



**ANALISIS KAMPAS REM KOMPOSIT DARI KARBON
KULIT BUAH MAHONI DAN ABU LAYANG (*FLY ASH*)
BATUBARA SERTA SIFAT-SIFAT FISIKANYA**

SKRIPSI

**disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika**

Oleh

**Muhammad Zakaria
4211414039**

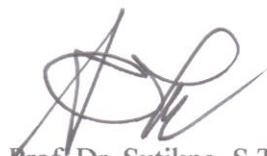
**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2018**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul “Analisis Kampas Rem Komposit dari Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara serta Sifat-sifat Fisiknya” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 7 November 2018

Pembimbing I



Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.
NIP. 197411201999031003

Pembimbing II



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.
NIP. 195610291986011001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi berjudul “Analisis Kampas Rem Komposit dari Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara serta Sifat-sifat Fisiknya” benar-benar asli dan bebas dari plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, 7 November 2018



Muhammad Zakaria

4211414039

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Analisis Kampas Rem Komposit dari Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara serta Sifat-sifat Fisikanya disusun oleh

Muhammad Zakaria

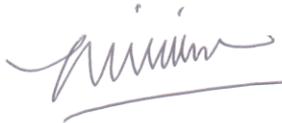
4211414039

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang pada Rabu, 7 November 2018.



Panitia Ujian
Ketua
Prof. Dr. Sudarmin, M.Si.
NIP. 196601231992031003

Ketua Penguji



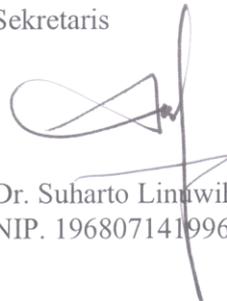
Dr. Putut Marwoto, M.S
NIP. 196308211988031004

Anggota Penguji/
Pembimbing I



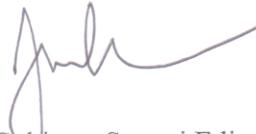
Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.
NIP. 197411201999031003

Sekretaris



Dr. Suharto Lintuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

Anggota Penguji/
Pembimbing II



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.
NIP. 195610291986011001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya, dan sesungguhnya usahanya itu kelak akan diperlihatkan (kepada-Nya), kemudian akan diberi balasan kepada-Nya dengan balasan yang paling sempurna” (Q.S.An-Najm : 39 – 41).

“Selalu ada harapan bagi orang yang berdo’a dan selalu ada jalan bagi orang yang berusaha”

PERSEMBAHAN

Untuk Bapakku Ruslan (alm), Ibuku Saim
Pamanku Lek Hudi, Bapak Musta’in, dan Adekku Mevi
Keluarga Besarku

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Agung Muhammad SAW, sehingga atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis berupa skripsi yang berjudul “Analisis Kampas Rem Komposit dari Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara serta Sifat-sifat Fisikanya” dengan lancar. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu Program Studi Fisika di Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Sains.

Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada,

1. Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
2. Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., selaku ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., selaku dosen wali yang senantiasa membimbing dan memberikan motivasi selama masa perkuliahan.

5. Teknisi dan analis Laboratorium Fisika, Roudhotul Muttaqin, S.Si., Natalia Erna S., S.Pd., dan Wasi Sakti Wiwit P., S.Pd., yang telah membantu jalannya penelitian skripsi ini.
6. Bapak Ruslan (alm) dan Ibu Saim, orang tua tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moril maupun materiil, memberikan semangat terus menerus, serta do'a yang selalu dipanjatkan kepada-Nya demi terwujudnya cita-cita putra tercintanya, kalianlah motivasi dan semangat terbesarku.
7. Paman, Bapak, dan Adik tersayang, Lek Hudi, Pak Musta'in, dan Mevi Sahertian yang selalu menjadi penyemangat dan penghibur dikala suka duka.
8. Keluarga besarku yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan do'a
9. Sahabat-sahabatku Sulthon, Azka, dan Ulil terimakasih telah memberikan semangat, dukungan dan tempat cerita selama penyusunan skripsi ini.
10. Teman-Teman Grup Riset Fisika Material Komposit, Gudel, Heru, dan Agus, terimakasih atas dukungan yang luar biasa dan memberikan pencerahan serta pengetahuan dalam penelitian ini.
11. Teman-teman Fisika 2014, terimakasih atas kebersamaannya selama 4 tahun ini, semoga kekeluargaan kita tetap terjaga selamanya.
12. Teman-teman Kos Hore, Ebit, Arvis, Ari, Aufa, Rendy, dan Andy, terimakasih untuk kebersamaannya dan menjadi tempat keluh kesahku selama ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan doa dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan dan kekurangan yang jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun dapat menyempurnakan skripsi ini sehingga dapat bermanfaat baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca sekalian.

Semarang, 7 November 2018

Penulis

ABSTRAK

Zakaria, M 2018. *Analisis Kampas Rem Komposit dari Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (Fly Ash) Batubara Serta Sifat-Sifat Fisikanya*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Pembimbing Utama Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T., dan pembimbing pendamping Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

Kata kunci: Kampas rem, karbon kulit buah mahoni, abu layang (*fly ash*) batubara

Abstrak. Penelitian pembuatan kampas rem komposit dari bahan karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara telah berhasil dilakukan. Dalam pembuatan kampas rem menggunakan metode *hot iso static pressing* dengan suhu 200⁰C, tekanan 5 ton, selama 3 jam. Dalam penelitian ini masing-masing bahan menggunakan variasi fraksi volume sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan *rockwell*, keausan, serapan air, SEM, EDX, dan DTA. Adapun hasil pengujian pada kampas rem komposit dari bahan karbon kulit buah mahoni hasil terbaik dengan nilai kekerasan 69 mm²/kg, keausan 2,49×10⁻⁴ mm/kg, serapan air 2,72%, sedangkan bahan abu layang (*fly ash*) batubara memiliki hasil terbaik dengan nilai kekerasan 78 mm²/kg, keausan 1,01×10⁻³ mm/kg, serapan air 3,50%. Hasil pengujian SEM/EDX terlihat bentuk struktur partikel abu layang (*fly ash*) batubara lebih terlihat bulatan yang lebih jelas dibandingkan bentuk partikel dari karbon kulit buah mahoni. Kandungan persentase karbon pada bahan karbon kulit buah mahoni sebesar 58.9%, sedangkan kandungan persentase abu layang (*fly ash*) batubara sebesar 66.2%. Pengujian DTA pada bahan karbon kulit buah mahoni perubahan entalpi (Δm) untuk sebesar 1,75 mg, sedangkan bahan abu layang (*fly ash*) batubara perubahan entalpi (Δm) sebesar 2,50 mg. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan bahwa kampas rem komposit dari bahan abu layang (*fly ash*) batubara lebih baik daripada dari bahan karbon kulit buah mahoni. Kampas rem komposit dari bahan abu layang (*fly ash*) batubara memiliki keunggulan yang baik digunakan dalam kondisi basah.

ABSTRACT

Zakaria, M 2018. An Analysis of Composite Brake Pad from Carbon of Mahogany Fruit Peel and Coal Fly Ash and Its Physical Properties. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Pembimbing Utama Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T., dan pembimbing pendamping Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

Keyword: Brake pad, carbon of mahogany fruit peel, coal fly ash

Abstract. A research on making composite brake pad from carbon of mahogany fruit peel and coal fly ash has been successfully done. In making brake pad it uses a *hot iso static pressing* method with the temperature of 200⁰C, the pressure of 5 tons, during 3 hours. In this research, each ingredient uses volume fraction variation of 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, and 12%. The testing in this study covers *Rockwell* hardness testing, wear, water uptake, SEM, EDX, and DTA. As for the test results on composite brake pad from the carbon of mahogany fruit peel, the best result showed the hardness value of 69 mm²/kg, the wear of 2,49×10⁻⁴ mm/kg, the water uptake of 2,72%, meanwhile the coal fly ash has the best result with the hardness value of 78 mm²/kg, the wear of 1,01×10⁻³ mm/kg, the water uptake of 3,50%. The result of SEM/EDX test showed the shape of the particle structure of the coal fly ash is more visible in a clearer circle than the particle structure shape of the carbon of mahogany fruit peel. The percentage of carbon in the carbon of mahogany fruit peel is 58.9%, while the percentage of coal fly ash is 66.2%. The DTA test on the carbon of mahogany fruit peel showed the enthalpy change (Δm) is sebesar 1,75 mg, while the enthalpy change of the coal fly ash (Δm) is 2,50 mg. Based on the results of the tests that composite brake pad from the coal fly ash is better than from the carbon of mahogany fruit peel. Composite brake pad from the coal fly ash has an advantage well-used in wet conditions.

Keyword: Brake pad, carbon of mahogany fruit peel, coal fly ash

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Penegasan Istilah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	8
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit.....	10
2.2 Kampas Rem	13
2.3 Abu Layang (<i>Fly Ash</i>) Batubara.....	18
2.3.1 Proses Pembentukan Abu Layang (<i>Fly Ash</i>) Batubara	21
2.3.2 Sifat-sifat Abu Layang Batubara.....	22
2.4 Kulit Buah Mahoni.....	24
2.5 Pengujian Kekerasan	27
2.6 Uji Keausan	28
2.7 Pengujian DTA (<i>Differential Thermal Analysis</i>)	31

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	35
3.2 Alat dan Bahan	35
3.2.1 Alat	35
3.2.2 Bahan	36
3.3 Pembuatan Karbon dari Kulit Buah Mahoni.....	37
3.4 Penyiapan Abu Layang (<i>Fly Ash</i>) Batubara.....	39
3.5 Desain Produk	40
3.6 Alur Penelitian.....	40
3.6.1 Bahan-bahan dalam Pembuatan Kampas Rem.....	42
3.6.2 Mempersiapkan Bahan-bahan Kampas Rem.....	42
3.6.3 Membuat Sampel dengan Cetakan Bahan ke Bentuk Kampas Rem.....	43

3.6.4 Pengujian Bahan	44
3.6.4.1 Pengujian Sifat Mekanik	44
3.6.4.2 Pengujian Sifat Serapan Air dan Struktur Mikro	44
3.6.4.3 Pengujian Sifat Termal	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Sifat Mekanik	48
4.1.1 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	48
4.1.2 Pengujian Keausan	51
4.2 Pengujian Sifat Serapan Air dan Struktur Mikro	55
4.2.1 Pengujian Serapan Air	55
4.2.2 Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	59
4.2.3 Pengujian EDX (<i>Energy Dispersive X-Ray</i>)	62
4.3 Pengujian Sifat Termal	65
4.3.1 Pengujian DTA (<i>Differential Thermal Analysis</i>)	65
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Syarat standar dalam kualitas pengujian kampas rem komposit.....	17
2.2 Komposisi kimia abu terbang batubara.....	24
3.1 Fraksi volume pencampuran bahan kampas rem dengan karbon kulit buah mahoni.....	42
3.2 Fraksi volume pencampuran bahan kampas rem dengan karbon abu layang batubara.....	43
4.1 Pengujian kekerasan <i>Rockwell</i> dari bahan karbon kulit buah mahoni	48
4.2 Pengujian kekerasan <i>Rockwell</i> dari bahan abu layang batubara	49
4.3 Pengujian keausan dari bahan karbon kulit buah mahoni	52
4.4 Pengujian keausan dari bahan abu layang batubara	52
4.5 Pengujian serapan air dari bahan karbon kulit buah mahoni	56
4.6 Pengujian serapan air dari bahan abu layang batubara	56
4.7 Hasil perbandingan persentase berat unsur-unsur kimia pada bahan komposit kampas rem	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Kampas rem	15
2.2 Abu layang (<i>fly ash</i>) batubara	19
2.3 Tanaman Mahoni: (a) Pohon Mahoni (b) Kulit Buah Mahoni	25
2.4 Proses Pengukuran Kekerasan dengan Metode <i>Rockwell</i>	27
2.5 Metode Keausan <i>Ogoshi</i>	30
2.6 Skematis gambar komponen DTA.....	31
3.1 Diagram alir pembuatan karbon kulit buah mahoni	38
3.2 Diagram alir penyiapan abu layang batubara.....	39
3.3 Desain produk kampas rem.....	40
3.4 Diagram alir Penelitian	41
3.5 Desain Spesimen Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> dan Uji Keausan ASTM E140 (Satuan mm).....	44
4.1 Kampas rem komposit dari bahan karbon kulit buah mahoni	47
4.2 Kampas rem komposit dari bahan abu layang batubara	47
4.3 Grafik perbandingan kekerasan <i>Rockwell</i> komposit kampas rem terhadap kenaikan fraksi volume: (a) Karbon kulit buah mahoni, dan (b) Abu layang batubara.....	49
4.4 Grafik perbandingan keausan komposit kampas rem terhadap kenaikan fraksi volume: (a) Karbon kulit buah mahoni, dan (b) Abu layang batubara	53

4.5 Grafik perbandingan serapan air terhadap kenaikan fraksi volume kanvas rem dengan <i>ingredient</i> : (a) Karbon kulit buah mahoni, dan (b) Abu layang batubara	57
4.6 Citra SEM hasil perbesaran 1500x komposit kanvas rem dengan bahan: (a) Karbon kulit buah mahoni, dan (b) Abu layang batubara	60
4.7 Kurva EDX komposit kanvas rem dengan bahan: (a) Karbon kulit buah mahoni, dan (b) Abu layang batubara	63
4.8 Gambar 4.8 Hasil pengujian DTA kanvas rem dengan <i>ingredient</i> : (a) Karbon kulit buah mahoni, dan (b) Abu layang batubara	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Uji kekerasan <i>rockwell</i>	76
2. Uji keausan	79
3. Pengujian serapan air.....	83
4. SK penetapan dosen pembimbing	87
5. Dokumentasi penelitian	88
6. Hasil pengujian kekerasan <i>rockwell</i> dengan bahan karbon kulit buah mahoni	90
7. Hasil Pengujian kekerasan <i>rockwell</i> dengan bahan <i>fly ash</i> batubara	91
8. Hasil pengujian keausan dengan bahan karbon kulit buah mahoni.....	92
9. Hasil pengujian keausan dengan bahan <i>fly ash</i> batubara	93
10. Hasil pengujian DTA dengan bahan karbon kulit buah mahoni	94
11. Hasil pengujian DTA dengan bahan <i>fly ash</i> batubara.....	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif terus meningkat dengan semakin banyaknya permintaan alat transportasi, khususnya kendaraan bermotor. Salah satu bagian kendaraan bermotor yang paling penting adalah sistem *breaking* atau pengereman. Pada bulan Januari hingga Maret 2008 ditemukan 5 kasus kecelakaan di Jakarta Timur yang diakibatkan rem kendaraan bermotor yang tidak berfungsi dengan baik (Raymond *et al.*, 2008). Sistem pengereman memiliki fungsi untuk memperlambat atau mengurangi kecepatan, menghentikan kendaraan yang sedang berjalan, dan menjaga kendaraan agar tetap berhenti atau diam (Sukamto, 2012).

Dalam sistem pengereman, kampas rem merupakan bagian komponen yang secara langsung bergesekan dengan bagian berputar yaitu drum (sistem tromol) atau disk (sistem cakram). Kampas rem mampu menahan hingga 90% dari beban komponen lainnya ketika kendaraan berusaha berhenti setelah sebelumnya melaju dengan kecepatan tinggi. Masalah yang sering terjadi pada kampas rem adalah keausan, dimana keausan memiliki arti sebagai rusaknya permukaan padatan akibat gesekan terhadap beban kejut dengan pengereman secara tiba-tiba atau mendadak (Mursan *et al.*, 2014). Usaha untuk meningkatkan kinerja pengereman lebih mudah dilakukan dengan memodifikasi bahan gesek daripada memodifikasi sistem pengereman (Sutikno *et al.*, 2008).

Perkembangan bahan gesek yang digunakan dalam pembuatan kampas rem mengalami peningkatan yang sangat baik. Dalam perkembangannya, pembuatan kampas rem di Indonesia awalnya masih menggunakan bahan asbes. Pembuatan kampas rem dari bahan asbes memiliki sifat *carcinogenic* yang tidak ramah terhadap lingkungan sehingga dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan terutama penyakit kanker (Cherie *et al.*, 2000). Oleh karena itu, dibutuhkan usaha dalam pengembangan bahan pembuatan kampas rem yang ramah lingkungan. Salah satu inovasi perkembangan dalam pembuatan kampas rem menggunakan bahan komposit. Bahan komposit merupakan kombinasi pencampuran bahan dari satu atau lebih material yang dapat menghasilkan sifat dan karakteristik terbaik dari komponen bahan penyusunnya (Handoyo *ea al.*, 2008). Perkembangan teknologi komposit mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir ini, karena bahan komposit memiliki keunggulan dengan keistimewaan sifat yang dapat terbarukan sehingga memiliki kekuatan yang baik terhadap beban tinggi, kekakuan dan ketahanan terhadap korosi. Penggunaan bahan komposit saat ini sangat beragam, sehingga inovasi bahan komposit dalam pembuatan kampas rem menggunakan bahan alam yang sudah jadi limbah dan tidak terpakai lagi.

Salah satu bahan yang berpeluang digunakan dalam pembuatan kampas rem komposit adalah kulit buah mahoni. Kayu mahoni memiliki keunikan warna dan tekstur yang keras, sehingga memiliki daya tahan yang tinggi (Brown, 2012). Sama halnya kayu pada pohon mahoni, kulit buah mahoni juga memiliki tekstur yang kuat dan keras (Kader *et al.*, 2008). Kulit buah mahoni termasuk salah satu

limbah perkebunan yang belum termanfaatkan dengan baik namun memiliki potensi sebagai alternatif bahan komposit (Salamah, 2008). Melimpahnya jumlah kulit buah mahoni di alam dinilai mampu dimanfaatkan sebagai salah satu bahan komposit dalam pembuatan kampas rem dengan mengombinasikan bahan-bahan penguat lainnya. Pengujian kekerasan dan keausan pada sampel memberikan hasil bahwa kampas rem yang sesuai standar SNI memiliki tingkat kekerasan dalam kondisi antara lunak dan keras. Tingkat keausan kampas rem mempengaruhi daya cengkram saat dilakukan proses pengereman. Tingkat keausan yang tinggi dapat mempengaruhi kampas rem melakukan proses pengereman dengan baik (Herwidhi *et al.*, 2017).

Bahan lain yang dapat digunakan sebagai campuran pembuatan kampas rem adalah abu layang (*fly ash*) batubara. Abu layang (*fly ash*) batubara dapat dimanfaatkan sebagai lapisan pada rem kendaraan bermotor, rel kereta api, dan komponen mesin (Mishra, 2016). Abu layang (*fly ash*) batubara merupakan terminologi untuk abu layang ringan yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Abu layang (*fly ash*) batubara banyak dihasilkan sebagai limbah dari industri-industri besar yang menggunakan batubara untuk bahan bakar seperti PLTU, industri semen dan karet dan memiliki beberapa kandungan / unsur kimia utama seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO dan MgO (Pratama, 2013).

Penelitian lain tentang kampas rem telah dilakukan dengan menganalisis sifat mekanik material komposit menggunakan *ingredient* abu layang (*fly ash*) batubara. Kandungan abu layang (*fly ash*) batubara dapat digunakan sebagai bahan penguat komposit pada kampas rem. Pengujian dalam penelitian ini untuk

mengetahui sifat mekanik pada kekerasan, kelenturan dan laju keausan serta mengamati permukaan patahan. Hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa tingkat kekerasan optimum pada komposisi 60% resin dan 40% *fly ash* yaitu 94 HRB, laju keausan minimum pada komposisi 60% resin dan 40% *fly ash* adalah $2.02E-07$ gr/mm².detik, sedangkan pada tingkat kelenturan terbaik pada komposisi 50% resin dan 50% *fly ash* nilainya 52,79 N/mm². Bahan komposit dengan penguat abu layang (*fly ash*) batubara dari hasil pengujian tersebut dapat digunakan sebagai bahan alternatif penguat pada material kampas rem non asbes karena memiliki sifat mekanik dengan kualitas nilai standar pada kampas rem (Pratama, 2013).

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, keberadaan limbah yang melimpah dari kulit buah mahoni dan abu layang batubara berpotensi menjadi material dalam pembuatan kampas rem. Oleh karena itu, penelitian ini mengambil judul tentang “Analisis Kampas Rem Komposit Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara serta Sifat-sifat Fisiknya”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh fraksi volume dari bahan karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara terhadap sifat kekerasan, keausan, serapan air, dan sifat termal pada komposit kampas rem?
2. Bagaimana keadaan struktur mikro *ingredient* kampas rem komposit karbon kulit buah mahoni dan abu layang batubara dikaitkan dengan sifat fisiknya?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, sehingga batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dari karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara sebagai bahan komposit kampas rem.
2. Penelitian ini dilakukan dengan menentukan fraksi volume bahan karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara.
3. Berdasarkan fraksi tersebut, diteliti sifat kekerasan, keausan, serapan air, struktur mikro, dan termal pada kampas rem komposit.

1.4 Penegasan Istilah

Penegasan istilah dimaksud agar terjadi kesatuan pandangan istilah pada judul skripsi ini agar tidak terjadi kesalahpahaman dalam menafsirkan istilah. Beberapa istilah dalam judul skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Kampas Rem Komposit

Kampas rem merupakan salah satu komponen pengereman kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengurangi atau memperlambat kecepatan laju kendaraan. Komposit merupakan gabungan dari dua bahan atau lebih yang bertujuan untuk membentuk material yang baru serta dapat menghasilkan sifat kombinasi antar bahan tersebut.

2. Karbon Kulit Buah Mahoni

Karbon kulit buah mahoni berasal dari kulit buah mahoni yang telah dikeringkan serta dihaluskan kemudian dilakukan pembakaran menggunakan

furnace sehingga mendapatkan hasil dalam bentuk serbuk karbon kulit buah mahoni.

3. Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara

Abu layang batubara merupakan hasil limbah dari pengolahan dalam industri batubara. Bentuk dari abu layang batubara berupa partikel halus yang berasal dari endapan atau tumpukan yang telah menjadi bubuk hasil pembakaran batubara.

4. Sifat-sifat Fisika

Sifat-sifat fisika yang digunakan dalam pengujian kanvas rem komposit meliputi sifat mekanik, serapan air, struktur mikro dan sifat panas.

- a. Sifat Mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menerima gaya atau beban tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan / komponen tersebut. Sifat-sifat mekanik meliputi kekerasan bahan, keausan bahan, kekuatan bahan. Sifat mekanik juga merefleksikan hubungan antara pembebanan yang diterima suatu bahan dengan reaksi yang diberikan atau deformasi yang akan terjadi. Sifat mekanik dalam pengujian ini meliputi sifat kekerasan dan sifat keausan.
- b. Sifat serapan air merupakan kemampuan bahan sampel komposit kanvas rem dalam menyerap air.
- c. Sifat struktur mikro dilakukan dengan pengamatan bentuk dan struktur dari material komposit kanvas rem menggunakan alat SEM. Selain itu juga digunakan EDX untuk mengetahui kandungan unsur kimia dan persentase unsur kimia pada material tersebut.

- d. Sifat termal merupakan sifat suatu material yang dipengaruhi oleh temperatur. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pemanasan serbuk material pada temperatur yang telah ditentukan menggunakan alat DTA (*Differential Thermal Analysis*).

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dari bahan karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara terhadap sifat kekerasan, keausan, serapan air, dan sifat termal pada komposit kampas rem.
2. Untuk mengetahui keadaan struktur mikro *ingredient* kampas rem komposit karbon kulit buah mahoni dan abu layang batubara dikaitkan dengan sifat fisiknya.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini menggunakan bahan kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara pada pengereman komposit sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Peneliti dapat menganalisis kampas rem komposit dari bahan karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara dalam penambahan fraksi volume terhadap sifat kekerasan, keausan, serapan air, struktur mikro, dan sifat termal serta mengetahui bahan kampas rem yang lebih kuat, tahan lama, dan efisien antara karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara.

2. Bagi Akademik

Meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam inovasi pembuatan kampas rem komposit menggunakan bahan alam.

3. Bagi Industri

Diharapkan memberikan informasi dan rekomendasi untuk industri dalam mengembangkan pembuatan kampas rem komposit dari bahan karbon kulit buah mahoni dan abu layang (*fly ash*) batubara.

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika dalam skripsi ini disusun dengan tujuan agar pokok-pokok masalah yang dibahas dapat urut, terarah dan jelas. Sistematika skripsi ini terdiri dari tiga bagian, yaitu: bagian awal, bagian isi dan bagian akhir. Bagian awal skripsi berisi halaman judul, halaman persetujuan pembimbing, halaman pernyataan, halaman pengesahan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, halaman abstrak, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran. Bagian isi skripsi terdiri dari 5 (lima) bab yang meliputi:

1. Bab 1 Pendahuluan: bab ini memuat latar belakang, pembatasan masalah, rumusan masalah, penegasan istilah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.
2. Bab 2 Landasan Teori: bab ini terdiri dari kajian mengenai landasan teori yang mendasari permasalahan skripsi ini serta penjelasan yang merupakan landasan teori yang diterapkan dalam skripsi dan pokok-pokok bahasan yang terkait dalam pelaksanaan penelitian.
3. Bab 3 Metode Penelitian: bab ini menguraikan metode penelitian yang

meliputi: desain penelitian, subjek, variabel penelitian, pengambilan data (alat dan bahan), teknik pengambilan data (prosedur) dan analisis data penelitian.

4. Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan: bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian, semua hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan terhadap hasil penelitian.
5. Bab 5 Penutup: bab ini berisi tentang simpulan hasil penelitian dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi skripsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Material komposit merupakan suatu material yang berasal dari dua bahan atau kemudian dicampur sehingga dalam keadaan makroskopis sehingga material tersebut akan terlihat dan membentuk komponen tunggal. Kata komposit berasal dari kata kerja “*to compose*” yang memiliki arti menyusun atau menggabung. Dalam hal ini komposit berarti gabungan suatu bahan pada dua material atau lebih dengan tujuan untuk membentuk material yang baru dimana dapat membentuk sifat antara (*intermediate*) dan sifat kombinasi pada bahan penyusunnya dari suatu material (Kaw *et al.*, 2006).

Bentuk dasar dari suatu material komposit umumnya berbentuk tunggal, memiliki dua atau lebih unsur penyusun yang dapat saling berinteraksi sehingga menghasilkan suatu sifat bahan yang berbeda terhadap sifat penyusun awal dari suatu material tersebut (Matthews *et al.*, 1993). Material komposit dalam pembentuknya akan melalui pencampuran dengan proses yang tidak homogen, karena dalam proses tersebut bahan memiliki sifat mekanik yang berbeda pada masing-masing material sehingga sifat yang dihasilkan dari pencampuran material yang berbeda diharapkan mampu memperbaiki kelemahan dan kekurangan dari material penyusunnya (Callister, 2007). Adapun tujuan pembuatan bahan komposit antara lain:

- a. dapat memperbaiki sifat mekanik dan sifat spesifik tertentu.

- b. mempermudah desain yang sulit pada manufaktur.
- c. keleluasaan dalam bentuk dan desain yang dapat menghemat biaya.
- d. menjadikan bahan lebih ringan.

Material komposit juga memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada bahan logam yaitu memiliki kekuatan jenis (*strength / weight*) dan kekakuan jenis (*modulus young / density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi (Blau *et al.*, 2001). Bahan komposit juga memiliki keunggulan seperti bahan yang lebih ringan, memiliki kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan terhadap korosi dan ketahanan aus (Smallman *et al.*, 2000).

Adapun karakteristik umum dari material komposit antara lain:

1. Material komposit lebih baik daripada semua material dasar dalam hal kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*), ketahanan pada temperatur tinggi, dan sifat-sifat lainnya. Sifat kombinasi yang diinginkan dapat direkayasa.
2. Material komposit merupakan material kompleks yang komponen-komponennya memiliki sifat yang sangat berbeda, saling tidak larut atau hanya sedikit larut, dan terpisah oleh satu batasan yang jelas.
3. Prinsip pembuatan komposit meniru apa yang terjadi di alam. Dahan dan ranting pohon serta tulang manusia dan binatang merupakan komposit alam.
4. Dalam kayu, serat selulosa diikat oleh lignin yang bersifat plastis. Dalam tulang, serat fosfat yang tipis dan kuat diikat oleh kolagen yang bersifat plastis.
5. Sifat komposit sangat tergantung pada sifat fisik-mekanik dari komponen-komponennya dan kekuatan ikatan antara komponen-komponennya.

6. Untuk mendapatkan sifat komposit yang optimal, maka komponen-komponennya harus memiliki sifat yang sangat berbeda tetapi saling melengkapi.

Secara umum komponen penyusun bahan komposit terdiri dari dua bagian utama yaitu:

1. Matriks

Matriks merupakan komponen pembentuk dan pengikat dalam komposit. Dasar atau matriks dari komposit bisa terdiri dari logam atau *alloy* (komposit logam), polimer, karbon dan material keramik (komposit non logam). Sifat-sifatnya akan menentukan kondisi operasi pembuatan komposit dan karakteristik komposit. Beberapa komposit memiliki matriks gabungan yang terdiri dari dua atau lebih lapisan dengan komposisi berbeda dan disusun selang-seling (Gibson, 1984).

2. Penguat (*filler*) atau Fasa Sebaran

Filler merupakan komponen lain yang terdistribusi merata dalam matriks. *Filler* memegang peranan penting dalam menguatkan komposit, sehingga disebut penguat atau *reinforcing material*. *Filler* harus memiliki nilai kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), dan *elastic modulus* yang besar. Sifat-sifat ini harus lebih besar daripada yang dimiliki matriks. Sifat-sifat material komposit bisa juga dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, konsentrasi dan distribusi *filler* (Putu *et al.*, 2009).

Ada tiga faktor yang sangat mempengaruhi sifat-sifat komposit yaitu:

1. Material Pembentuk

Sifat-sifat yang dimiliki oleh material pembentuk memegang peranan yang penting karena sangat besar pengaruhnya dalam menentukan sifat kompositnya. Sifat dari komposit itu merupakan gabungan dari sifat-sifat komponennya.

2. Bentuk dan Susunan Komponen

Karakteristik struktur dan geometri komponen juga memberikan pengaruh yang besar bagi sifat komponen. Bentuk dan ukuran tiap komponen dan distribusi serta jumlah relatif masing-masing merupakan faktor penting yang memberikan kontribusi dalam penampilan komposit dalam keseluruhan.

3. Hubungan antar Komponen

Komposit merupakan campuran atau kombinasi bahan-bahan yang berbeda, baik dalam sifat hal bahan maupun bentuk bahan, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda (Schwartz,1984). Prinsip yang mendasari perancangan, pengembangan dan penggunaan dari komposit adalah pemakaian komponen yang sesuai dengan aplikasinya.

2.2 Kampas Rem

Kampas rem adalah suatu komponen pada kendaraan yang mempunyai fungsi untuk memperlambat ataupun menghentikan laju kendaraan. Saat ini umumnya kendaraan bermotor mempunyai kecepatan yang sangat tinggi dengan seiringnya kemajuan teknologi pada sepeda motor, maka diperlukan kampas rem mempunyai beban yang mencapai 90% dari komponen lainnya. Kampas rem juga

memiliki peranan penting terutama dalam keselamatan, sehingga dibuat rancangan kampas rem dengan material yang mempunyai kemampuan yang baik dan efisien sehingga akan mendapatkan performa pada pengereman yang optimal (Huang *et al.*, 2002).

Berdasarkan konstruksinya, rem dibagi menjadi dua yaitu rem tromol dan rem cakram. Rem tromol biasanya diaplikasikan pada rem roda belakang pada kendaraan, sedangkan pada rem depan hampir seluruh kendaraan bermotor telah memakai rem cakram. Rem cakram terdiri dari tiga komponen utama yaitu kaliper rem, kampas rem dan piringan rem. Prinsip kerja rem cakram secara umum sama dengan rem tromol yaitu menggunakan bahan friksi pada sepatu rem untuk mengurangi atau menghentikan laju kendaraan. Rem ini bekerja dengan menjepit cakram yang biasanya dihubungkan dengan roda kendaraan, serta untuk menjepit cakram digunakan bahan friksi atau kampas rem dalam bentuk sepatu rem dengan mekanismenya diatur oleh kaliper rem. Serta untuk menggerakkan atau mengatur mekanisme kaliper rem menggunakan gaya mekanik, hidrolis, pneumatik atau elektronik yang melawan gaya dari kedua sisi cakram. Bahan friksi menyebabkan piringan cakram dan roda yang dihubungkan melambat atau berhenti. Rem mengubah energi kinetik menjadi energi panas, serta membuat bahan friksi menjadi panas pula, hal tersebut membuat rem menjadi tidak efektif atau tidak pakem, oleh karena itu perlu adanya pengembangan tentang kampas rem atau bahan friksi (Ming *et al.*, 2016).

Getaran pada sistem rem dapat terjadi karena ketidakrataannya permukaan piringan rem dan faktor gesekan antara kampas rem dan piringan rem yang

mengakibatkan kampas rem bertumbuk dan berguncangan. Pada akhirnya kampas rem bergetar pada kaliper dan menyebabkan kaliper ikut bergetar (Yunfeng *et al.*, 2017). Getaran yang timbul akibat gesekan kampas rem dengan piringan rem, akan sangat mengganggu kenyamanan berkendara, dan juga dapat menyebabkan kinerja dari sistem pengereman kurang maksimal. Oleh sebab itu, bahan kampas rem memegang peranan yang sangat penting dalam fenomena getaran yang terjadi dalam sistem rem cakram.



Gambar 2.1 Kampas Rem

Di Indonesia sejak tahun 1987 sudah dibuat kampas rem pada kendaraan motor yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), namun ada beberapa parameter dan spesifikasi dalam pembuatan kampas rem yang telah digunakan yang dapat diperbaiki serta ditinjau atau dikaji ulang sesuai perkembangannya. Oleh karena itu, proses pembuatan kampas rem harus mengacu kepada standar Internasional yang telah diterapkan di negara maju, sehingga mampu menopang produksi teknologi otomotif khususnya pada kampas rem yang sesuai dengan perkembangan di zaman modern saat ini.

Gesekan (*friction*) merupakan faktor utama dalam pengereman. Oleh karena itu komponen yang dibuat untuk sistem rem harus mempunyai sifat bahan yang tidak hanya menghasilkan jumlah gesekan yang besar, tetapi juga harus tahan terhadap gesekan dan tidak menghasilkan panas yang dapat menyebabkan bahan tersebut meleleh atau berubah bentuk (Miyoshi, 1996). Bahan-bahan yang tahan terhadap gesekan tersebut biasanya merupakan gabungan dari beberapa bahan yang disatukan dengan melakukan perlakuan tertentu. Sejumlah bahan tersebut antara lain tembaga, kuningan, timah, grafit, karbon, *kevlar*, resin, fiber dan bahan-bahan tambahan lainnya (Talib *et al.*, 2014).

Komponen kampas rem terdiri atas zat penyusun bahan friksi yang tersusun dari serat, bahan pengisi dan bahan pengikat. Serat berfungsi untuk meningkatkan koefisien gesek dan kekuatan mekanik bahan. Terdapat dua jenis yaitu serat buatan dan alami. Serat buatan misalnya serat nilon dan serat gelas. Serat alami yang sering dipakai sebagai penguat yaitu serat tumbuhan kelapa, bambu, rami, dan jut. Bahan pengisi berupa mineral tambang dan bersifat *fire retardant* sehingga tahan terhadap panas atau memiliki koefisien perpindahan panas yang lebih kecil seperti Cu, Cu-Zn, Al, Zn. Bahan pengisi terdiri dari bahan pengisi organik dan anorganik. Bahan pengisi organik misalnya C.N.S.L (*Cashew Nut Shell Liquid*), *dust* dan remah karet. Bahan pengisi anorganik misalnya BaSO₄, Cu-Zn, Al, Zn. Untuk memodifikasi tingkat gesek dan membersihkan permukaan rotor ditambahkan bahan *abrasif* seperti Al₂O₃, MgO, Fe₃O₄, SiC dan *kianit* / Al₃SiO₄. *Abrasif* ini juga untuk menstabilkan koefisien gesek (Cho *et al.*, 2006). Bahan pengikat dapat membentuk sebuah matriks pada suhu yang relatif stabil.

Bahan pengikat terdiri dari berbagai jenis resin meliputi *phenolic*, *epoxy*, *polyester* dan *rubber*. Resin tersebut berfungsi untuk mengikat berbagai zat penyusun di dalam bahan friksi (Kiswiranti *et al.*, 2009).

Pada aplikasi sistem pengereman, bahan kampas rem dibuat dengan memenuhi standar keamanan, ketahanan serta pada kendaraan mampu mengerem dengan halus. Selain itu kampas rem harus mempunyai koefisien gesek yang tinggi, keausan kecil, memiliki karakter kuat, dan dapat meredam getaran saat terjadi pengereman (Kim, 2006). Sifat mekanik pada kendaraan menyatakan kemampuan suatu bahan yang mampu untuk menerima beban gaya tanpa menimbulkan kerusakan pada komponen tersebut. Oleh sebab itu, diperlukan untuk mendapatkan standar acuan tentang spesifikasi teknik kampas rem yang mempunyai nilai kekerasan, keausan, *bending* dan sifat mekanik lainnya serta harus memiliki nilai yang sesuai mendekati pada nilai standar keamanan pada kampas rem (Mueller *et al.*, 2006).

Tabel 2.1 Syarat standar dalam kualitas pengujian kampas rem komposit

Pengujian Kampas Rem	Nilai Standar Nasional Indonesia(SNI)
Kekerasan	68 – 105 (<i>Rockwell R</i>)
Ketahanan Panas	600 ⁰ C - 1200 ⁰ C
Keausan	5 x 10 ⁻⁴ - 5 x 10 ⁻³ mm ² /kg
Koefisien Gesek	0,14 - 0,27
Massa Jenis	1,5 - 2,4 gr/cm ³
Konduktifitas Termal	0,12 - 0.8 W.m. ⁰ K
Tekanan	0,17 – 0,98 joule/g. ⁰ C

Kekuatan Geser	1300 – 3500 N/cm ³
Kekuatan Perpatahan	480 – 1500 N/cm ³

2.3 Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara

Abu layang (*fly ash*) batubara merupakan partikel halus yang berasal dari endapan atau tumpukan bubuk hasil pembakaran pada batubara. Batubara merupakan hasil tambang, karena batubara terletak pada kedalaman tanah sekitar 10 sampai 80 meter. Di atas lapisan batubara terdapat lapisan penutup (*overburden*) yang terdiri dari lapisan batu lempung (*mud stone*), batu danau (*slitstone*), dan batupasir (*sandstone*). Proses penambangan batubara dilakukan dengan cara *open pit*, yaitu mengambil lapisan penutupnya terlebih dahulu kemudian mengambil batubaranya. Pembakaran batubara menghasilkan emisi limbah yang lebih banyak dibandingkan bahan bakar minyak dan gas lainnya. Selain itu, pembakaran batubara juga menghasilkan gas-gas seperti oksida belerang (SO₂), oksida nitrogen (NO₂), gas hidrokarbon, karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan abu layang (*fly ash*) batubara (Harijono, 2006).

Abu layang batubara merupakan bahan anorganik yang terdapat di dalam batubara yang telah mengalami proses fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan *presipitator elektrostatis*. Hal ini yang menyebabkan partikel-partikel pada abu layang batubara umumnya memiliki bentuk bulat. Partikel-partikel abu layang batubara yang terkumpul pada *presipitator elektrostatis* memiliki ukuran yaitu antara 0.074 – 0.005 mm. Abu layang batubara mempunyai

kandungan yang terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) (Andini *et al.*, 2008).



Gambar 2.2 Abu layang (*fly ash*) batubara (Andini *et al.*, 2008).

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi kandungan mineral abu layang batubara antara lain:

- a. Komposisi kimia batubara.
- b. Proses pembakaran batubara.
- c. Bahan tambahan yang digunakan termasuk bahan tambahan minyak untuk stabilisasi nyala api dan bahan tambahan untuk pengendalian korosi.

Senyawa-senyawa penyusun abu layang batubara sebenarnya sangat ditentukan oleh mineral-mineral pengotor bawaan yang terdapat pada batubara itu sendiri yang disebut dengan *inherent mineral matter*. Mineral pengotor yang terdapat dalam batubara dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

- a. *Syngenetic* atau disebut dengan *mineral matter*. Pada dasarnya mineral-mineral ini terendapkan di tempat tersebut bersamaan dengan saat proses pembentukan lapisan paet.

b. *Epigenetica* juga disebut dengan *extraneous mineral matter*. Pada prinsipnya mineral-mineral pengotor ini terakumulasi pada cekungan setelah proses pembentukan lapisan paet tersebut selesai.

Abu layang (*fly ash*) batubara juga merupakan sisa hasil pembakaran batubara pada *power plants*. Abu layang (*fly ash*) batubara mempunyai titik lebur sekitar 1300°C dan berdasarkan uji komposisi kimia abu layang (*fly ash*) batubara mengandung CAS ($\text{CO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) dalam jumlah besar yang merupakan pembentuk utama *network glass*. Abu layang (*fly ash*) batubara mempunyai kerapatan massa (densitas) antara 2,0–2,5 gr/cm (Bienias, 2003). Dari sejumlah abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara, maka sebanyak 55% - 85 % berupa abu layang (*fly ash*) dan sisanya berupa abu dasar (*bottom ash*) (Külaots *et al.*, 2004).

Menurut standart ASTM C 168-87 / AASHTO M 295-90, abu layang (*fly ash*) hasil pembakaran batubara dapat digolongkan berdasarkan jenis batubara yang digunakan untuk pembakaran tersebut. Ada tiga jenis abu layang (*fly ash*) batubara antara lain:

1. Kelas N

Buangan atau pozolan alam terkalsinasi yang dipenuhi dengan kebutuhan yang memenuhi syarat yang dapat dipakai sesuai kelasnya, seperti beberapa tanah *diatomaceous*, *opalinse chert* dan serpihan-serpihan *tuff* dan debu-debu vulkanik atau *pumicities*, dan bahan-bahan lainnya yang mungkin masih belum terproses oleh kalsinasi.

2. Kelas F

Abu layang (*fly ash*) batubara yang umumnya diproduksi dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau bitumen-bitumen batubara yang memenuhi syarat-syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan.

3. Kelas C

Abu layang (*fly ash*) batubara umumnya diproduksi dari *lignite* atau batubara *subitumen* yang memenuhi syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu layang (*fly ash*) batubara kelas ini selain memiliki sifat *pozzolan* juga memiliki beberapa sifat yang lebih menyerupai semen. Untuk beberapa abu batubara kelas C bisa mengandung kapur lebih tinggi dari 10% (Wang *et al.*, 2004).

2.3.1 Proses Pembentukan Abu Layang (*Fly Ash*) Batubara

Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yaitu sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Sistem pembakaran batubara juga memiliki sistem ke-3 yaitu *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar. *Fluidized bed system* merupakan sistem udara yang ditiup dari bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluida dalam pembakaran batubara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau *corundum* yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar yang dipanaskan mencapai suhu bakar batubara sebesar 300°C. Sistem ini menghasilkan abu layang batubara

yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*. Teknologi *fluidized bed* biasanya digunakan di PLTU.

Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat: (80-90%) berbanding (10-20%). *Fixed bed system* atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. *Ash* yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Di China, *bottom ash* digunakan sebagai bahan bakar untuk kerajinan besi (pandai besi). Teknologi *fixed bed system* banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (*steam generator*). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah: (15-25%) berbanding (75-25%) (Fisher *et al.*, 1978).

2.3.2 Sifat-sifat Abu Layang Batubara

Abu layang batubara mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan dalam menunjang pemanfaatannya yaitu:

1. Sifat Fisik

Abu layang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor yang terkandung dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur

pembakarannya. Pada kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus (Moorthy *et al.*, 2012).

Abu layang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu layang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu layang batubara berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain: berwarna abu-abu keputihan, ukuran butir sangat halus yaitu sekitar 88 % (Chen *et al.*, 2005).

2. Sifat Kimia

Komponen utama dari abu layang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Komposisi kimia pada Tabel 2.2. merupakan sifat kimia dari abu layang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu layang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, pembakaran batubara lignit dan sub-bituminous memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Abu layang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu layang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu layang berkisar antara 2100-3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170-1000 m²/kg (Ilic *et al.*, 2003).

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Abu Layang Batubara (Ilic *et al.*, 2003).

Komponen	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂	20-60%	40-60%	15-45%
Al ₂ O ₃	5-35%	20-30%	10-25%
Fe ₂ O ₃	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO ₃	0-4%	0-2%	0-10%
Na ₂ O	0-4%	0-2%	0-6%
K ₂ O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%	0-3%	0-5%

2.4 Kulit Buah Mahoni

Tanaman mahoni (*Swietenia mahagoni*) merupakan salah satu tanaman yang dianjurkan dalam pengembangan HTI (Hutan Tanaman Industri). Mahoni dalam klasifikasinya termasuk famili *Meliaceae*. Mahoni dapat ditemukan tumbuh liar di hutan jati dan tempat-tempat lain yang dekat dengan pantai atau ditanam ditepi jalan sebagai pohon pelindung (Marzalina, 2001). Bentuk pohon dan kulit buah mahoni dapat dilihat pada Gambar 2.3. Klasifikasi dari tanaman mahoni sebagai berikut.

Kingdom : Plantae (tumbuhan)

Subkingdom : Tracheobionta (tumbuhan berpembuluh)

Super Devisi : Spermatophyta (menghasilkan biji)

Devisi : Magnoliophyta (tumbuhan berbunga)
Kelas : Magnoliopsida (berkeping dua / dikotil)
Sub Kelas : Rosidae
Ordo : Sapindales
Famili : Meliaceae
Genus : Swietenia
Species : *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq.



(a)



(b)

Gambar 2.3 Tanaman Mahoni: (a) Pohon Mahoni (b) Kulit Buah Mahoni (Marzalina, 2001).

Tanaman mahoni (*Swietenia macrophylla* King) telah digunakan di Asia dan banyak negara lain untuk mengobati berbagai macam penyakit. Tanaman mahoni juga dapat digunakan sebagai antimikroba, anti-inflamasi, efek antioksidan, antimutagenik, antikanker, antitumor, dan antidiabetes. Hampir semua bagian tanaman dari tanaman mahoni dapat digunakan sebagai obat tradisional untuk mengobati berbagai macam penyakit pada manusia. Buah dari tanaman mahoni ini telah digunakan secara komersial sebagai produk untuk perawatan kesehatan untuk memperlancar sirkulasi darah dan perawatan kulit. Biji dari tanaman mahoni dapat digunakan secara signifikan untuk pengobatan. Di

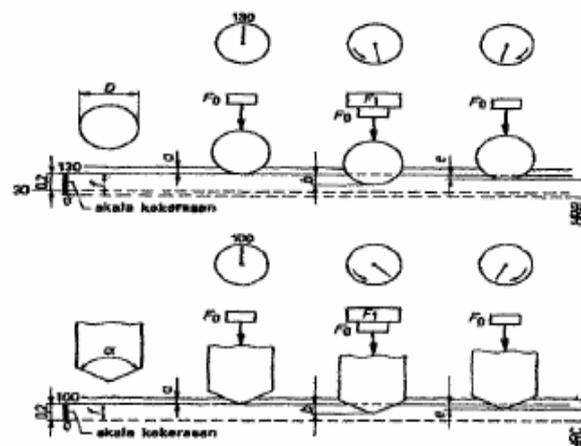
Malaysia biji mahoni telah digunakan secara tradisional untuk mengobati hipertensi, diabetes, dan sebagai anti-inflamasi. Di Indonesia biji mahoni telah digunakan sebagai obat tradisional untuk pengobatan diabetes, hipertensi, dan malaria (Moghadamtousi *et al.*, 2013). Biji mahoni memiliki efek farmakologis antipiretik, antijamur, menurunkan tekanan darah tinggi (hipertensi), kencing manis (*diabetes mellitus*), kurang nafsu makan, demam, masuk angin, dan rematik. Hasil penelitian yang sering dipublikasi adalah ekstrak biji mahoni untuk menurunkan kadar glukosa darah pada tikus Wistar. Kabar yang terbaru bahwa ekstrak biji mahoni termasuk salah satu obat tradisional yang dapat menghambat pertumbuhan HIV/AIDS dalam laboratorium. Penelitian ekstrak mahoni sebagai antibiotik juga telah dilaporkan, bahkan penelitiannya menganjurkan agar diteliti lebih jauh, karena potensial untuk digunakan sebagai antibiotik baru terutama untuk bakteri yang resistan terhadap antibiotik yang ada (Rasyad *et al.*, 2012).

Salah satu upaya peningkatan nilai ekonomis pohon mahoni terutama kulit buahnya yaitu dapat dilakukan dengan mengolahnya menjadi karbon aktif. Dalam dunia industri karbon aktif sangat diperlukan karena dapat mengabsorpsi cairan limbah, warna, gas, dan logam. Pada umumnya karbon aktif digunakan sebagai bahan penyerap dan penjernih. Kebutuhan Indonesia akan karbon aktif untuk bidang industri masih relatif tinggi disebabkan semakin meluasnya pemakaian karbon aktif pada sektor industri. Pembuatan karbon aktif dari kulit buah mahoni mempunyai prospek yang sangat cerah bagi perkembangan industri yang dalam prosesnya menggunakan karbon sebagai bahan alternatif untuk menggantikan bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan.

2.5 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan menurut *Rockwell*, kekerasan bahan ditentukan dari perlawanan terhadap pengubah bentuk tetap dengan pembekasan. Bekas ini disebabkan oleh suatu benda yang lebih keras dari pada bahan yang akan diuji dan dikala pembekasan itu sendiri hampir tidak mengalami perubahan bentuk.

Pada pengukuran kekerasan menurut *Rockwell* sebagai benda penekan dipergunakan suatu peluru baja yang disepuh keras atau suatu kerucut intan dengan ukuran yang ditetapkan. Proses pengukuran kekerasan dengan metode *Rockwell* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses Pengukuran Kekerasan dengan Metode *Rockwell* (Haryadi, 2006)

Pengujian kekerasan menurut *Rockwell* diukur kedalaman pembenaman t penekan. Penekan menggunakan baja yang dikeraskan menggunakan sebuah kerucut intan. Hal ini digunakan untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekankan ke atas bidang uji dengan beban pendahuluan 10 kg. Setelah ini, beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembenaman terbesar. Sebagai

ukuran digunakan kedalaman pembedaman menetap t dalam mm yang ditinggalkan beban tambahan dan sebagai satuan untuk ukuran t berlaku $e = t$ dalam 0,002 mm (Haryadi, 2006).

Kekerasan *Rockwell* dirumuskan:

$$\text{HRR} = 100 - \frac{t}{0,002} \dots\dots\dots(2.2)$$

Adapun keuntungan dari pengukuran menggunakan kekerasan menurut *Rockwell* antara lain:

- a. Kerucut intan dapat diukur kekerasan baja yang disepuh keras.
- b. Bekas tekan yang kecil benda kerja rusak lebih sedikit.
- c. Penentuan kekerasan berlangsung cepat, oleh karena penekanan benda dan pengukuran pembesaran dalamnya bekas tekan adalah satu pelaksanaan.

Dampak kerugian dalam pengukuran kekerasan *Rockwell* antara lain:

- a. Bekas tekan yang kecil maka kekerasan rata-rata tidak dapat ditentukan untuk bahan yang tidak homogen.
- b. Dengan pembesaran dalamnya bekas tekan yang kecil terdapat kemungkinan mendapat kesalahan pengukuran yang besar.

2.6 Uji Keausan

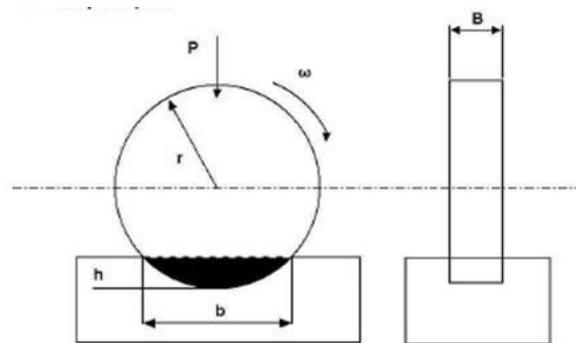
Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dengan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana

halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, impak, puntir atau *fatigue*. Hal ini disebabkan masih lebih mudah untuk mengganti komponen / *part* suatu sistem dibandingkan melakukan disain komponen dengan ketahanan / umur pakai (*life*) yang lama. Saat ini, prinsip penggantian dengan mudah seperti itu tidak dapat diberlakukan lebih lanjut karena pertimbangan biaya (*cost*).

Pembahasan mekanisme keausan pada material berhubungan erat dengan gesekan (*friction*) dan pelumasan (*lubrication*). Telaah mengenai ketiga subjek ini yang dikenal dengan ilmu Tribologi. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam (Kenneth G, 1999).

1. Prinsip uji keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan beberapa 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 pada permukaan benda uji. 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. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Metode Keausan *Ogoshi*

Pengujian keausan dengan menggunakan alat uji *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)*. Pengujian keausan dengan alat uji *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)* dirumuskan menggunakan persamaan:

$$W_s = \frac{B b_o^2}{8rP_o l_o} \frac{mm^2}{kg} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

B : lebar piringan pengaus

b_o : lebar keausan pada benda uji

r : jari-jari piringan pengaus

P_o : gaya tekan pada proses pengausan berlangsung

l_o : jarak tempuh pada pengausan

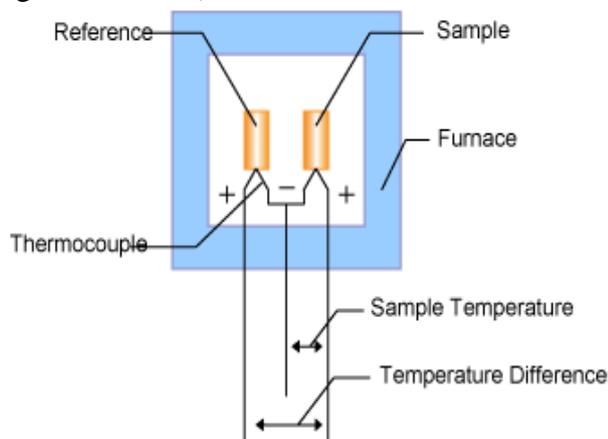
Keunggulan menggunakan metode keausan *ogoshi* dari alat ini diantaranya sebagai berikut:

1. Lama waktu abrasi dapat ditentukan dan daya tahan aus permukaan benda uji dengan berbagai variasi bahan dapat dengan mudah terdeteksi.
2. Pengujian dilakukan dengan mudah dan cepat.
3. Benda uji tidak harus berukuran besar.

4. Perubahan tekanan, kecepatan dan jarak penggosok dapat dibuat dengan mudah dengan jarak yang lebih lebar.
5. Berbagai macam bahan-bahan industri (karbon, baja, *harden steel*, *cast steel*, *super-hard alloys*, tembaga, kuningan, *synthetic resins*, nilon, dan lain-lain) dapat diuji.

2.7 Pengujian DTA (*Differential Thermal Analysis*)

DTA (*Differential Thermal Analysis*) merupakan salah satu alat yang digunakan untuk analisis termal yang mengukur perbedaan temperatur antara sampel yang akan diukur dan material inert sebagai referensi. Sampel dan material referensi dipanaskan dalam satu dapur yang berisi lingkungan gas yang telah distandarisasi. Perbedaan temperatur yang terjadi direkam selama proses pemanasan dan pendinginan, kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva entalpi. Kurva DTA (*Differential Thermal Analysis*) dapat menangkap transformasi saat penyerapan ataupun pelepasan panas. DTA (*Differential Thermal Analysis*) juga dapat membantu memahami hasil XRD, analisis kimia dan mikroskopis. Kurva DTA merupakan kurva perbedaan temperatur antara sampel dengan referensi terhadap waktu (Grega *et al.*, 2009).



Gambar 2.6 Skematis gambar komponen DTA (Grega *et al.*, 2009).

DTA (*Differential Thermal Analysis*) mengukur perbedaan temperatur antara sampel dan material referensi, kemudian dikonversi menjadi perubahan entalpi. Perhitungan entalpi DTA (*Differential Thermal Analysis*) dilakukan menggunakan metode perubahan massa. Material referensi merupakan material atau *substance* yang secara termal inert dan tidak mengalami perubahan fasa pada rentang temperatur tertentu. Material referensi, misalnya safir atau alumina, digunakan untuk mengestimasi faktor konversi. Material inert yang digunakan tidak mengalami perubahan struktur dengan perubahan panas selain panas laten (Shaise *et al.*, 2010).

Jika terdeteksi bahwa tidak terdapat perbedaan temperatur antara sampel dan material referensi berarti sampel tidak mengalami perubahan kimiawi ataupun fisik. Jika terdapat perubahan temperatur, maka sampel dapat teridentifikasi dikarenakan kurva DTA (*Differential Thermal Analysis*) berfungsi selayaknya *finger print* bagi material. Kurva endotermik biasanya menandakan adanya perubahan fisik. Sementara kurva eksotermik menandakan adanya perubahan (reaksi) kimia. Kurva endotermik yang tajam menandakan adanya perubahan kristalinitas. Kurva endotermik yang lebar menandakan adanya reaksi dehidrasi. Adapun perangkat DTA (*Differential Thermal Analysis*) yang digunakan terdiri atas:

a. *Thermocouple*

Berdasarkan material penyusunnya *thermocouple* dibagi menjadi base metal dan rare metal *thermocouple*. Base metal *thermocouple* digunakan pada

temperatur sekitar 1000°C , sedangkan rare metal *thermocouple* digunakan pada temperatur sekitar 1600°C ke atas.

b. Pemegang sampel yang terintegrasi dengan *thermocouple*

Umumnya terbuat dari keramik seperti Al_2O_3 atau blok logam, agar lebih tahan dari kontaminasi.

c. Dapur pemanas yang memiliki jangkauan luas hingga 2273 K dengan kecepatan pemanasan kurang lebih 50 K/menit . *Crucible* dari dapur terbuat dari material inert, seperti Al_2O_3 , tungsten, platinum atau grafit untuk mengurangi kemungkinan terdegradasi.

d. Pengatur temperatur

Berfungsi untuk mengatur temperatur kamar reaktor pemanasan. Alat rekam, membantu untuk merekam fenomena atau kejadian yang nantinya akan diolah menjadi data berupa grafik puncak naik dan turun.

Adapun faktor yang dapat mempengaruhi pengoperasian DTA (*Differential Thermal Analysis*) sebagai berikut:

a. Laju pemanasan

Laju pemanasan yang umum digunakan $2 - 20^{\circ}\text{C/min}$. Laju pemanasan yang terlalu cepat akan mengurangi resolusi tetapi meningkatkan luas peak, sedangkan laju pemanasan lambat akan menghasilkan peak dengan luas kecil.

b. Ukuran dan berat sampel, umumnya berat sampel sekitar $1 - 100\text{ mg}$.

c. Keceragaman ukuran partikel, *pretreatment* dan *packing density*. Ketiga variabel di atas akan mempengaruhi pertukaran panas antara sampel dan lingkungan sekitar.

- d. Kondisi atmosferik
- e. Peletakan *thermocouple*

Kegunaan Instrument DTA digunakan untuk menentukan sifat termal dari material yang akan diuji. DTA juga dapat dimodifikasi dengan komponen lain untuk mendapatkan sifat termal tertentu (Smykatz *et al.*, 1982). Berikut merupakan beberapa contoh dari aplikasi penggunaan DTA (*Differential Thermal Analysis*) antara lain:

- a. Mendeteksi temperatur kritis dari termal transisi dan secara kualitatif mengkarakterisasi temperatur kritis sebagai endotermik (menyerap panas) atau eksotermik (menghasilkan panas)
- b. Umumnya dipasangkan dengan TGA, untuk pengukuran simultan dari transisi fasa logam dan substansi anorganik, seperti keramik dan gelas pada temperatur ~ 1000°C
- c. Menghitung perubahan entalpi suatu material selama proses pemanasan
- d. Membandingkan kemurnian material
- e. Konstruksi dan evaluasi diagram fasa
- f. Identifikasi material

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kekerasan *rockwell* kampas rem komposit dengan salah satu *ingredient* karbon kulit buah mahoni diperoleh semakin banyak penambahan fraksi volume maka nilai kekerasannya semakin menurun, sebaliknya pada bahan abu layang batubara dengan penambahan fraksi volume maka nilai kekerasannya semakin naik.
2. Hasil pengujian keausan kampas rem komposit dengan *ingredient* karbon kulit buah mahoni diperoleh bahwa semakin banyak penambahan fraksi volume maka nilai keausan semakin meningkat, sedangkan bahan abu layang batubara dengan penambahan fraksi volume memiliki nilai keausan semakin menurun.
3. Hasil pengukuran kemampuan serapan air sampel kampas rem komposit dengan salah satu *ingredient* karbon kulit buah mahoni diperoleh semakin banyak penambahan fraksi volume maka persentase serapan air semakin banyak, sedangkan bahan abu layang batubara dengan penambahan fraksi volume hasilnya persentasi serapan air semakin menurun, hal ini kampas rem komposit bahan abu layang batubara lebih baik digunakan pada kondisi basah.
4. Hasil pengujian SEM dengan melihat struktur mikro pada salah satu *ingredient* karbon kulit buah mahoni memiliki bentuk struktur karbon lebih kecil daripada

dari bahan abu layang batubara. Hasil pengujian EDX didapatkan persentase konsentrasi berat unsur karbon pada bahan karbon kulit buah mahoni sebesar 58,9%, sedangkan persentase konsentrasi berat unsur karbon pada bahan abu layang batubara sebesar 66,2%.

5. Hasil pengujian DTA kampas rem komposit dengan salah satu *ingredient* karbon kulit buah mahoni dan abu layang batubara memiliki bentuk peak hampir sama, tetapi memiliki perbedaan perubahan entalpi (Δm) untuk karbon kulit buah mahoni sebesar 1,75 mg, sedangkan bahan abu layang batubara perubahan entalpi (Δm) sebesar 2,50 mg.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pada pembuatan kampas rem komposit dari bahan kulit buah mahoni dan abu layang batubara perlu diujikan langsung pada motor agar lebih mengetahui dampak pengereman yang diakibatkan serta kualitas dari bahan kampas rem komposit tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Andini, S., Cioffi, R., Colangelo, F., Grieco, T., Montagnaro, F. & Santoro, L. 2008. Coal fly ash as raw material for the manufacture of geopolymer-based products. *Waste Management*. 28(2): 416–423.
- Blau, P.J. 2001. Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives. *Wear*. 255: 1261-1269.
- Brown. 2012. *Mahagony: Swietenia mahagoni, Horticulture Agent Bronwyn Mason*. Master Gardener Lee County Extension, Fort Myers: Florida.
- Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction*. New York: John Wiley and Sons.
- Chen, Y., Shah, N., Huggins, F.E. & Huffman, G.P. 2005. Transmission electron microscopy investigation of ultrafine coal fly ash particles. *Environmental science & technology*. 39(4): 1144–1151.
- Cho, M.H., Ju, J., Kim, S.J. & Jang, H. 2006. Tribological properties of solid lubricants (graphite, Sb_2S_3 , MoS_2) for automotive brake friction materials. *Wear*. 260(7–8): 855–860.
- Erol, M., Küçükbayrak, S., Ersoy-Meriçboyu, A. 2008. Comparison of the properties of glass, glassceramic and ceramic materials produced from coal fly ash. *J. Hazard. Mater.* 153: 418–425.
- Fisher, G.L., Prentice, B.A., Silberman, D., Ondov, J.M., Bierman, A.H., Ragaini, R.C., McFarland, A.R. 1978. Physical and morphological studies of size-classified coal fly ash. *Environmental Science & Technology*. 12(4): 447–451.
- Gibson, R. 1994. *Principle of Composite Material Mechanics*. New York: McGraw-Hill International Book Company.

- Grega, K.J, Medved.and M, Primoz. 2009. *Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) as a Method of Material Investigation. RMZ – Materials and Geoenvironment.* Vol. 57.No 1. Page 127–142.
- Harijono, D. 2006. Fly ash dan Pemanfaatannya. *Seminar Nasional Batubara Indonesia.* 4(1): 25-30.
- Haryadi, G. 2006. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan, dan Struktur Mikro. *ROTASI.* 8(3): 22-29.
- Herwidhi. 2017. Sifat Mekanik Bahan Komposit Kampas Rem Berbahan Dasar Serbuk Arang Kulit Buah Mahoni. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya.* 2: 127–132.
- Huang, Y.M. & Shyr, J.S. 2002. On Pressure Distributions of Drum Brakes. *Journal of Mechanical Design.* 124(1): 115-120.
- Husamettin, kus. 2015. Effect of fly ash content on the friction-wear performance of bronze-based brake lining materials produced by the hot-pressing method. *Industrial lubrication and tribology.* 67 (6): 612-621.
- Ilic, M., Cheeseman, C., Sollars, C. & Knight, J. 2003. Mineralogy and microstructure of sintered lignite coal fly ash. *Fuel.* 82: 331–336.
- Kader, S.A. Seethalakshmi, K.K. 2008. Structure of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) fruit, seed and their characteristics. *Indian Journal of Forestry.* 31(3): 316-322.
- Kaw, A.K. 2006. *Mechanics of Composite Materials.* 2nd Ed ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Kenneth G and Michael K. 1999. *Engineering Materials.* New Jersey: Upper River.
- Kim, S.J., Hyung Cho, M., Hyung Cho, K. & Jang, H. 2006. Complementary effects of solid lubricants in the automotive brake lining. *Tribology*

International. 40(1): 15–20.

Kiswiranti, Sugianto, Sutikno. 2009. Pemanfaatan Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Alternatif Sepeda Motor. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia (Indonesian Journal of Physics Education)*. 5(1): 62–66.

Külaots, I., Hurt, R.H. & Suuberg, E.M. 2004. Size distribution of unburned carbon in coal fly ash and its implications. *Fuel*. 83(2): 223–230.

Marzalina, M. & Normah, M.N. 2001. Desiccation studies on mahogany (*Swietenia macrophylla*) seeds. *Journal of Tropical Forest Science*. 13(3): 405–414.

Matthews, F.L., Rawlings, RD. 1993. *Composite Material Engineering and Science*. Imperial College of Science. Technology and Medicine. London, UK.

Ming, Qiu., Long Chen., 2016. Friction, Wear, and Lubrication in the Bearing Application. *Bearing Tribology*. 3(1): 12-18.

Mishra, A. 2016. Wear Investigation of Al-SiC-Fly Ash Composites. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 4(3): 2454–4698.

Miyoshi, K. 1996. *Solid Lubrication Fundamentals and Applications*. NASA Technical Memorandum. Gleen Research Centre. Cleveland, Ohio.

Moghadamtousi, S.Z., Goh, B.H., Chan, C.K. & Shabab, T. 2013. Biological Activities and Phytochemicals of *Swietenia macrophylla* King. *Molecules*. 18: 10465–10483.

Moorthy, Dr. N. Natarajan, R. Sivakumar, M. Manojkumar, M. Suresh. 2012. Dry Sliding Wear and Mechanical Behavior of Aluminium / Fly ash / Graphite Hybrid Metal Matrix Composite Using Taguchi Method. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 2(3): 1224-1230.

Mursan, Daswarman, and E. Alwi., 2014. Pengaruh intensitas tekanan kampak

- rem terhadap tingkat keausan kampas rem sepeda motor yamaha mio tahun 2008. *Automotive Engineering Education Journal*. 1(2): 35-40.
- Mueller, M. and Osremeyer, G.P. 2006. *A Celuller Automaton Model to DescribeThe Three- Dimensional Friction and Wear Mechanism of Brake System*. *Wear* 263, 1175–1188.
- Pratama. 2013. *Analisa Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem dengan Penguat Fly Ash Batubara*. Makassar: Jurusan Mesin Fakultas Teknik. Universitas Hasanudin Makasar.
- Putu, N. & Suardana, G. 2009. Studi Perlakuan Serat Serta Penyerapan Air Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Tapis Kelapa / Polyester Study of Fiber Treatment and Water Absorption toward Tensile Stength of Coconut Filtrate / Polyester Composite. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 3(1): 49–56.
- Raja R. Satheesh, Manisekar K., Manikandan V. 2013. Effect of fly ash filler size on mechanical properties of polymer matrix composites. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)* Volume 1, Issue 1 (2013) ISSN 2320–4060.
- Rasyad, A.A., Mahendra, P. & Hamdani, Y. 2012. Uji Nefrotoksik dari Ekstrak Etanol Biji Mahoni (*Swietenia mahagoni* Jacq.) terhadap Tikus Putih Jantan Galur Wistar. *Jurnal Penelitian Sains*. 15(2): 79–82.
- Raymond, A. 2008. *Gambaran Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Kendaraan Bermotor Di Wilayah Jakarta Timur Bulan Januari-Maret Tahun 2008*. Skripsi. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Salamah, S. 2008. Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Buah Mahoni dengan Perlakuan Perendaman Larutan KOH. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. 2(5): 55–59.
- Schwartz, M.M. 1984. *Composite Materials Handbook*. New York: McGraw-Hill Inc.

- Shaise. and S.L, Jacob. (2010). *Differential Thermal Analysis (DTA)*. Handbook Nirmala College of Pharmacy (Kerala). India.
- Shojaei,A., Fahimian, M., and Derakhshandeh, B. 2007. Thermally Conductive Rubber- based Composite Friction Materials for Railroad Brakes - Thermal Conduction Characteristics. *Composites Science and Technology* 67, 2665–2674.
- Siregar, S.M. 2009. *Pemanfaatan Kulit Kerang dan Resin Epoksi terhadap Karakteristik Beton Polimer*. Tesis Magister Ilmu Fisika. Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatra Utara.
- Smallman R.E dan Bishop R. J, Djaprie Sriati, 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Bahan*. Jakarta : Erlangga.
- Smykatz, W. and Klos. (1982). Application of Differential Thermal Analysis in Mineralogy. *Journal Thermal Analysis*. Vol 23. Page 15- 44
- Subarmono. 2008. *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Sebagai Penguat Aluminium Matrix Composite*. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 10, No. 2, Oktober 2008: 109–114.
- Sukamto 2012. Analisis Keausan Kampas Rem Pada Sepeda Motor. *Jurnal Teknik*. 2: 31–39.
- Sutikno, N. Hindarto, P. Marwoto, and S. Rustad. 2009. Pembuatan Bahan Gesek Kampas Rem Menggunakan Serbuk Tempurung Kelapa sebagai Pemodelifikasi Gesek. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 3(2): 25-32.
- Sutikno. 2008. Pengaruh Komposisi Serbuk Tempurung Kelapa terhadap Sifat-Sifat Fisik dan Mekanik Bahan Gesek Non Asbes untuk Aplikasi Kampas Rem Sepeda Motor. Profesional. *Jurnal Ilmiah Populer dan Teknologi Terapan*. 6(2): 893-904.
- Talib, R.J., Ismail, N. 2017. Friction and wear Behaviors of different grafite vol.% in brake friction material composition. *Proceedings of Mechanical*

Engineering Day. 3(2): 7-8.

Wang, H.A.O. & Ban, H. 2004. Capability of a Class F Coal Fly Ash. *Environ Science*. 38(24): 6710–6715.

Yunfeng., Zhang, Y., Song, J. & Hu, L. 2017. Tribological behavior and lubrication mechanism of self-lubricating ceramic/metal composites: The effect of matrix type on the friction and wear properties. *Wear*. 4(1): 130–138.