil yang sudah ada di pasaran.

2. Alangkah lebih baik fraksi volume partikel yang digunakan untuk membuat kampas rem komposit partikel arang kayu akasia menggunakan fraksi volume 30% karena memiliki daya ikat antar matrik dan *reinforcement* yang kuat sehingga memiliki keuletan yang tinggi.

3. Penelitian selanjutnya dapat ditambah dengan pengujian lain agar bahan kampas rem komposit memenuhi standar dari persyaratan teknik kampas rem sehingga kampas rem komposit terjamin kualitas dan keamanannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Allaban, M., Gillies, J. A., Gertler, A. W., Clayton, R., dan Proffitt, D. 2003. Tailpipe, resuspended road dust, and brake-wear emission factors from on-road vehicles. *Atmospheric environment*, 37(37), 5283-5293.
- Aza, C.A. 2014. Composites in Automotive Applications: Review on brake pads and discs. *Research Development: Literature Review*. University of Bristol.
- Badan Pusat Statistik. Statistik Produksi Kehutanan 2016
- Bethony, F. R. 2014. Analisis Sifat Mekanis Komposit Resin Epoksi Serbuk Kayu Bayam. *DynamicSaint*, 1(2).
- Briggs, Z. 2018. Towards A Circular Economy With Multiple Product. <http://baleia.me/chemical-composition-of-wood/e6514/gallery/towards-a-circular-economy-with-multiple-product.asp>, diakses tanggal 9 September 2019.
- Cripps, D. 2019. Introduction Composite Materials. <https://netcomposites.com/guide/introduction/> diakses pada tanggal 21 Februari 2019.
- Diharjo, K., Elharomy, I., dan Purwanto, A. 2014. Pengaruh fraksi volume Filler terhadap Kekuatan Bending dan Ketangguhan Impak Komposit nanosilika-Phenolic. *Rekayasa Mesin*, 5(1).27-32.
- Fitrianto, F. D., Estriyanto, Y., dan Harjanto, B. 2013. Pemanfaatan Serbuk Tongkol Jagung Sebagai Alternatif Bahan Friksi Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor. *Jurnal Nosel*, 1(3).
- Firdaus, W. 2014. Keausan Material Teknik. <https://www.scribd.com/doc/231800717/KEAUSAN-MATERIAL-TEKNIK> diakses pada tanggal 24 Februari 2019.
- Gapsari, F., dan Setyarini, P.H. 2012. Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu. *Rekayasa Mesin*,1(2),59-64.
- Grigoratos, T., dan Martini, G. 2015. Brake wear particle emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2491-2504.
- Halderman, J.D. 2017. *Automotive Brake Systems*. Edisi Ketujuh. Amerika Serikat: Pearson.
- Handoyo, Y. 2013. Perancangan alat uji impact metode charpy kapasitas 100 joule. *JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 1(2), 45-53.
- Hariyanto, A. 2015. Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Impak Pada Rekayasa Dan Manufaktur Bahan Komposit Hybrid Berpenguat Serat E-Glass Dan Serat Kenaf Bermatrik Polyester Untuk Panel Interior Automotive. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1).

- Haroen, W. K., dan Waskito, A. T. 2009. Peningkatan Standar Kanvas Rem Kendaraan Berbahan Baku Asbestos dan Non Asbestos (Selulose) untuk Keamanan. BBPK Departemen Perindustrian.
- Kopeliovich, D. 2012. Structure of composites. https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=structure_of_composites. diakses pada tanggal 9 September 2019
- Kukutschova, J., Roubíček, V., Malachová, K., Pavlíčková, Z., Holuša, R., Kubačková, J., ... dan Filip, P. 2009. Wear mechanism in automotive brake materials, wear debris and its potential environmental impact. *Wear*, 267(5-8), 807-817.
- Maryanti, B., Sonief, A. A. A., dan Wahyudi, S. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 123-129.
- Maulana, Y. 2017. Komposit Serbuk Kayu Plastik Daur Ulang : Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah Kayu Dan Plastik. <https://www.academia.edu/21936706/> diakses pada tanggal 23 Februari 2019
- Muchta, A. 2017. 6 Jenis Rem Tromol Beserta Penjelasan Secara Rinci. <https://www.autoexpose.org/2017/12/macam-macam-rem-tromol.html> diakses pada tanggal 23 Februari 2019
- Nuryawan, A., Massijaya, M. Y., dan Hadi, Y. S. 2008. Sifat Fisis dan Mekanis Oriented Strands Board (OSB) dari Akasia, Ekaliptus dan Gmelina Berdiameter Kecil: Pengaruh Jenis Kayu dan Macam Aplikasi Perekat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*, 1(2), 60-66.
- Österle, W., dan Urban, I. 2004. Friction layers and friction films on PMC brake pads. *Wear*, 257(1-2), 215-226.
- Puja, I. G. K. 2011. Studi Kekuatan Tarik Dan Koefisien Gesek Bahan Komposit Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati Dengan Matrik Epoxy. *Mekanika*, 9(2).
- Sailesh, A. dan Prakash, S. 2013. Review on Recent Developments in Natural Fiber Composites. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(9), 2523-2525.
- Subyakto, G. 2011. Pengaruh Jenis Kanvas Rem Dan Pembebanan Pedal Terhadap Putaran Output Roda Dan Laju Keausan Kanvas Rem Pada Sepeda Motor. *PROTON*, 3(2).
- Sugiyono, M. P. P. 2007. *Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Cetakan Kedua. Bandung: Alfabeta.
- Suhardiman, S. dan Syaputra, M. 2017. Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa. *Inovtek Polbeng*, 7(2), 210-214.

- Sularso dan Suga, K. 1997. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Cetakan Kesembilan. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, T dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetaka kelima. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syawaluddin dan Setiawan, I. A. 2008. Perbandingan Pengujian Mekanis Terhadap Kampas Rem Asbes dan Non-Asbestos dengan Melakukan Uji Komposisi, Uji Kekerasan, dan Uji Keausan. *Jurnal Mesin Teknologi*, 2(2).
- Waluyanti. S., Djoko. S., Slamet., dan Umi. R. 2008. *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Edisi Pertama. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Wardana, P. F., dan Estriyanto, Y. 2013. Pemanfaatan Serbuk Kayu akasia sebagai Alternatif Material Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor. *Nosel*, 1(3), 1-8.
- Xie, D., dan Hong, Y. 2001. In vitro regeneration of *Acacia mangium* via organogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 66(3), 167-173.